



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución - 4.0 Internacional \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Vea una copia de esta licencia en <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>





FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

Tesis

**Microencapsulación y bioaccesibilidad de
capsaicina obtenida del extracto de *Capsicum
frutescens***

Para optar el título profesional de Ingeniero Agroindustrial

Autor:

César Manuel Mendoza Hurtado
<https://orcid.org/0000-0002-7379-7650>

Asesor:

Ing. M.Sc. Karen Gabriela Documet Petrlik
<https://orcid.org/0000-0001-9545-7561>

Tarapoto, Perú

2023



FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

Tesis

Microencapsulación y bioaccesibilidad de capsaicina obtenida del extracto de *Capsicum frutescens*

Para optar el título profesional de Ingeniero Agroindustrial

Autor

César Manuel Mendoza Hurtado

Sustentado y aprobado el 05 de mayo de 2023 por los jurados:

Presidente de Jurado

Ing. Dr. Oscar Wilfredo Mendieta Taboada

Secretario de Jurado

Ing. Mg. Juan José Salazar Díaz

Vocal de Jurado

Ing. M.Sc. Epifanio Efraín Martínez Mena

Asesor

Ing. M.Sc. Karen Gabriela Documet Petrik

Tarapoto, Perú

2023



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN CONDUCTENTES A
GRADOS Y TÍTULOS N° 003-2023

Jurado reconocido con Resolución N° 036-2021-UNSM/FIAI-D/NLU

A las 11:05 horas del día **viernes cinco de mayo del 2023**, en el auditorio de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial – Ciudad Universitaria, inició al acto público de sustentación del trabajo de tesis **“MICROENCAPSULACIÓN Y BIOACCESIBILIDAD DE CAPSAICINA OBTENIDA DEL EXTRACTO DE *Capsicum frutescens*”** para optar al título profesional de INGENIERO AGROINDUSTRIAL, presentado por el **Bach. CÉSAR MANUEL MENDOZA HURTADO**.

Instalada la Mesa Directiva conformada por: **Ing. Dr. Oscar Wilfredo MENDIETA TABOADA** (presidente del jurado), **Ing. Mg. Juan José SALAZAR DÍAZ** (secretario), **Ing. M.Sc. Epifanio Efraín MARTÍNEZ MENA** (vocal), y acompañado por la **Ing. MSc. Karen Gabriela DOCUMET PETRLIK** (asesor); el presidente del jurado dirigió brevemente unas palabras y a continuación el secretario dio lectura a la Resolución N° 036-2021-UNSM/FIAI-D/NLU.

Seguidamente el autor expuso el trabajo de investigación y posteriormente el jurado realizó las preguntas pertinentes, respondidas por el sustentante y eventualmente, con la venia del jurado, por el asesor.

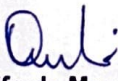
Una vez terminada la ronda de preguntas, el jurado procedió a deliberar para determinar la calificación final, para lo cual dispuso un receso de quince (15) minutos, con participación del asesor con voz, pero sin voto; sin la presencia del sustentante y otros participantes del acto público.

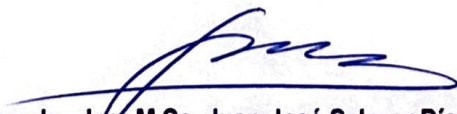
Luego de aplicar los criterios de calificación con estricta observancia del principio de objetividad y de acuerdo con los puntajes en escala vigesimal (de 0 a 20), según el Anexo 4.2 del RG-CTI, la nota de sustentación otorgada resultante del promedio aritmético de los calificativos emitidos por cada uno de los miembros del jurado fue Dieciséis (16).


De acuerdo con el Artículo 40° del RG-CTI, la nota obtenida es Aprobatoria y correspondiente a la calificación de Buena. Leído este resultado en presencia de todos los participantes del acto de sustentación, la secretaria dio lectura a las observaciones subsanables al informe final que el autor deberá corregir y alcanzar al jurado en un plazo máximo de treinta (30) días calendario.


Se deja constancia que la presente acta se inscribe en el Libro de Sustentaciones N° 001-2023 de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial.

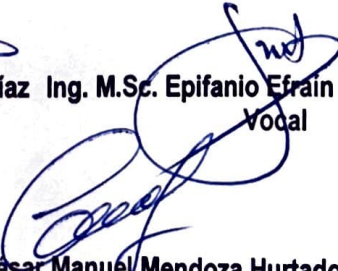
Firman los integrantes de la Mesa Directiva y el autor del trabajo de investigación en señal de conformidad, dando por concluido el acto a las 12:20 horas, el mismo día viernes 05 de mayo del 2023.


Ing. Dr. Oscar Wilfredo Mendieta Taboada
Presidente


Ing. M.Sc. Juan José Salazar Díaz
Secretario


Ing. M.Sc. Epifanio Efraín Martínez Mena
Vocal


Ing. MSc. Karen Gabriela Documet Petrlik
Asesor


Bach. César Manuel Mendoza Hurtado
Autor

Declaratoria de autenticidad

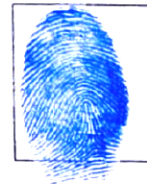
César Manuel Mendoza Hurtado, con DNI N° 73816875, egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de San Martín, autor de la tesis titulada: **Microencapsulación y bioaccesibilidad de capsaicina obtenida del extracto de *Capsicum frutescens*, sustentado y aprobado el 05 de mayo del 2023.**

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es mi autoría.
2. La redacción fue realizada respetando las citas y referencia de las fuentes bibliográficas consultadas
3. Toda información que contiene la tesis no ha sido plagiada;
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido alterados ni copiados, por tanto, la información de esta investigación debe considerarse como aporte a la realidad investigada.

Por lo antes mencionado, asumo bajo responsabilidad las consecuencias que deriven de mi accionar, sometiéndome a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín.

Tarapoto, 05 de mayo de 2023.



A blue ink handwritten signature, appearing to read 'César', written over a horizontal line.

César Manuel Mendoza Hurtado
DNI N° 73816875

Ficha de identificación

<p>Título del proyecto:</p> <p>Microencapsulación y bioaccesibilidad de capsaicina obtenida del extracto de <i>Capsicum frutescens</i>.</p>	<p>Área de investigación: Ingeniería y Tecnología Línea de investigación: Ingeniería de Procesos Agroindustriales Sublínea de investigación: Ingeniería de Procesos Agroindustriales Grupo de investigación: Tipo de investigación: Básica <input checked="" type="checkbox"/>, Aplicada <input type="checkbox"/>, Desarrollo experimental <input type="checkbox"/></p>
<p>Autor: César Manuel Mendoza Hurtado</p>	<p>Facultad de Ingeniería Agroindustrial Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial https://orcid.org/0000-0002-7379-7650</p>
<p>Asesor: Ing. M.Sc. Karen Gabriela Documet Petrlik</p>	<p>Dependencia local de soporte: Facultad de Ingeniería Agroindustrial Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial Unidad o Laboratorio Ingeniería Agroindustrial https://orcid.org/0000-0001-9545-7561</p>

Dedicatoria

A mi Padre, Pedro Mendoza Yaipén, por ser mi mentor y mi ejemplo de optimismo y trabajo. A mi madre, María Elizabeth Hurtado Contreras, quien ha sido mi principal fuente de apoyo y maestra en cada circunstancia.

A mi hermano, Pedro Martín Mendoza Hurtado, por brindarme su apoyo incondicional y consejos en cada paso de mi vida.

A mi esposa, Paola Nathalia Vargas Pizango, por sus palabras, confianza, por su amor y brindarme el tiempo necesario para realizarme profesionalmente.

A mi hija, Adhara Darely Mendoza Vargas, quien es mi mayor motivación para nunca rendirme en los estudios y en el trabajo, y poder llegar a ser un ejemplo para ella.

Agradecimientos

A Dios, mi Padre Celestial por la valentía para seguir adelante y lograr realizar esta meta de la Tesis Profesional.

A mi asesora de tesis, la Ing. M. Sc. Karen Gabriela Documet Petrlik, por haberme compartido su conocimiento, paciencia y dedicación en cada etapa de esta investigación.

A mis padres, hermano y esposa, quienes, en los momentos más difíciles con su cooperación, me ayudaron a disipar los problemas manteniéndome firme para terminar con éxito esta Tesis.

Índice general

Ficha de identificación.....	6
Dedicatoria	7
Agradecimientos.....	8
Índice general.....	9
Índice de tablas	11
Índice de figuras.....	12
RESUMEN.....	13
ABSTRACT	14
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN	15
1.1. Formulación del problema de investigación.....	16
1.2. Objetivos.....	16
1.2.1. Objetivo general.....	16
1.2.2. Objetivos específicos.....	17
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	18
2.1 Antecedentes de la investigación	18
2.2. Fundamentos teóricos.....	21
2.2.1. Microencapsulación.....	21
2.2.2. Bioaccesibilidad – Biodisponibilidad <i>in vitro</i>	24
2.2.2.1. Método estático de digestión gastrointestinal <i>in vitro</i>	24
CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
3.1. Ámbito y condiciones de la investigación	26
3.1.1. Contexto de la investigación	26
3.1.2. Periodo de ejecución.....	26
3.1.3. Autorizaciones y permisos	26
3.1.4. Control ambiental y protocolos de bioseguridad.....	26
3.1.5. Aplicación de principios éticos internacionales.....	26

3.2. Sistema de variables	27
3.2.1. Variables independientes	27
3.2.2. Variables dependientes.....	27
3.3 Procedimientos de la investigación	27
3.3.1. Producir micropartículas por coacervación compleja utilizando el extracto de <i>Capsicum frutescens</i>).....	27
3.3.2. Evaluar la bioaccesibilidad de capsaicina contenida en micropartículas mediante simulación gastrointestinal <i>in vitro</i>)	30
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
4.1. Producir micropartículas por coacervación compleja utilizando el extracto de <i>Capsicum frutescens</i>	34
4.2. Evaluar la bioaccesibilidad de capsaicina contenidas en micropartículas mediante simulación gastrointestinal <i>in vitro</i>	37
4.2.1. Resultados de cuantificación de capsaicina de <i>Capsicum frutescens</i> mediante la espectroscopia UV-VIS.....	38
4.2.2. Resultados de bioaccesibilidad de capsaicina de <i>capsicum frutescens</i>	40
.....	40
CONCLUSIONES.....	41
RECOMENDACIONES	42
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
ANEXO – I Resultados de humedad (%) de microcápsulas de capsaicina.....	48
ANEXO – II Resultado de eficiencia de encapsulación (%) de microcápsulas de capsaicina ..	51
ANEXO – III Resultados del tamaño de microcápsulas de capsaicina.....	54

Índice de tablas

Tabla 1. Métodos de microencapsulación	22
Tabla 2. Métodos de microencapsulación y sus aplicaciones	22
Tabla 3. Preparación de stocks de las soluciones	30
Tabla 4. Variables experimentales utilizadas para la microencapsulación de capsaicina por coacervación compleja	34
Tabla 5. Resultados obtenidos en la microencapsulación de capsaicina por coacervación compleja.....	35
Tabla 6. Resultado de interacción de Velocidad de homogenización (VH) y Concentración de Oleorresina (OC) para Eficiencia de Encapsulación (%EE).....	35

Índice de figuras

Figura 1. Proceso de digestión in vitro estático	25
Figura 2 Resumen del proceso de microencapsulación por coacervación compleja	28
Figura 3 Resumen de la Fase Oral	31
Figura 4 Resumen de la Fase Gástrica	31
Figura 5 Resumen de la Fase Intestinal	32
Figura 6 Resumen de la Fase Micelar	32
Figura 7 Diámetro medio y morfología de las micropartículas con oleorresina de Capsicum.....	36
Figura 8 Vista del comportamiento de las micropartículas bajo condiciones del sistema gastrointestinal con oleorresina de Capsicum.....	38
Figura 9 Curva de calibración de capsaicina	39
Figura 10 Curva de cuantificación de capsaicina	39

RESUMEN

Microencapsulación y bioaccesibilidad de capsaicina obtenida del extracto de *Capsicum frutescens*

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo producir micropartículas conteniendo oleorresina de *Capsicum frutescens* utilizando gelatina y goma arábica como material encapsulante, con posterior análisis de su bioaccesibilidad en condiciones gastrointestinales. Las micropartículas formadas fueron caracterizadas en términos de: eficiencia de encapsulación, tamaño de partícula, humedad, proteína, morfología de micropartículas, así como la bioaccesibilidad. Los resultados mostraron que la cantidad del material activo es determinante para una mayor eficiencia de encapsulación, siendo de 1.25g de material activo (aceite) a una proporción de 1:1 de materiales de pared (2.5g de gelatina y 2.5g de goma arábica). El mejor porcentaje de eficiencia de encapsulación fue de $92.96 \pm 0.01\%$, los diámetros medios de las micropartículas estuvieron en el rango de 276.44 ± 0.19 y $278.56.032 \mu\text{m}$. Asimismo, la liberación de la oleorresina de *Capsicum* en la etapa intestinal, demostró la solubilidad de las micropartículas formadas y estar accesibles para su absorción. Se logró cuantificar la capsaicina contenida en el ají charapita (*Capsicum frutescens*), mediante la espectroscopia ultravioleta visible UV-VIS, determinándose en las fases oral, gástrica e intestinal la concentración de capsaicina de 0.04, 0.062 y 0.055 mg/ml, siendo los porcentajes de bioaccesibilidad de 20%, 31% y 27.5% respectivamente, Estos resultados viabilizan el uso de la oleorresina de *Capsicum frutescens* como material de relleno y con potencial uso en formulaciones como ingrediente.

Palabras clave: Coacervación compleja, bioaccesibilidad, micropartículas, solubilidad.

ABSTRACT

Microencapsulation and Bioaccessibility of Capsaicin obtained from *Capsicum frutescens*
Extract

The objective of this research was to produce microparticles containing oleoresin from *Capsicum frutescens* using gelatin and gum arabic as encapsulating material, with subsequent analysis of their bioaccessibility under gastrointestinal conditions. The resulting microparticles were characterized in terms of: encapsulation efficiency, particle size, moisture, protein, microparticle morphology. The results showed that the amount of active material is determinant for a higher encapsulation efficiency, being 1.25g of active material (oil) to a 1:1 ratio of wall materials (2.5g of gelatin and 2.5g of gum arabic). The best percentage of encapsulation efficiency was $92.96 \pm 0.01\%$, the mean diameters of the microparticles were in the range of $278.44 \pm 0.19 \mu\text{m}$. Likewise, the release of Capsicum oleoresin in the intestinal stage, demonstrated the solubility of the formed microparticles and being accessible for absorption. It was possible to quantify the capsaicin contained in the charapita chili pepper (*Capsicum frutescens*), by means of UV-VIS ultraviolet visible spectroscopy, establishing in the oral, gastric and intestinal phases the concentration of capsaicin of 0.04, 0.062 and 0.055 mg/ml, with bioaccessibility percentages of 20%, 31% and 27.5%, respectively. These results make viable the use of *Capsicum frutescens* oleoresin as a filler material and with potential use in formulations as an ingredient.

Keywords: Complex coacervation, bioaccessibility, microparticles, solubility.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN

En las últimas décadas, los estudios sobre compuestos bioactivos producidos por las plantas han demostrado su valor nutricional en forma de sabores, adición de alimentos y como productos bioquímicos de uso industrial (Isah, 2019). Por lo que, éstos compuestos bioactivos son fitoquímicos que se encuentran en los alimentos y son capaces de modular procesos metabólicos que activan, o inhiben, sistemas enzimáticos, inhiben las actividades del receptor e inducción e inhibición de la expresión génica, dando como resultado la promoción de una mejor salud (Correia et al., 2012). Sin embargo, estos compuestos pueden verse influenciados por condiciones ambientales externas.

En el Perú los ajíes son ingredientes básicos de su gastronomía, asimismo el ají "Charapita" (*Capsicum frutescens*) destaca por su amplio uso en la comida amazónica (Vegas et al., 2016). En general los ajíes son la principal fuente de capsaicinoides naturales, componentes bioactivos con distintas propiedades terapéuticas (anticancerígenas, antioxidantes, antiobesidad) (Santos et al., 2016). Encontrándose como uno de ellos, la especie *C. frutescens* el cual tiene propiedades antioxidantes, quimiopreventivas, anticancerígenas, y antiinflamatorias (Hayman & Kam, 2008). Respecto a la escala Scoville, la especie *C. frutescens* presenta un nivel mediodo pungencia o probablemente un nivel de picor en cuestión del estudio de otros capsaicinoides (Villalba Cadavid et al., 2017). Siendo así la capsaicina uno de los principales componentes activos de los ajíes con beneficios para la salud, sin embargo, su baja bioaccesibilidad y calidad irritante de capsaicina limita en gran medida sus aplicaciones en alimentos funcionales (Lu et al., 2016).

En tal virtud, el problema de investigación está referido a proteger al material bioactivo, afrontando retos como protegerlo de la temperatura, luz, oxígeno, iones metálicos, enzimas y exposición al agua (Đorđević et al., 2014). Por lo cual el estudio propone evitar que condiciones ambientales externas influyan en su rendimiento, como su degradación, cambiando las propiedades generales del producto alimenticio final (es decir, la presencia de residuos de color, sabores desagradables y degradación tóxica), exhibiendo escasa solubilidad en agua y presentando baja estabilidad de la digestión y absorción gastrointestinal (De Souza Simões et al., 2017).

Como un enfoque potencial, la microencapsulación, está ligada a la producción de alimentos futuros, como los nutraceuticos y a los productos farmacéuticos, que pueden entregarse en formas que controlen las cantidades de bioactivos liberados en los órganos

seleccionados; en cuanto a los nutrientes, estos pueden ser entregados a través de alimentos adaptados a la composición genética individual (nutrigenómica), para las necesidades metabólicas de un individuo, relacionadas con un elemento específico (metabolómica), por ende, la microencapsulación imita esta naturaleza, al empacar componentes activos dentro de estructuras que brindan protección y suministran nutrientes en los sitios apropiados, proporcionando un beneficio a los componentes alimentarios funcionales bioactivos al limitar el entorno adverso de procesamiento de alimentos, que a veces puede ser perjudicial (Onwulata, 2013). Por lo que, la microencapsulación exhibe efectos beneficiosos, como mejorar la estabilidad del compuesto activo, extender su vida útil, preservar sus propiedades funcionales, facilitar su manipulación cuando es añadido a una matriz alimentaria, además de proporcionar una entrega o liberación controlada o dirigida (Dias et al., 2015). Sin embargo, la eficacia de los componentes en los alimentos se puede asegurar midiendo la biodisponibilidad, esto incluye transformaciones alimenticias en el tracto gastrointestinal a material listo para la asimilación, absorción/asimilación en las células epiteliales intestinales y finalmente metabolismo presistémico (tanto en el intestino como en el hígado), cuya biodisponibilidad suele evaluarse por métodos digestivos. *in vitro*, que suele simular la digestión gástrica y del intestino delgado, la cual suministra información útil para elegir la dosis idónea y las fuentes de matrices alimentarias adecuadas (Courraud et al., 2013). En ese sentido, durante la última década, ha aumentado el interés en entender sobre los alimentos después de la digestión en el tracto gastrointestinal para fortalecer las posibles consecuencias del alimento en la salud del ser humano (Dupont et al., 2019). El sistema de digestión *in vitro* es un instrumento valioso a fin comprender y monitorear el comportamiento complejo de la degradación de los alimentos durante la digestión (Sousa et al., 2020).

1.1. Formulación del problema de investigación

¿Cuál será el porcentaje bioaccesible de capsaicina del extracto de *Capsicum frutescens* contenidas en micropartículas formadas por coacervación compleja?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Cuantificar el porcentaje bioaccesible de capsaicina del extracto de *Capsicum frutescens* contenidas en micropartículas producidas por coacervación compleja.

1.2.2. Objetivos específicos

- a) Producir micropartículas por coacervación compleja utilizando el extracto de *Capsicum frutescens*.
- b) Evaluar la bioaccesibilidad de capsaicina contenidas en micropartículas mediante simulación gastrointestinal *in vitro*.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

Según Justi et al. (2018), la microencapsulación por coacervación compleja del aceite de pulpa de pequi, *Caryocar brasiliense* utilizando gelatina y goma arábiga como agentes encapsulantes. Evaluaron como influye la temperatura, la rapidez de agitación y el material del núcleo en la coacervación del aceite, con el objetivo de preservar los carotenoides presentes en el aceite. Los mejores valores de rendimiento y contenido de carotenoides se obtuvieron en el punto medio del diseño (núcleo de 7,5 g, 15 000 rpm y 50 °C). Las partículas presentaron distribución asimétrica, con diámetros que oscilaron entre 15 y 145 μm y la eficiencia del proceso de encapsulación, obtenida por la retención de aceite en la microcápsula, osciló entre 66,58 y 96,50 %.

Según Rojas-Moreno et al. (2018), evaluaron el efecto del agente reticulante en la eficacia de encapsulación de bioactivos lipofílicos por coacervación compleja utilizando los sistemas: aislado de proteína de suero de leche (APS): Carmelosa, APS: Algina (AG), APS: acacia y APS: chitosán (Q). Determinaron los efectos del pH, la relación proteína: Polímeros y el contenido de sólidos en la eficiencia de la coacervación. Para escoger las condiciones adecuadas de coacervación, se usaron como reticulantes ácido tánico (AT), tripolifosfato de sodio (TPF), ácido tánico oxidado (ATO), enzima transglutaminasa (TG) y glutaraldehído (GLU) para endurecer la pared de coacervación. La mayor eficiencia de encapsulación (EE) obtenida en microcápsulas coaservadas en suspensión estuvo entre 88 y 94%. Con estos sistemas y agentes reticulantes, encapsularon aceite esencial de bergamota y aceite de pescado. Concluyeron que el procedimiento de microencapsulación por coacervación compleja con reticulación, da mayor seguridad sobre el daño oxidativo en ácidos grasos omega 3, sin embargo, mencionan que es insuficiente para conservar la calidad del elemento lipofílico.

En su investigación Marfil et al. (2018), indicó que la microencapsulación por coacervación compleja del aceite de palma, donde pretendían optimizar la microencapsulación de aceite de palma mediante coacervación compleja utilizando gelatina y goma arábiga como materiales de pared. Para este propósito, emplearon los efectos de la concentración del material de la pared (WM) (2.5, 5.0 y 7.5% p/v), relación gelatina: goma arábiga (G:GA) (1:2; 1:1; 2:1), y relación de material núcleo: pared (C: WM) (75, 100 y 125%) sobre la eficiencia de encapsulación, la morfología de las partículas, y se investigó la distribución del tamaño de las microcápsulas. Los ensayos de microencapsulación siguieron un diseño central factorial y, después de la coacervación, las

microcápsulas se liofilizaron. Los valores más altos de eficiencia de encapsulación se obtuvieron utilizando G:GA = 1:1 o 2:1 con C: WM = 100 %, mientras que la concentración de WM podía variar de 2,5 a 7,5 %. Altas concentraciones de WM (7,5%) y G:GA = 2:1 dificultaron la formación de microcápsulas esféricas u ovaladas. Las microcápsulas mostraron un diámetro promedio de entre 97 y 690 μm , con una concentración creciente de WM y una relación C: WM más alta que contribuye a la formación de microcápsulas más grandes. La relación G:GA mostró la mayor influencia en el tamaño de partícula, con la relación 1:2 dando como resultado microcápsulas más pequeñas.

En su trabajo de investigación Juárez-Goiz et al. (2018), utilizaron el método de coacervación compleja para lograr la microencapsulación de capsaicinoides de oleoresina de chile (CJO), obteniendo microcápsulas esféricas y multinucleadas con altos niveles de pungencia (aproximadamente 320 000 unidades de calor Scoville. Concluyeron que la coacervación compleja permite la microencapsulación de capsaicinoides en altos niveles, con buenas características fisicoquímicas y altos niveles de pungencia.

En sus investigaciones Victoria-Campos et al. (2015) determinaron la bioaccesibilidad de la capsaicina y la dihidrocapsaicina en digestiones *in vitro* con pimiento rojo fresco sin tratamiento, dando como resultado el $13.93 \pm 1.33\%$ y 14.13 ± 1.07 respectivamente.

En su investigación Vargas Pizango (2021), utilizó goma arábica y gelatina Tipo A, como material de pared para producir micropartículas conteniendo aceite de pescado, las cuales se elaboraron usando gelatina (2.5% m/m) y goma arábica (2.5% m/m) como material encapsulante y como elemento activo (aceite de pescado) 1.25 % (m/m) a 50°C, ajustado a un pH 4. Dentro de su metodología caracterizó micropartículas producidas por coacervación compleja con o sin reticulación en cuanto al tamaño, morfología y microestructura. Realizó reticulación de micropartículas coacervadas utilizando la enzima transglutaminasa a diferentes concentraciones con el objetivo de endurecer o reforzar las paredes de las micropartículas. En sus resultados obtuvo micropartículas de humedad $80.86 \pm 1.26\%$, $17.65 \pm 0.53\%$ de lípido, $40.29 \pm 0.87\%$ de proteína y 95.12 ± 1.48 de eficiencia de encapsulación. Concluyó que las micropartículas sin recubrimiento fueron menos protectoras y sufrieron mayor oxidación que las micropartículas reticuladas con 50 U /g. ptn, las cuales ofrecieron mejor protección al aceite microencapsulado.

El método INFOGEST trata sobre la digestión estática la cual usa una proporción y un pH fijos de alimentos y fluidos digestivos en todas las etapas de la digestión. Ello conlleva a que el procedimiento resulte fácil de utilizar, aunque inconveniente a fin de imitar la dinámica de la digestión. Por lo tanto, en este procedimiento, elementos como

electrolitos, enzimas, bilis, dilución, pH y tiempo de digestión basado en datos fisiológicos utilizables, y las muestras de alimentos se digieren secuencialmente por vía oral, gástrica e intestinal. INFOGEST 2.0, por otro lado, es un método de digestión con modificaciones y mejoradores el cual elude los siguientes desafíos afiliados a la metodología inicial: Evaluación de indicadores de desempeño resultantes de la digestión de alimentos analizando la ingesta oral y la utilización de la lipasa gástrica y los productos digestivos (péptidos/aminoácidos, ácidos grasos, azúcares simples, etc.) y evaluando la liberación de micronutrientes de la matriz alimentaria (Brodkorb *et al.*, 2019).

En su trabajo de investigación Hamed et al. (2021), sobre la bioaccesibilidad de compuestos fenólicos, flavonoides, carotenoides y capsaicinoides: un estudio comparativo de cultivares de papa cocida mezclados con variedades de pimiento asado; menciona que durante la digestión gástrica, los compuestos fenólicos, flavonoides, carotenoides y capsaicinoides son altamente bioaccesibles; siendo la bioaccesibilidad de estos compuestos bioactivos influenciada por la constitución de la matriz alimentaria digerida y propiedades fisicoquímicas, como el pH, la temperatura y la textura de la matriz.

En su trabajo de investigación Rodríguez de León (2018), realizó la Medición de capsaicinoides y compuestos fenólicos en dos cultivares de chile picante cultivados en invernadero en Nuevo León y su correlación con su capacidad para inhibir la α -amilasa y la α -glucosidasa, concluyendo que los altos niveles de capsaicina y dihidrocapsaicina en los pimientos cultivados en Nuevo León probablemente se deban al efecto de la humedad en los niveles de capsaicinoides, dado el clima y el suelo bastante secos de la región, asimismo mencionan que La nutrición mineral en diferentes suelos es un factor que influye en el aumento de las concentraciones de capsaicinoides en frutos de *Capsicum*. Sin embargo, sus resultados sugieren que el contenido de capsaicinoides puede estar relacionado no solo con factores ambientales sino también con el genotipo. Se utilizaron las mismas condiciones ambientales para el desarrollo de las plantas de habanero de los dos cultivares (Jaguar y Texcoco), los cuales mostraron diferencias significativas.

En su trabajo de investigación Bastos et al. (2020), evaluó las condiciones más apropiadas (pH y relación de biopolímeros) para la formación del complejo entre β -lactoglobulina (β -lg) y alginato de sodio (NaAlg). Además, microencapsulados aceite esencial (AE) de pimienta negra usando estos biopolímeros y transglutaminasa como agente de entrecruzamiento, y se estudió la estabilidad durante la digestión *in vitro* y su liberación en modelos alimentarios. Una relación de 17:1 (β -lg/NaAlg) a un pH de 4,5 fue la condición óptima para la formación del complejo. La eficacia para la encapsulación ($85,01\% \pm 0,26$) y las características químicas y morfológicas sugirieron que el AE de

pimienta negra fue microencapsulado usando polímeros y agentes reticulantes naturales. El tamaño de partícula demostró que las cápsulas producidas estaban a escala micro. Las microcápsulas demostraron una baja liberación de AE de pimienta negra durante la digestión oral y gástrica y una mayor liberación en la digestión intestinal. El AE de pimienta negra después de la digestión presentó alta estabilidad ($84,8\% \pm 0,07$), y bioaccesibilidad ($31,16\% \pm 0,3$). Los resultados sugieren que el AE de pimienta negra sea microencapsulado y conservado en modelo de alimento acuoso y durante las condiciones orales y gástricas probadas *in vitro*.

2.2. Fundamentos teóricos

2.2.1. Microencapsulación

La microencapsulación es una técnica para recubrir materiales sólidos, líquidos o gaseosos con diferentes tipos de materiales biopoliméricos, su aplicación es diversa en alimentos, agricultura, industria farmacéutica, inseminación artificial, producción de alimentos inertes para peces, cosmética, química, biomedicina y otros campos (Da Silva et al., 2014). Estatactecnología es ampliamente usada para conservar las propiedades fisicoquímicas y biológicas de compuestos biológicamente activos, así como también de otros materiales de interés que no son biocompuestos (Castañeda et al., 2011).

2.2.1.1 Métodos de microencapsulación

La microencapsulación es una técnica basada en un campo multidisciplinario, que se considera como la combinación de un conocimiento de muchas áreas de la química, la física y la ciencia de los materiales (Petrulis & Petrulyte, 2019). Durante este proceso ciertas sustancias biológicamente activas son recubiertas por una matriz de biopolímeros con miras a obtener partículas sólidas de tamaño micrométrico, lo cual tiene como objetivo impedir su degradación (Villamizar & Martínez, 2008). En general, los métodos de microencapsulación se fraccionan en 2 grupos básicos, es decir, químico y físico, y éste último se subdivide en técnicas físico-química y físico-mecánica (Ghosh, 2006).

La clasificación de los métodos de microencapsulación, se muestra a continuación (Tabla 1).

Tabla 1.
Métodos de microencapsulación

Químico	Físico	
	Físico-químico	Físico-mecánico
- Polimerización	- Coacervación	- Secado por pulverización y congelación
- Emulsión in situ	- Evaporación de solventes	- Encapsulación electrostática
- Suspensión	- Extracción con solventes	- Recubrimiento de bandeja
- Dispersión	- Adsorción de capa por capa	- Encapsulación al vacío
- Policondensación interfacial	- Precipitación compleja	- Extrusión
	- Gelación iónica	- Suspensión de aire
	- Precipitación de flujo supercrítico	- Multiorificio-centrífugo

Fuente: (Ghosh, 2006)

Los métodos de microencapsulación y sus aplicaciones lo podemos observar en la Tabla 2.

Tabla 2.
Métodos de microencapsulación y sus aplicaciones

Métodos de Microencapsulación	Naturaleza física del material del núcleo	Aproximado tamaño de partícula (μm)
- Polimerización	Sólido y líquido	1 – 1000
- Policondensación interfacial	Sólido y líquido	3 – 2000
- Coacervación	Sólido y líquido	2 – 5000
- Evaporación solvente	Sólido y líquido	5 – 5000
- Suspensión de aire	Sólido	35 – 5000
- Recubrimiento de bandeja	Sólido	600 – 5000
- Secado por pulverización y congelación	Sólido y líquido	600
- Centrífuga multiorificio	Sólido y líquido	1 – 5000

Fuente: (Ghosh, 2006)

2.2.1.2. Microencapsulación por Coacervación Compleja

La coacervación compleja es una separación asociativa de fase líquido-líquido que puede ocurrir en soluciones de especies macromoleculares con carga opuesta, como proteínas, polímeros y coloides; este proceso da como resultado una fase coacervada, que es una mezcla densa de los componentes con carga opuesta, y una fase sobrenadante, que está principalmente desprovista de estas mismas especies (Sing & Perry, 2020). En la

actualidad se buscan las más reciente estrategias de diseño de coacervación compleja macromolecular con respecto a diferentes parámetros clave, incluida la estructura macromolecular, la relación de mezcla, la fuerza iónica, el pH y la temperatura, etc. Además, las aplicaciones de estos múltiples materiales coacervados funcionales, orientados hacia la encapsulación avanzada, se resumen en varios dominios activos, como, para el tratamiento de aguas residuales, purificación de proteínas, formulación de alimentos, adhesivos subacuáticos, suministro de medicamentos e imitadores celulares (Zhou et al., 2020).

2.2.1.3 Biopolímeros

Desde la antigüedad, los biopolímeros han sido utilizados por la humanidad como alimento; y muchos tipos diferentes de biopolímeros son ingredientes naturales, que varían en sus características moleculares y propiedades funcionales, convirtiéndolos en un avance específico para la preocupación humana y medioambiental debido a su biodegradabilidad (Prameela et al., 2018). Los biopolímeros de grado alimenticio, además de sus propiedades nutricionales inherentes, pueden diseñarse a medida para mejorar la calidad y seguridad de los alimentos, ya sea sirviendo como vehículos de entrega de moléculas bioactivas, o como componentes de empaque novedosos, no solo mejorando las propiedades de transporte de las estructuras de empaque de base biológica, sino también imparte propiedades antibacterianas y antivirales activas (Gómez-Mascaraque et al., 2018).

Gelatina

Uno de los biopolímeros más utilizados para aplicaciones de entrega de medicamentos y alimentos es la gelatina, caracterizándose por poseer propiedades únicas que lo convierten en un buen candidato para la fabricación de nanopartículas alimentarias; siendo estas propiedades, la biodegradabilidad, biocompatibilidad, la fácil modificación y su bajo costo (Ali et al., 2019).

Karim & Bhat (2008), menciona que la gelatina muestra múltiples roles funcionales en el procesamiento y formulación de alimentos, lo cual lo divide en dos grupos; El primero tiene propiedades asociadas con la gelificación, por ejemplo, la fuerza del gel, el tiempo de gelificación, las temperaturas de fraguado y fusión, la viscosidad, el espesamiento, la texturización y la retención de agua. El segundo grupo se relaciona con el comportamiento superficial de la gelatina, por ejemplo, formación y estabilización de emulsión, coloide protector.

Goma arábica

La goma arábica tiene un gran valor comercial. Es popular en la industria alimentaria debido a su indigestibilidad, baja viscosidad de la solución y generalmente reconocido como seguro, y tiene muchas aplicaciones alimentarias gracias a sus propiedades de emulsionante, estabilizante, aglutinante y de extensión (Patel y Goyal, 2015).

El Menyiy et al. (2022), menciona que la goma arábica por su biodegradabilidad y biocompatibilidad se ha empleado ampliamente como espesante, aditivo, emulsionante y agente de suspensión en diversos alimentos, cosméticos y productos farmacéuticos. Así como también ha demostrado su utilidad como posible material excipiente biopolisacárido como aglutinante, relleno y desintegrante.

2.2.2. Bioaccesibilidad – Biodisponibilidad *in vitro*

El método de digestión *in vitro* es utilizado ampliamente, debido a que resulta rápido, barato y reproducible lo cual permite conocer la bioaccesibilidad, biodisponibilidad y digestibilidad de un compuesto o metabolito (Hedrán et al., 2002).

Los métodos de bioaccesibilidad - biodisponibilidad *in vitro* son útiles para proporcionar conocimiento sobre posibles interacciones entre nutrientes y componentes de alimentos, los efectos de factores luminales (incluyendo pH y enzimas), las prácticas de preparación, los procesamientos de alimentos y la naturaleza de la matriz de alimentos, sin embargo, debe tenerse en cuenta que la biodisponibilidad, nunca puede medirse en su totalidad por ninguno de estos métodos *in vitro*. (Etcheverry et al., 2012).

2.2.2.1. Método estático de digestión gastrointestinal *in vitro*

El método de digestión *in vitro* estático, está basado en simular las condiciones fisiológicas de la digestión en el laboratorio, según los parámetros: volumen y composición de los fluidos digestivos, programa de mezcla, pH, temperatura y duración de cada fase. Así como la preparación de fluidos digestivos simulados con distintas concentraciones de electrolitos y las correspondientes enzimas; se tiene en cuenta la simulación de los tiempos de residencia en cada fase con sus respectivas condiciones, para que las alícuotas del contenido digestivo en cada etapa sean tomadas para realizar las determinaciones analíticas (Heredia Gutiérrez et al., 2021).

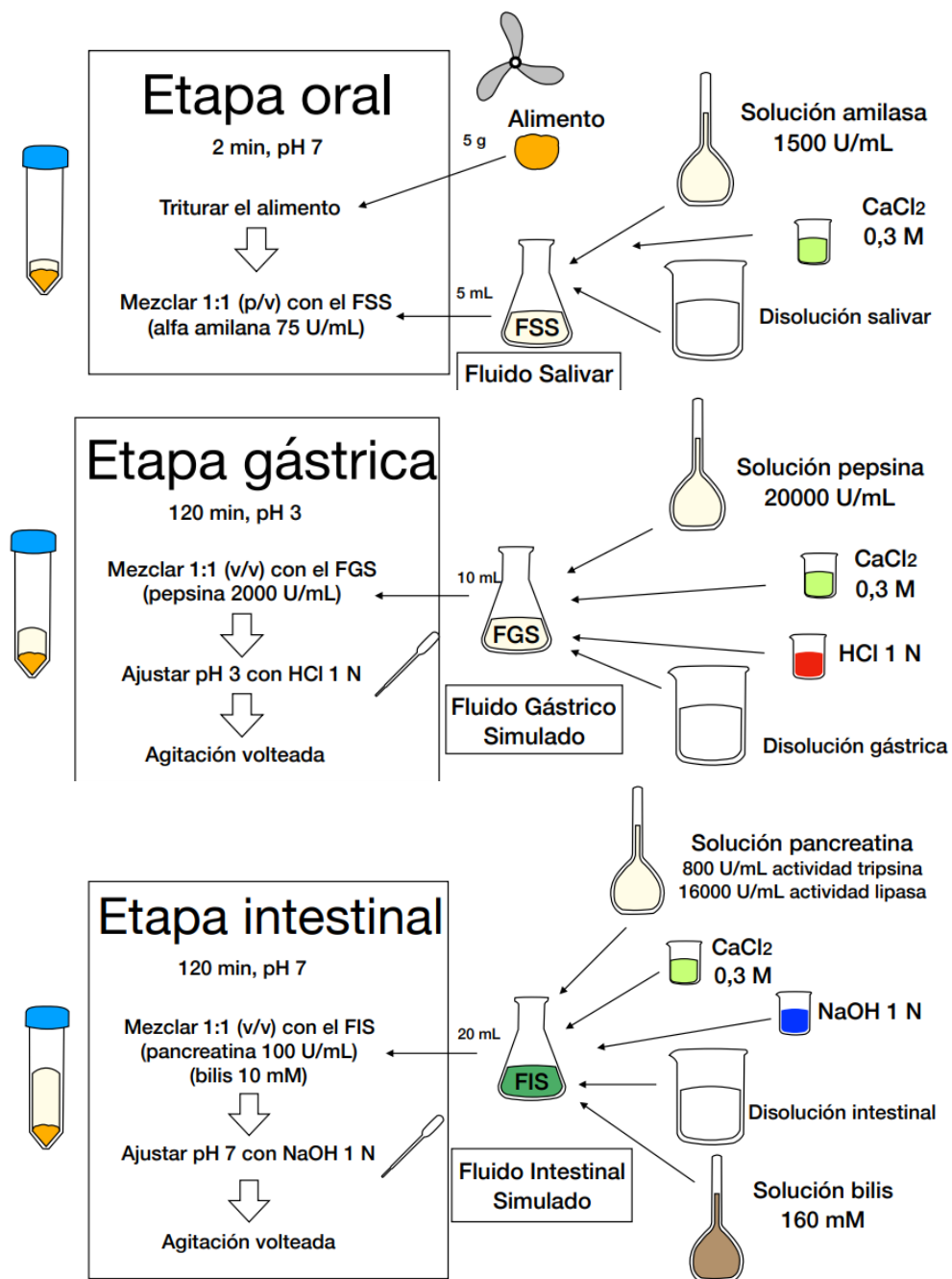


Figura 1. Proceso de digestión *in vitro* estático

Fuente: (Heredia Gutiérrez et al., 2021)

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ámbito y condiciones de la investigación

3.1.1. Contexto de la investigación

El trabajo de investigación se realizó en:

- Laboratorio de Investigación de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la UNSM, Ciudad Universitaria, Morales, Provincia y Región San Martín.
- Laboratorio de Investigación FIAI – UNSM, Tarapoto
- Laboratorio de Biología y Genética Molecular – FCA – UNSM, Tarapoto.
- Laboratorio de Investigación de Control de Calidad de Alimentos – UNAP, Iquitos.
- Laboratorio de Análisis Físicoquímico – UNAP, Iquitos.

La materia prima (extractos del ají charapita) son obtenidas del proyecto “Obtención de capsaicinoides del *Capsicum frutescens* (ají charapita) por extracción supercrítica utilizando co-solvente” financiado por el Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (CONCYTEC) mediante el proyecto “Adquisición de un sistema de extracción acelerado por fluidos supercríticos para la obtención de compuestos bioactivos de alta pureza a partir de productos y subproductos agroindustriales”, según contrato N°013-2018 FONDECYT-BM.

3.1.2. Periodo de ejecución

Este trabajo de investigación fue culminado dentro de un periodo de 2 años aproximadamente.

3.1.3. Autorizaciones y permisos

“No aplicó”

3.1.4. Control ambiental y protocolos de bioseguridad

En cuanto al control ambiental este proyecto “No aplicó”. Para los protocolos de bioseguridad con relación al Covid-19 se siguió todas las recomendaciones del ministerio de salud y la directiva de la UNSM.

3.1.5. Aplicación de principios éticos internacionales

El proyecto respetó los principios éticos internacionales. Sin embargo, en la ejecución del proyecto no se contempló las consideraciones especiales de los tratados internacionales.

3.2. Sistema de variables

3.2.1. Variables independientes

- Parámetros de encapsulación: Porcentaje de capsaicina y velocidad de homogenización
- Fase gastrointestinal: oral, gástrica e intestinal

3.2.2. Variables dependientes

- Eficiencia de encapsulación
- Tamaño de micropartículas
- Morfología de micropartículas
- Humedad
- Proteína
- Porcentaje Bioaccesibilidad de capsaicina

3.3 Procedimientos de la investigación

Para el proceso de microencapsulación se utilizó un diseño experimental completamente al azar con dos factores y un diseño factorial de tres niveles para cada factor. El factor considerado fue el porcentaje de material activo (%MA), que consistió en niveles de 25, 50 y 75% de aceite de capsaicina. Velocidad de homogeneización en revoluciones por minuto (rpm) a niveles de 12,000; 15.000 y 18,000 rpm.

El procesamiento de los datos se realizó mediante tablas de contingencia que fueron elaborados después de los resultados en IBM SPSS Statistics 21, donde se efectuó el análisis de varianza (ANOVA) a fin de verificar probables cambios e interacciones de los componentes. Se efectuó una prueba de comparación múltiple (Tukey) basado en 5%, debido a las diferencias entre las medias.

3.3.1. Producir micropartículas por coacervación compleja utilizando el extracto de *Capsicum frutescens*)

3.3.1.1. Producción de micropartículas de extractos de *Capsicum frutescens* por coacervación compleja

Las micropartículas fueron producidas de acuerdo al método de microencapsulación por coacervación compleja descrito por Qv et al. (2011) con ligeras adaptaciones en la producción de micropartículas coacervadas de extractos de *Capsicum frutescens*:

Se modificó el porcentaje del material encapsulante (formadores de pared)

soluciones de gelatina tipo A y goma arábica, de 1.0% a 2.5%, y la relación de material del núcleo a pared de 1.25:1 a 1:1. Para el material de relleno o componente activo encapsulado se usó extractos de ají charapita en concentraciones de 25%, 50%, 75% en relación al peso total de los polímeros formadores de pared del sistema en base seca. La solución de gelatina a 50 ± 3 °C se mezcló con el extracto de ají charapita (material de relleno) y homogenizada en Ultraturrax durante 5 min. (a 12,000; 15,000 y 18,000 rpm de velocidad). Después la emulsión fue agregada a la disolución de goma arábica a 50 ± 3 °C y agitada por 5 min. en agitador magnético y enseguida se agregó H₂O destilada a la misma temperatura, conservando las mezclas nuevamente en agitación lenta por aproximadamente 5 min. El pH de la disolución fue ajustado disminuyendo paulatinamente su valor de concentración, hasta alcanzar un pH de 4 ± 0.02 . Para la corrección del pH se utilizó la solución de HCl 0.5 y/o NaOH 0.5. Finalmente, la disolución incluyendo las micropartículas se refrigeró en baño con hielo, manteniéndose en agitación lenta y constante hasta que la temperatura alcanzó los 10 °C aproximadamente. Luego las partículas se decantaron y se mantuvieron en refrigeración.

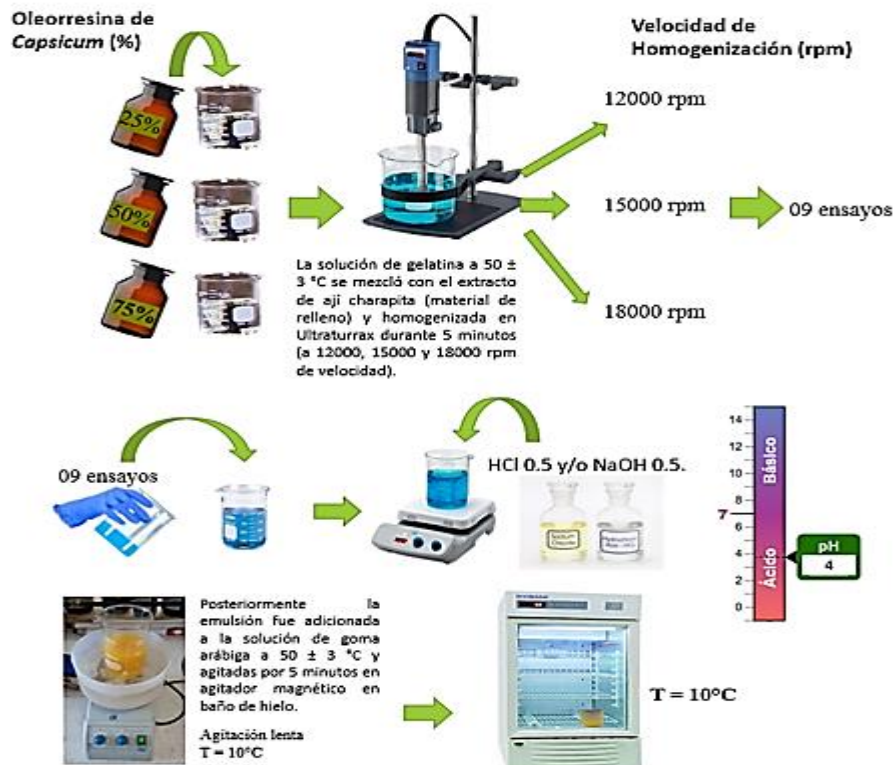


Figura 2. Resumen del proceso de microencapsulación por coacervación compleja.

3.3.1.2. Caracterización de micropartículas obtenidas por coacervación compleja

La caracterización de micropartículas conseguidas por coacervación compleja se hizo con las muestras húmedas.

Determinación de humedad

Para la determinación del porcentaje de humedad de las micropartículas de capsaicina del extracto de *Capsicum frutescens*, se utilizó el método de secado en estufa AOAC (2005). Las Placas Petri se lavaron y secaron en la estufa durante una hora, después se enfriaron en un desecador y se pesaron. Luego pesamos 5 g de muestra y se colocamos en la placa Petri, luego trasladamos a la estufa a 105 °C durante 6 horas. Retiramos la placa de la estufa y colocamos en una campana de desecación por 5 minutos, finalmente se anotamos el peso correspondiente.

Determinación de proteína

Las proteínas aisladas de los hidrogeles permanecieron solubles en el sobrenadante y se cuantificaron mediante el método Kjeldahl, el cual tiene tres procedimientos: digestión, destilación y titulación AOAC (2005).

Tamaño medio

La determinación del tamaño medio de las micropartículas se realizó por microscopía óptica utilizando microscopio óptico (ZEISS – Primo Start) con captación de imágenes a través de cámara digital controlada por el programa. Las fotos digitalizadas de 500 micropartículas para cada muestra fueron realizadas con ayuda del programa Microcal Origin pro 9.1 (Microcal Software, Inc., MA, USA).

Morfología y microestructura de micropartículas

La observación de la morfología y microestructura de las micropartículas húmedas se realizó por microscopía óptica (MO).

Eficiencia de encapsulación

Se usó el siguiente método para medir el contenido total de aceite en micropartículas. Se agregó una disolución de citrato de sodio con una solidificación de 3% (m/m) a 5 g de micropartículas húmedas a fin de liberar el aceite. Luego de este paso, el aceite fue cuantificado utilizando el método de Bligh y Dyer (1959). La eficiencia de encapsulación se determinó por la relación:

$$EE(\%) = \frac{\text{Aceite total en emulsión(g) / sólidos totales (g)}}{\text{Aceite inicial (g) / sólidos totales (g)}} \times 100$$

3.3.2. Evaluar la bioaccesibilidad de capsaicina contenida en micropartículas mediante simulación gastrointestinal *in vitro*)

3.3.2.1. Metodología de Simulación gastrointestinal *in vitro*

El proceso de simulación de la digestión gastrointestinal (DGI) *in vitro* comprendió tres etapas: oral, gástrica e intestinal de acuerdo a la metodología descrita por Heredia Gutiérrez et al. (2021). La preparación de stocks de las soluciones, se realizó por separado, como podemos observar en la Tabla 3.

Tabla 3.
Preparación de stocks de las soluciones

Reactivo	Concentración Stock		SSF pH 7 Vol. De Stock ml	SGF pH 3 Vol. De Stock ml	SIF pH 7 Vol. De Stock ml	Solución Necesaria mL	Total, a Preparar mL	Cantidad de Reactivo g
	g/L mol/L							
KCl	373	0.5	9.4375	8.625	17	35.06	50	1.865
KH ₂ PO ₄	68	0.5	2.3125	1.125	2	5.44	10	0.68
NaHCO ₃	84	1	4.25	15.625	106.25	126.13	250	21
NaCl	117	2	----	14.75	24	38.75	50	5.85
Mg	305	0.15	0.3125	0.5	2.75	3.56	5	0.1525
Cl ₂ (H ₂ O) ₆ (NH ₄) ₂ CO ₃	48	0.5	0.0375	0.625	----	0.66	5	0.24

Para la preparación de CaCl₂ a 0.3M, se pesó 3.3394 g, diluyéndose en 100 ml de agua destilada; la solución de pepsina ≥ 2500 units/mg se pesó 50 mg, diluyéndose en una fiola de 50 ml con la solución stock FSG; la solución de bilis se pesó 50 mg, diluyéndose en una fiola de 50 ml con la solución stock FSI; la solución de pancreatina 8 x USP se pesó 100 mg, diluyéndose en una fiola de 100 ml con la solución stock FSI.

Fase oral

Se pesaron 20 g de muestra en cada matraz con tapa rosca (para esta fase, se requirió 2 matraces). En cada muestra se añadió 18 ml de fluido salivar simulado a pH7, 100 µl CaCl₂ 0.3M, 1.9 ml de agua destilada, homogenizándose durante 2 minutos. Después de la homogenización, se llevó a un baño termostático con agitación durante 2 horas a 37°C, por consiguiente, se retiró los matraces del baño, llevándolos a refrescar (hasta conseguir los 10°C en inmersión de hielo).

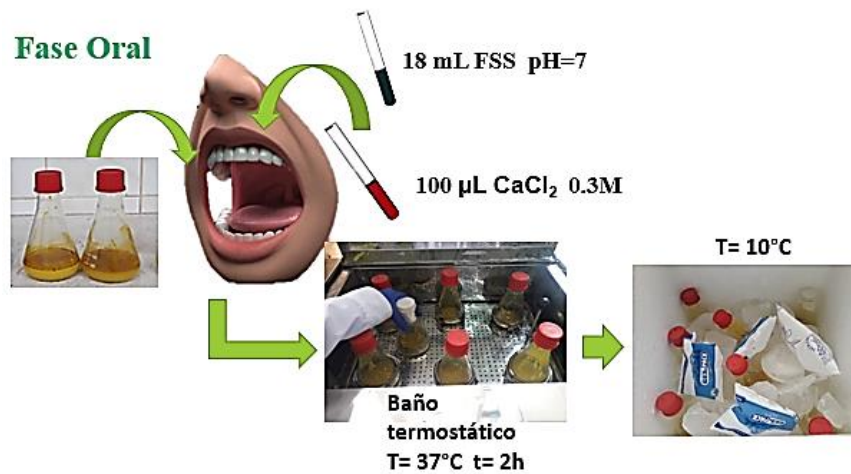


Figura 3. Resumen de la Fase Oral

Fase gástrica

Se pesaron 20 g de muestra en cada matraz con tapa rosca (para esta fase, se requirió 2 matraces). En cada muestra se añadió 30 mL de fluido gástrico simulado a pH3, 20 µL CaCl₂ 0.3M, homogenizándose durante 2 minutos, se reguló a pH 2 con HCl a 5N, inmediatamente se añadió 2.1 mL de agua destilada, posteriormente se agregó 6.4 mL de disolución de pepsina ≥ 2500 units/mg, homogenizándose durante 2 minutos más. Después de la homogenización, se llevó a un baño termostático con agitación durante 2 horas a 37°C, por consiguiente, se retiró los matraces del baño, llevándolos a enfriar (obtener los 10°C en baño de hielo).

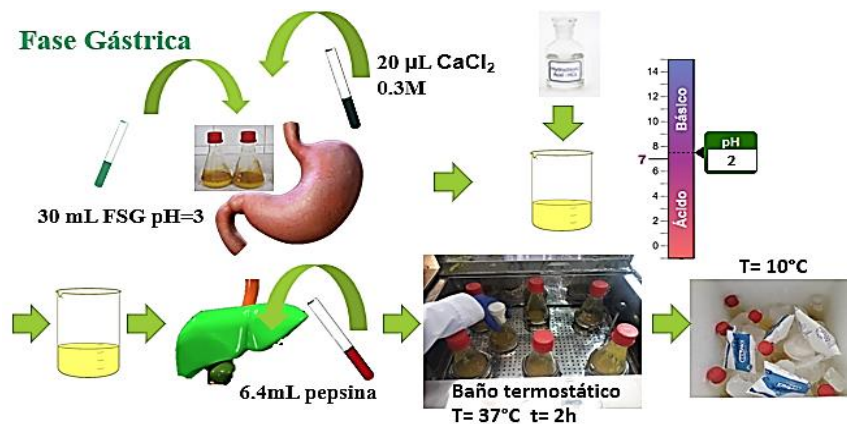


Figura 4. Resumen de la Fase Gástrica

Fase intestinal

Se pesaron 20 g de muestra en cada matraz con tapa rosca (para esta fase, se requirió 3 matraces). En cada muestra se añadió 40 mL de fluido intestinal simulado a pH 7, 160 µL CaCl₂ 0.3M, inmediatamente se añadió 2.5 mL agua destilada, 10 mL solución bilis, homogenizándose durante 2 minutos, regulándose con NaCl 0.5M a pH 7,

posteriormente se agregó 20 mL de solución de pancreatina 8 x USP, homogenizándose por 2 minutos más. Después de la homogenización, se llevó a un baño termostático con agitación durante 2 horas a 37°C, por consiguiente, se retiró los matraces del baño, llevándolos a enfriar (Lograr los 10°C en baño de hielo).

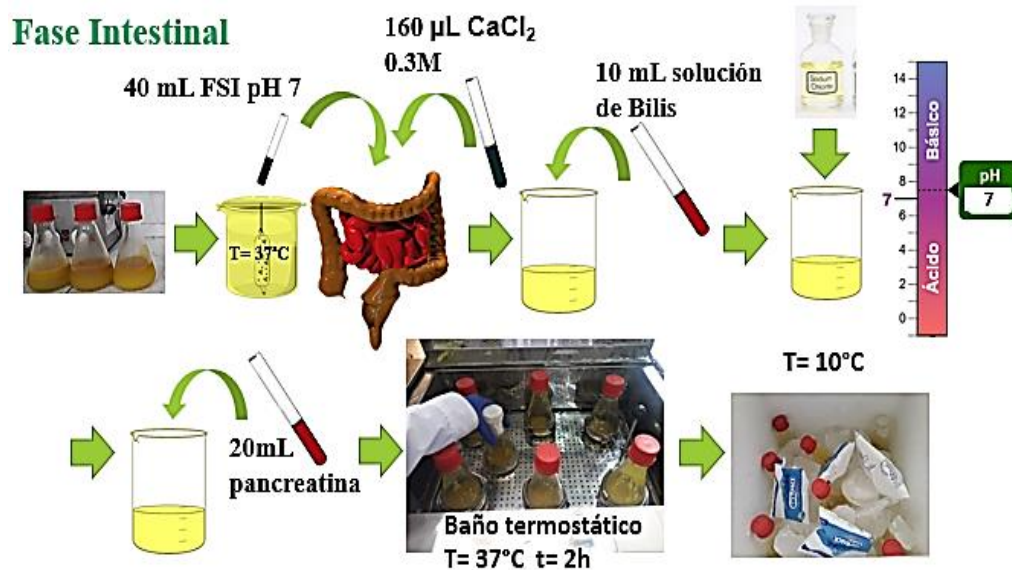


Figura 5. Resumen de la Fase Intestinal

Separación de la fase micelar

Los matraces pasaron por una etapa de separación micelar, donde las muestras se centrifugaron a una velocidad de giro de 3500 rpm a 4°C durante 10 minutos, recogiendo el sobrenadante, pasándolo a un diferente tubo de 50 ml, congelándose para su posterior análisis

Separación Micelar



Figura 6. Resumen de la Fase Micelar

Cuantificación de capsaicina

Posteriormente las muestras pasaron por el proceso de cuantificación de capsaicina, la cual se realizó por espectrofotometría UV, donde se desarrolló conforme al método descrito por Cruz Arveras et al. (2015).

Para la preparación para la lectura de las muestras, se preparó soluciones a partir de los extractos antes de ser llevado al espectrofotómetro, se llevó a concentraciones bajas que pueden oscilar entre aproximadamente de 0,7mg/mL. Para ello se realizó 3 diluciones, quedando dentro de la curva el de 0,2mL del extracto, en una fiola de 10mL (0,2:10). Para la lectura se utilizó 0,4 mL de la dilución. Inmediatamente se mezcló las diluciones y se colocó en cubetas para las lecturas en el espectrofotómetro, primero el blanco en el equipo, tomada a la máxima absorbancia de nuestro barrido de la solución reguladora, para cada muestra se hicieron como mínimo lecturas por triplicado.

3.3.2.2. Determinación de bioaccesibilidad

La bioaccesibilidad de los bioactivos se expresó en porcentaje del nutriente dializado en relación a la cantidad inicial (contenido en la micropartícula) de cada muestra: Bioaccesibilidad (%) = $[D / I] * 100$; Donde D = contenido de compuesto dializado ($\mu\text{g.g}^{-1}$ MS o mg.g^{-1} materia seca), I = contenido del nutriente inicial ($\mu\text{g.g}^{-1}$ o mg.g^{-1} materia seca).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Producir micropartículas por coacervación compleja utilizando el extracto de *Capsicum frutescens*

Las micropartículas conseguidas por coacervación compleja fueron realizadas teniendo en cuenta las condiciones de procesamiento y de estructura previamente evaluadas por Vargas Pizango (2021), y presentadas en la Tabla 4. Estas condiciones se eligieron para adquirir micropartículas monolíticas, esféricas, multinucleadas, con una distribución de tamaño unimodal y un contenido apropiado de componentes hidrofóbicos (oleorresina de *capsicum*).

Tabla 4.

Variables experimentales utilizadas para la microencapsulación de capsaicina por coacervación compleja

Variables	Definición y unidades	Nomenclatura	Valor o rango
Independiente	Oleorresina de Capsicum (%)	OC	25%, 50%, 75%
	Velocidad de Homogenización	rpm	12k, 15k, 18k
Dependiente	Eficiencia de encapsulación (%)	EE o y_1	
	Tamaño de partícula	TP o y_2	
	Humedad (%)	%H o y_3	
	Morfología	Mo o y_4	
	Proteína (%)	Pt o y_5	Rpm

= Revoluciones por minuto, $k = a \times 1000$

En este objetivo se produjo micropartículas utilizando coacervación compleja para determinar la más alta eficiencia de encapsulación.

Los materiales encapsulantes se caracterizaron por la correlación al contenido de proteína, humedad de acuerdo con el método de la *Association of Official Analytical Chemistry* (AOAC, 2005). Determinando Inicialmente el contenido de proteína de la gelatina y de la goma arábiga el $88.97 \pm 0.17\%$ y $2.09 \pm 0.06\%$ respectivamente, presentando un contenido de humedad de $11.30 \pm 0.15\%$ y 10.31% para gelatina y goma arábiga respectivamente.

Tabla 5.
Resultados obtenidos en la microencapsulación de capsaicina por coacervación compleja

Experimentos	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Variabes independientes									
OC	25	25	25	50	50	50	75	75	75
VH	12	15	18	12	15	18	12	15	18
Variabes dependientes									
EE o y1(%)	82.70±3.23	84.96±1.60	92.96±0.01	75.30±0.01	80.18±0.02	83.73±0.02	73.57±0.04	80.65±0.01	86.65±0.01
TP o y2(µm)	266.72±73	269.83±52	276.44±19	258.59±52	268.21±11	278.93±55	257.69±20	268.56±32	278.56±32
%H o y3	72.09±1.15	79.25±1.76	82.20±1.79	74.75±1.29	75.17±1.36	73.93±1.66	79.85±1.26	76.14±1.29	76.14±1.29
%Pt o y4	31.61±1.06	32.83±1.72	35.26±0.86	30.16±0.98	36.05±1.69	30.41±0.41	32.14±1.38	34.84±0.11	34.84±0.11

Promedio ± desvío estadístico (n=3), obtenido a través de la prueba de Tukey Nivel de confianza 95%.

Las imágenes captadas por microscopia óptica permiten observar detalles de la morfología y la microestructura de las micropartículas húmedas. La microscopia ocular ha sido solubilizada para obtención de informaciones relativas a la forma, tamaño y en algunos casos para la asignación del ápice de aceite en el interior de las micropartículas. La Figura 7 observamos la imagen de micropartículas con oleoresina de *Capsicum*, en la que examinamos que tienen forma esférica y multinucleadas. Observaciones semejantes fueron presentadas en el estudio de Juárez-Goiz et al. (2018).

Tabla 6.
Resultado de interacción de Velocidad de homogenización (VH) y Concentración de Oleoresina (OC) para Eficiencia de Encapsulación (%EE)

Pruebas de los efectos Inter-sujetos					
Variable dependiente: Valor pronosticado para EE					
Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	237,872 ^a	4	59,468	14,480	,012
Intersección	59976,010	1	59976,010	14603,303	,000
VH	111,173	2	55,587	13,535	,017
OC	126,698	2	63,349	15,425	,013
Error	16,428	4	4,107		
Total	60230,310	9			
Total corregida	254,300	8			

a. R cuadrado = ,935 (R cuadrado corregida = ,871)

Los resultados obtenidos en el estudio, presentaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$). Es decir, la conglomeración de polímeros y aceleración de homogenización

tienen un efecto significativo en la eficiencia de encapsulación. En consecuencia, indistintamente de la aceleración de homogenización, menor porcentaje del material activo, se puede obtener mayor %EE. Asimismo, la mayor EE (92.96 ± 0.01) se obtuvo al aplicar el tercer tratamiento a 18,000 rpm y 25% de MA. En este sentido el tratamiento a través del cual se alcanzó el $>$ %EE, se tomó como referencia para la continuar investigaciones relacionadas con la caracterización de las micropartículas coacervadas a base de gelatina y goma arábica y que contienen aceite de capsaicina como principio activo. Posteriormente el mejor tratamiento de microencapsulación fue tomado para la continuidad del segundo objetivo, siendo la bioaccesibilidad gastrointestinal *in vitro* de la micropartícula de capsaicina.

Los tamaños medios de micropartículas coacervadas húmedas fueron determinados por microscopía óptica. La Figura 7, demuestra los Diámetros medios obtenidos de los mejores tratamientos de acuerdo a los resultados de la eficiencia de encapsulación, en el diseño presentado en la Tabla 6. Los tamaños y las formas de las micropartículas son parámetros significativos a tener en cuenta al formular matrices alimentarias, ya que es deseable incorporar micropartículas esféricas distribuidas uniformemente.

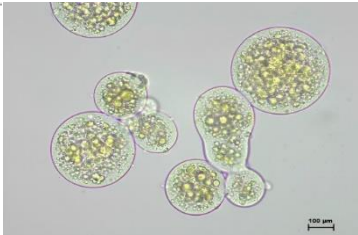
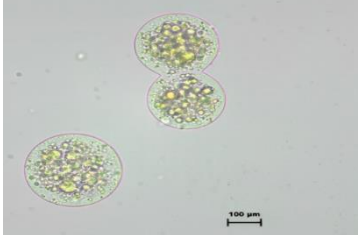
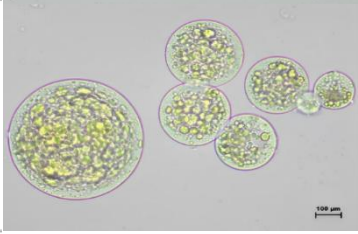
Tratamiento	Diámetro medio (μm)	
25% 18k	276.44 ± 19	
50% 18k	278.93 ± 55	
75% 18k	278.56 ± 32	

Figura 7. Diámetro medio y morfología de las micropartículas con oleorresina de Capsicum. Promedios \pm desvío padrón (n = 40). Objetivo 10x

El tamaño de las micropartículas obtenidas está de acuerdo con los resultados de Marfil et al. (2018) quienes obtuvieron micropartículas por coacervación compleja del aceite de palma, utilizando gelatina y goma arábica con diámetros promedio de entre 97 y 690 μm . Los resultados obtenidos en el presente trabajo fueron hasta 2x veces superiores a los resultados de Justi et al. (2018) quienes reportaron partículas con distribución asimétrica, con diámetros que oscilaron entre 15 y 145 μm cuando encapsularon por coacervación compleja el aceite de pulpa de pequi, Caryocar brasiliense utilizando gelatina y goma arábica como agentes encapsulantes, esto puede deberse a las condiciones de homogenización o al propio tamaño de las moléculas de la oleorresina de *Capsicum frutescens*.

4.2. Evaluar la bioaccesibilidad de capsaicina contenidas en micropartículas mediante simulación gastrointestinal *in vitro*

La evaluación de la bioaccesibilidad fue realizada usando el método descrito por Brodkorb et al. (2019), en primer lugar la solubilidad se realizó para observar el comportamiento de las micropartículas en agua; esto es para verificar si las micropartículas se hidrolizan en este medio. Como se esperaba para micropartículas producidas por coacervación, la solubilidad en agua fue para todas las formulaciones estudiadas, lo que confirma el mantenimiento de la integridad de las micropartículas. Por lo tanto, el método y los agentes de encapsulación utilizados permitieron obtener micropartículas estables en medio acuoso, con favorables propiedades de liberación controlada. Asimismo, fueron realizadas condiciones que simularan las condiciones del sistema gastrointestinal: boca, estómago e intestinos (Figura 8). Por lo que, en la etapa gástrica actuó la enzima pepsina a un pH de 2, 37 °C por 2 h y en la etapa intestinal actuaron la enzima, pancreatina y la bilis a un pH de 7, 37 °C por 2 h.

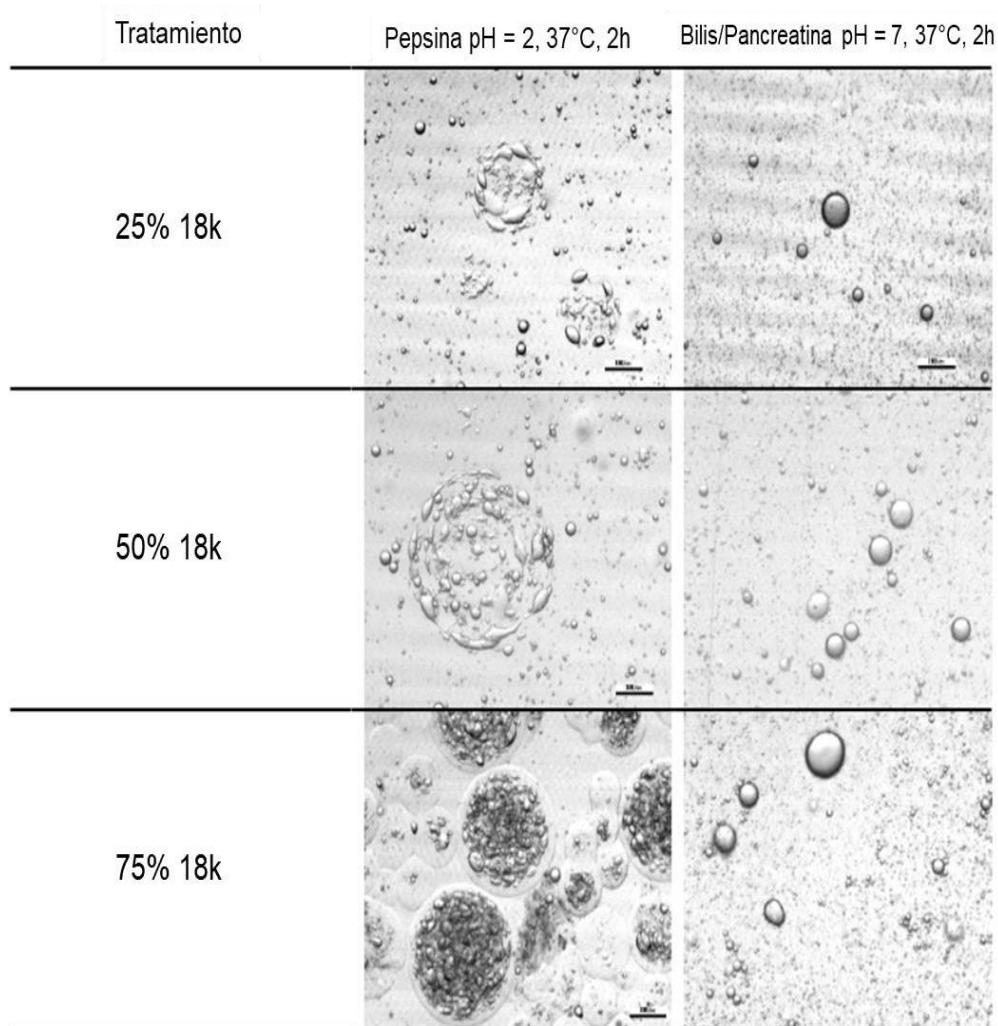


Figura 8. Vista del comportamiento de las micropartículas bajo condiciones del sistema gastrointestinal con oleorresina de Capsicum.

Promedios \pm desvío padrón (n = 40). Objetivo 10x.

4.2.1. Resultados de cuantificación de capsaicina de *Capsicum frutescens* mediante la espectroscopia UV-VIS

4.2.1.1 Validación

Los resultados de la validación arrojaron un coeficiente de correlación lineal (R^2) de 0.9952 para la capsaicina (Figura 9).

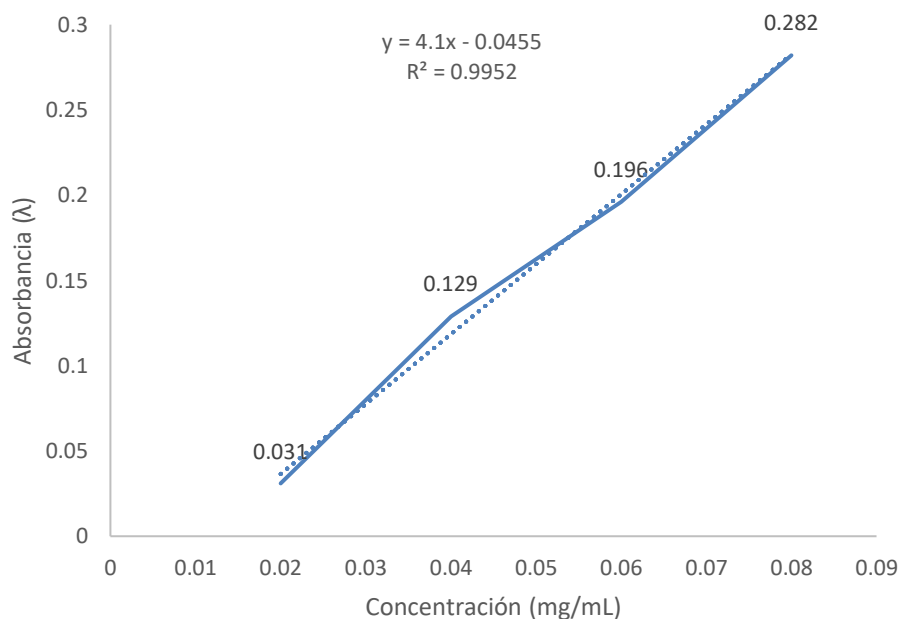


Figura 9. Curva de calibración de capsaicina

4.2.1.2 Cuantificación del contenido de capsaicina

Se alcanzó cuantificar la cantidad de capsaicina. Los resultados obtenidos en la fase oral, gástrica e intestinal fueron de 0.04; 0.062 y 0.055 mg/ml. Estos resultados mostraron regular contenido de capsaicina. Por lo que Rodríguez de León (2018), menciona que El contenido de capsaicinoides puede estar relacionado con factores ambientales o genotipo. En la figura 10 se muestra la curva de cuantificación de capsaicina.



Figura 10. Curva de cuantificación de capsaicina

4.2.2. Resultados de bioaccesibilidad de capsaicina de *Capsicum frutescens*

En los resultados alcanzados por Victoria-Campos et al (2015), determinaron la bioaccesibilidad de capsaicina del pimiento rojo fresco sin tratamiento, obtuvo un $13.93 \pm 1.33\%$. Por lo que, en comparación, las micropartículas de capsaicina que se obtuvieron, mostraron un porcentaje de bioaccesibilidad encontrado en la fase oral de 20%, fase gástrica 31% y fase intestinal 27.5%, estos resultados nos determinan una bioaccesibilidad aceptable de acuerdo a los resultados de Bastos et al. (2020), quienes reportaron luego de la digestión *in vitro* por microencapsulados de aceite esencial por pimienta negra, una bioaccesibilidad de $31,16\% \pm 0,3$.

Estos compuestos microencapsulados de *Capsicum frutescens* mostraron una decreciente bioaccesibilidad debido a la alta porosidad de las micropartículas, las cuales no se realizó la reticulación de las micropartículas utilizando agentes reticulantes. Según Rojas-Moreno et al. (2018) y Vargas Pizango (2021), el mejoramiento de condiciones de coacervación compleja es utilizando agentes reticulantes, entre ellos la enzima transglutaminasa, con lo que se observa que las micropartículas reticuladas ofrecen mejor protección comparadas a las micropartículas sin reticular; ya que sin material encapsulante la cantidad de concentración de capsaicina decrece en cada fase de la digestión, siendo la bioaccesibilidad del compuesto bioactivo capsaicina influenciada por la composición de la matriz alimentaria digerida y las propiedades fisicoquímicas, como el pH ^{1a} temperatura y la textura de la matriz (Hamed et al., 2021).

CONCLUSIONES

Los resultados demuestran que:

- La mejor eficiencia de encapsulación fue de 92.96 ± 0.01 , resultando micropartículas esféricas de diámetro medio de 276.44 ± 19 con una distribución uniforme. Estos resultados indicaron que las condiciones óptimas se obtuvieron de un 25% de oleoresina como material de relleno, y como material encapsulante en la proporción de 1:1 (2.5 g de gelatina y 2.5 g de goma arábica) a pH 4, con una velocidad de homogenización de 18000 rpm.
- El método y los agentes de encapsulación utilizados permitieron obtener micropartículas estables en medio acuoso, con favorables propiedades de liberación controlada.
- Se logró cuantificar la capsaicina contenida en el ají charapita (*Capsicum frutescens*), mediante la espectroscopia ultravioleta visible UV-VIS, determinándose en las fases oral, gástrica e intestinal la concentración de capsaicina de 0.04; 0.062 y 0.055 mg/ml respectivamente, siendo el porcentaje de bioaccesibilidad en la fase oral de 20%, fase gástrica 31% y fase intestinal 27.5%.

RECOMENDACIONES

- Formular nuevos productos alimenticios utilizando bioactivos microencapsulados para mayor protección.
- Utilizar otros materiales de matrices biopoliméricas para sistemas de microencapsulación.
- Producir micropartículas con otro método de encapsulación como la gelificación para incorporar activos a matrices alimenticias.
- Conocer los sitios de adsorción de los agentes bioactivos a encapsularse, ya que esta propiedad determina el tipo de matriz usada a fin de la fabricación de las micropartículas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AOAC, 2005. Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL 18th Edition, 2005 Current through Revision 1, 2006.
- Ali, O. M., Hashem, Y., Bekhit, A. A., Khattab, S. N., Elkhodairy, K. A., Freag, M. S., Teleb, M., & Elzoghby, A. O. (2019). Nanoestructuras de gelatina para encapsulación de ingredientes alimentarios. En Nanoestructuras de biopolímeros para fines de encapsulación de alimentos (págs. 189–216). Elsevier.
- Bastos, L. P. H., de Sá Costa, B., Siqueira, R. P., & Garcia-Rojas, E. E. (2020). Coacervados complejos de β -lactoglobulina/alginato de sodio para la microencapsulación de aceite esencial de pimienta negra (*Piper nigrum* L.): condiciones gastrointestinales simuladas y cinética de liberación modelada. Revista internacional de macromoléculas biológicas, 160, 861–870.
- Bligh, E. G., & Dyer, W. J. (1959). Método árabe del total (extracción y purificación de lípidos). Revista canadiense de bioquímica y fisiología, 37(8), 911–917.
- Brodkorb, A., Egger, L., Alminger, M., Alvito, P., Assunção, R., Ballance, S., Bohn, T., Bourlieu-Lacanal, C., Boutrou, R., Carrière, F., Clemente, A., Corredig, M., Dupont, D., Dufour, C., Edwards, C., Golding, M., Karakaya, S., Kirkhus, B., le Feunteun, S. y Recio, I. (2019). INFOGEST simulación estática in vitro de la digestión gastrointestinal de alimentos. Protocolos de la naturaleza. <https://doi.org/10.1038/s41596-018-0119-1>.
- Castañeda, H., Gemio, R., Yapu, W., & Nogales, J. (2011). Microencapsulación, un método para preservar las propiedades fisicoquímicas y biológicas de los productos químicos. Revista Boliviana de Química, 28, 135-140.
- Correia, R., Borges K, Medeiros, M. & Genovese M, (2012). Compuestos bioactivos y funcionalidad ligada a fenoles de residuos de frutas tropicales en polvo. Ciencia y Tecnología de Los Alimentos Internacional.
- Courraud, J., Berger, J., Cristol, J. P., & Avallone, S. (2013). Estabilidad y bioaccesibilidad de diferentes formas de carotenoides y vitamina A durante la digestión in vitro. Química de los alimentos, 136(2), 871–877. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.08.076>
- Da Silva P, Fries, L., Menezes, C., Holkem A., Schwan C., Wigmann E., Bastos J. y da Silva, (2014). Microencapsulación: Conceptos, mecanismos, métodos y algunas aplicaciones en la tecnología alimentos. Ciencias Rurales (Volumen 44, pp. 1304–1311). Universidad del Federal de Santa María. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20130971>
- De Souza, L., Madalena, D. A., Pinheiro, A. C., Teixeira, J. A., Vicente, A. A., & Ramos, Ó. L. (2017). Micro y nano biosistemas de entrega para aplicaciones alimentarias: Comportamiento in vitro. Avances en ciencia coloidal e interfase, 243, 23–45.

- <https://doi.org/10.1016/j.cis.2017.02.010>.
- Díaz, M. I., Ferreira, I. C. F. R., & Barreiro, M. F. (2015). Microencapsulación de bioactivos para aplicaciones alimentarias. En *Alimentación y Función* (Volumen 6, Número 4, págs. 1035–1052). Real Sociedad de Química. <https://doi.org/10.1039/c4fo01175a>
- Dorđević, V., Balanč, B., Belščak-Cvitanović, A., Lević, S., Trifković, K., Kalušević, A., Kostić, I., Komes, D., Bugarski, B., & Nedović, V. (2014). Tendencias en tecnologías de encapsulación para la entrega de compuestos bioactivos alimentarios. En *Food Engineering Reviews* (Vol. 7, Número 4, págs. 452–490). Springer Nueva York LLC. <https://doi.org/10.1007/s12393-014-9106-7>
- Dupont D., Alric M., Blanquet S., Bornhorst G., Cueva C., Deglaire A., Denis S., Ferrua M., Havenaar R., Lelieveld J., Mackie A, Marzorat M., Menard O., Minekus M., Miralles B., Recio I., y Abbeele P. (2019). ¿Pueden los sistemas dinámicos de digestión in vitro imitar la realidad fisiológica? En *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* (Vol. 59, Número 10, págs. 1546–1562).
- El Menyiy, N., El Omari, N., Balahbib, A., Benali, T., Guaouguaou, F. E., Charfi, S., & Bouyahya, A. (2022). Terpenoides herbales en el cuidado de la salud. En *biomoléculas a base de hierbas en aplicaciones sanitarias*. Elsevier.
- Etcheverry, P., Grusak, M. A., & Fleige, L. E. (2012). Aplicación de métodos de bioaccesibilidad y biodisponibilidad in vitro para calcio, carotenoides, folato, hierro, magnesio, polifenoles, zinc y vitaminas B 6, B 12, D y E. En *Frontiers in Physiology: vol. 3 AGO* (pág. 317). Fronteras. <https://doi.org/10.3389/fphys.2012.00317>
- Ghosh, S. K. (2006). Functional Coatings. In S. K. Ghosh (Ed.), *Recubrimientos Funcionales: Por Microencapsulación de Polímeros*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/3527608478>
- Gil-izquierdo, A., Zafrilla, P., & Tomás-barberán, F. A. (2002). Un método in vitro para simular la liberación de compuestos fenólicos de la matriz alimentaria en el tracto gastrointestinal. *Investigación y tecnología alimentaria europea*, 214(2), 155–159. <https://doi.org/10.1007/s00217-001-0428-3>
- Gómez-Mascaraque, L. G., Fabra, M. J., Castro-Mayorga, J. L., Sánchez, G., Martínez-Sanz, M., & López-Rubio, A. (2018). Biopolímeros nanoestructurantes para mejorar la calidad y la seguridad de los alimentos. En *Biopolímeros para el diseño de alimentos* (págs. 33–64). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811449-0.00002-5>
- Hamed, M., Holm, D. G., Bartolo, M., Raigond, P., Sathuvalli, V., & Jayanty, S. S. (2021). La bioaccesibilidad de compuestos fenólicos, flavonoides, carotenoides y capsaicinoides: un estudio comparativo de cultivares de papa cocida mezclados con variedades de pimiento asado. *Alimentos*, 10(8). <https://doi.org/10.3390/FOODS10081849>.
- Hayman, M., & Kam, P. C. A. (2008). Capsaicina: una revisión de su farmacología y

- aplicaciones clínicas. *Anestesia actual y cuidados críticos*, 19(5–6), 338–343. <https://doi.org/10.1016/j.cacc.2008.07.003>
- Hedrán, E., Díaz, V., & Svanberg, U. (2002). Valorización de la accesibilidad de los carotenoides de las zanahorias definida por el método de digestión in vitro. *Revista Europea de Nutrición Clínica*. <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1601329>
- Heredia Gutiérrez, A. B., Asensio Grau, A., Calvo Lerma, J., & Andrés Grau, A. M. (2021). Simulación in vitro del tracto digestivo de los alimentos. Universidad Politécnica de Valencia. <https://riunet.upv.es/handle/10251/158446>.
- Isah, T. (2019). Respuestas de estrés y defensa en la producción de metabolitos secundarios en plantas. En *Investigación biológica* (Vol. 52, Número 1, p. 39). NLM (Medline). <https://doi.org/10.1186/s40659-019-0246-3>.
- Juárez-Goiz, J. M., Gómez-Leyva, J. F., Bernardino-Nicanor, A., González-Cruz, L., & Andrade-González, I. (2018). Microencapsulación de capsaicinoide de oleoresina de chile (*C. annuum*) mediante coacervación compleja. *Revista de Medición y Caracterización de Alimentos*, 12(1), 278–284. <https://doi.org/10.1007/S11694-017-9638-7>
- Justi, P. N., Sanjinez-Argandoña, E. J., & Macedo, M. L. R. (2018). Microencapsulación de aceite de pulpa de pequi por coacervación compleja. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 40(2). <https://doi.org/10.1590/0100-29452018874>
- Karim, A. A., & Bhat, R. (2008). Alternativas de gelatina para la industria alimentaria: desarrollos recientes, desafíos y perspectivas. *Tendencias en ciencia y tecnología de los alimentos*, 19(12), 644–656. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2008.08.001>
- Lu, M., Cao, Y., Ho, C. T., & Huang, Q. (2016). Desarrollo de nanoemulsión de capsaicina derivada de organogel con bioaccesibilidad mejorada y menor irritación de la mucosa gástrica. *Revista de Química Agrícola y Alimentaria*, 64(23), 4735–4741. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b01095>
- Marfil, P. H. M., Paulo, B. B., Alvim, I. D., & Nicoletti, V. R. (2018). Producción y caracterización de microcápsulas de aceite de palma obtenidas por coacervación compleja en gelatina/goma arábiga. *Revista de ingeniería de procesos alimentarios*, 41(4), e12673. <https://doi.org/10.1111/JFPE.12673>.
- Onwulata, C. I. (2013). Microencapsulación y alimentos bioactivos funcionales. *Revista de Procesamiento y Conservación de Alimentos*.
- Patel, S., & Goyal, A. (2015). Aplicaciones de la goma arábiga polimérica natural: una revisión. *Revista internacional de propiedades alimentarias*, 18(5), 986–998. <https://doi.org/10.1080/10942912.2013.809541>
- Petrulis, D., & Petruyte, S. (2019). Uso potencial de microcápsulas en la fabricación de

- productos fibrosos: una revisión. *Revista de ciencia aplicada de polímeros*, 136(7), 47066. <https://doi.org/10.1002/app.47066>.
- Prameela, K., Murali Mohan, C., & Ramakrishna, C. (2018). Biopolímeros para el Diseño de Alimentos: Ingredientes Naturales Amigables para el Consumidor. En *Biopolímeros para el diseño de alimentos* (págs. 1–32). Elsevier Inc.
- Qv, X. Y., Zeng, Z. P., & Jiang, J. G. (2011). Preparación de microencapsulación de luteína por el método de coacervación compleja y sus propiedades fisicoquímicas y estabilidad. *Hidrocoloides alimentarios*, 25(6), 1596–1603.
- Rodríguez de León, P. E. (2018). Medición de capsaicinoides y compuestos fenólicos en dos cultivares de chile picante cultivados en invernadero en Nuevo León y su correlación con su capacidad para inhibir la α -amilasa y la α -glucosidasa. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Rojas S., Cárdenas F., Osorio G., Gallardo T., & Proal J. (2018). Efecto del agente de reticulación en la eficiencia de encapsulación de sustancias bioactivas lipofílicas usando tecnología de secado por atomización de coacervación compleja. *Revista de Medición y caracterización de Alimentos*.
- Santos, P. L., Santos, L. N. S., Ventura, S. P. M., de Souza, R. L., Coutinho, J. A. P., Soares, C. M. F., & Lima, Á. S. (2016). Recuperación de capsaicina a partir de *Capsicum frutescens* mediante la aplicación de sistemas acuosos bifásicos a base de acetonitrilo y líquidos iónicos a base de colinio. *Investigación y diseño de ingeniería química*.
- Sing, C. E., & Perry, S. L. (2020). Avances recientes en la ciencia de la coacervación compleja. *Materia blanda*, 16(12), 2885–2914. <https://doi.org/10.1039/d0sm00001a>
- Sousa, R., Portmann, R., Dubois, S., Recio, I., & Egger, L. (2020). Digestión de proteínas de diferentes fuentes de proteínas utilizando el modelo de digestión estática INFOGEST. *Food Research International*, 130, 108996. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.108996>
- Vargas Pizango, P. N. (2021). Optimizar de micropartículas a través del método de superficie de respuesta que contiene aceite por coacervación compleja. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.
- Vegas, C., Gonzáles, D., Sueros, S., Hurtado, A., & Zavaleta, A. I. (2016). Análisis de la dinámica poblacional microbiana durante la fermentación espontánea y controlada de Chile “Charapita” (*Capsicum frutescens*). *Ciencia agropecuaria*. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.03.06>.
- Victoria C., Ornelas J., Ramos O., Failla M., Chitchumroonchokchai C., Ibarra V. y Pérez J. (2015). El efecto de la maduración, el procesamiento térmico y el almacenamiento congelado en la bioaccesibilidad in vitro de la capsaicina y la dihidrocapsaicina de los

chiles jalapeños en ausencia y presencia de dos muestras de grasas en la dieta. *Química de los alimentos*.

Villalba Cadavid, M., Arrázola Paternina, G., & Pardo Pérez, E. (2017). Evaluación de capsaicina en especies de *capsicum* por cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC). *Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*.

Villamizar, L., & Martínez, F. (2008). Evaluación de las condiciones de microencapsulación de un baculovirus entomopatógeno por coacervación con eudragit. *Revista de La Facultad de Química Farmacéutica*.

Zhou, L., Shi, H., Li, Z., & He, C. (2020). Avances recientes en el diseño de coacervación compleja a partir de ensamblajes macromoleculares y aplicaciones emergentes. *Comunicaciones Rápidas Macromoleculares*, 2000149.
<https://doi.org/10.1002/marc.202000149>

ANEXO – I

Resultados de humedad (%) de microcápsulas de capsaicina

1. Determinación de humedad (%)

Muestra	Sistemas	N°	Peso placa vacío (g)	Peso de muestra húmeda (g)	Placa + muestra húmeda (g)	Peso placa + muestra seca (g)	Muestra seca (g)	% Humedad	Media %
25%	12000 RPM	A	19.0812	5.0006	24.0818	20.5429	1.4617	70.77	72.09
		B	19.4829	5.0005	24.4834	20.8405	1.3576	72.85	
		C	19.6873	5.0006	24.6879	21.0550	1.3677	72.65	
	15000 RPM	A	18.9315	5.0003	23.9318	20.0441	1.1126	77.75	79.25
		B	19.3942	5.0001	24.3943	20.4537	1.0595	78.81	
		C	20.1563	5.0002	25.1565	21.0968	0.9405	81.19	
	18000 RPM	A	18.3472	5.0002	23.3474	19.1337	0.7865	84.27	82.20
		B	19.3973	5.0003	24.3976	20.3394	0.9421	81.16	
		C	18.1206	5.0000	23.1206	19.0621	0.9415	81.17	
50%	12000 RPM	A	18.0547	5.0001	23.0548	19.2437	1.1890	76.22	74.75
		B	18.0238	5.0004	23.0242	19.3139	1.2901	74.20	
		C	18.6221	5.0002	23.6223	19.9312	1.3091	73.82	
	15000 RPM	A	18.9318	5.0002	23.9320	20.1188	1.1870	76.26	75.17
		B	19.1264	5.0003	24.1267	20.3465	1.2201	75.60	
		C	19.3981	5.0005	24.3986	20.7157	1.3176	73.65	
	18000 RPM	A	18.0134	5.0001	23.0135	19.3709	1.3575	72.85	73.93
		B	19.4385	5.0000	24.4385	20.6465	1.2080	75.84	
		C	19.6252	5.0002	24.6254	20.9703	1.3451	73.10	
75%	12000 RPM	A	18.0866	5.0004	23.0870	19.1437	1.0571	78.86	79.85
		B	18.0583	5.0006	23.0589	18.9949	0.9366	81.27	
		C	19.2064	5.0004	24.2068	20.2355	1.0291	79.42	
	15000 RPM	A	18.1209	5.0004	23.1213	19.3765	1.2556	74.89	76.14
		B	19.1808	5.0000	24.1808	20.3078	1.1270	77.46	
		C	19.3968	5.0007	24.3975	20.5935	1.1967	76.07	
	18000 RPM	A	18.0590	5.0008	23.0598	19.2812	1.2222	75.56	76.14
		B	19.2217	5.0010	24.2227	20.4599	1.2382	75.24	
		C	19.3968	5.0000	24.3968	20.5158	1.1190	77.62	

1. Desviación típica y diferencia de medias a 25% de Oleorresina de *Capsicum*

ANOVA de un factor

Variable dependiente: HUMEDAD

VH (RPM)	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
12000	3	72,09	1,15	,66	69,24	74,94	70,77	72,85
15000	3	79,25	1,76	1,02	74,87	83,63	77,75	81,19
18000	3	82,20	1,79	1,04	77,75	86,65	81,16	84,27

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: HUMEDAD

	(I) VH	(J) VH	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
HSD de Tukey	12000	15000	-7,16000*	1,30248	,004	-11,1564	-3,1636
		18000	-10,11000*	1,30248	,001	-14,1064	-6,1136
	15000	12000	7,16000*	1,30248	,004	3,1636	11,1564
		18000	-2,95000	1,30248	,138	-6,9464	1,0464
	18000	12000	10,11000*	1,30248	,001	6,1136	14,1064
		15000	2,95000	1,30248	,138	-1,0464	6,9464

*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

2. Desviación típica y diferencia de medias a 50% de Oleorresina de *Capsicum*

ANOVA de un factor

Variable dependiente: HUMEDAD

VH (RPM)	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
12000	3	74,75	1,29	,74	71,54	77,95	73,82	76,22
15000	3	75,17	1,36	,78	71,80	78,54	73,65	76,26
18000	3	73,93	1,66	,96	69,81	78,05	72,85	75,84

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: HUMEDAD

	(I) VH	(J) VH	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
HSD de Tukey	12000	15000	-,42333	1,17922	,932	-4,0415	3,1948
		18000	,81667	1,17922	,776	-2,8015	4,4348
	15000	12000	,42333	1,17922	,932	-3,1948	4,0415
		18000	1,24000	1,17922	,575	-2,3782	4,8582
	18000	12000	-,81667	1,17922	,776	-4,4348	2,8015
		15000	-1,24000	1,17922	,575	-4,8582	2,3782

*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

3. Desviación típica y diferencia de medias a 75% de Oleorresina de *Capsicum*

ANOVA de un factor

Variable dependiente: HUMEDAD

VH (RPM)	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
12000	3	79,85	1,26	,73	76,72	82,98	78,86	81,27
15000	3	76,14	1,29	,74	72,94	79,34	74,89	77,46
18000	3	76,14	1,29	,75	72,93	79,35	75,24	77,62

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: HUMEDAD

	(I) VH	(J) VH	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
HSD de Tukey	12000	15000	3,71000*	1,04499	,028	,5037	6,9163
		18000	3,71000*	1,04499	,028	,5037	6,9163
	15000	12000	-3,71000*	1,04499	,028	-6,9163	-,5037
		18000	,00000	1,04499	1,000	-3,2063	3,2063
	18000	12000	-3,71000*	1,04499	,028	-6,9163	-,5037
		15000	,00000	1,04499	1,000	-3,2063	3,2063

*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

ANEXO – II

Resultado de eficiencia de encapsulación (%) de microcápsulas de capsaicina

1. Determinación de eficiencia de encapsulación (%)

Muestra	repetición	N°	Peso bécker (g)	Peso de muestra humedad (g)	Peso bécker + muestra seca (g)	Peso muestra seca (g)	Peso Lípidos (g)	% Lípidos	Promedio	Peso sólidos (g)	Lípido Teórico	%EE	
25%	12k	A	8.6570	5.0031	8.7103	1.3964	0.0533	15.26	16.54	% Humedad	72.0900	20.00	82.70
		B	8.0481	5.0029	8.1186	1.3963	0.0705	20.21		% Peso sólidos	27.9100		
		C	8.0573	5.0101	8.1068	1.3983	0.0495	14.15		Peso sólidos (g)	0.2791		
	15k	A	8.4356	5.0674	8.4754	1.0515	0.0398	15.14	16.99	% Humedad	79.2500	20.00	84.95
		B	8.4246	5.0470	8.4716	1.0473	0.0470	17.94		% Peso sólidos	20.7500		
		C	8.4246	5.0674	8.4716	1.0515	0.0470	17.89		Peso sólidos (g)	0.2075		
	18k	A	7.8062	5.0011	7.8476	0.8902	0.0414	18.60	18.59	% Humedad	82.2000	20.00	92.97
		B	7.7950	5.0154	7.8365	0.8927	0.0415	18.60		% Peso sólidos	17.8000		
		C	7.7950	5.0103	7.8364	0.8918	0.0414	18.58		Peso sólidos (g)	0.1780		
50%	12K	A	8.3950	5.0097	8.4744	1.2649	0.0794	25.12	25.10	% Humedad	74.7500	33.33	75.30
		B	7.6743	5.0012	7.7535	1.2628	0.0792	25.08		% Peso sólidos	25.2500		
		C	7.6743	5.0013	7.7535	1.2628	0.0792	25.10		Peso sólidos (g)	0.2525		
	15K	A	7.8899	5.0011	7.9728	1.2418	0.0829	26.71	26.73	% Humedad	75.1700	33.33	80.19
		B	8.5339	5.0061	8.6170	1.2430	0.0831	26.73		% Peso sólidos	24.8300		
		C	8.5339	5.0017	8.6170	1.2419	0.0831	26.75		Peso sólidos (g)	0.2483		
	18k	A	7.9028	5.0313	7.9943	1.3117	0.0915	27.89	27.91	% Humedad	73.9300	33.33	83.72
		B	8.0596	5.0303	8.1512	1.3114	0.0916	27.93		% Peso sólidos	26.0700		
		C	8.0596	5.0015	8.1505	1.3039	0.0909	27.90		Peso sólidos (g)	0.2607		
75%	12K	A	8.6151	5.0019	8.6946	1.0079	0.0795	31.55	31.53	% Humedad	79.8500	42.86	73.56
		B	7.9669	5.0352	8.0469	1.0146	0.0800	31.55		% Peso sólidos	20.1500		
		C	7.9669	5.0122	8.0464	1.0100	0.0795	31.48		Peso sólidos (g)	0.2015		
	18k	A	7.8050	5.0178	7.9085	1.1972	0.1035	34.58	34.57	% Humedad	76.1400	42.86	80.66
		B	8.5932	5.0170	8.6966	1.1971	0.1034	34.56		% Peso sólidos	23.8600		
		C	8.5932	5.0036	8.6963	1.1939	0.1031	34.56		Peso sólidos (g)	0.2386		
	18k	A	8.2580	5.0599	8.3623	1.2073	0.1043	34.55	34.56	% Humedad	76.1400	42.86	80.65
		B	7.9628	5.0337	8.0666	1.2010	0.1038	34.57		% Peso sólidos	23.8600		
		C	7.9628	5.0119	8.0662	1.1958	0.1034	34.57		Peso sólidos (g)	0.2386		

2. Desviación típica y diferencia de medias a 25% de Oleorresina de *Capsicum*

ANOVA de un factor

Variable dependiente: EE

VH (RPM)	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
12000	3	16,54	3,23	1,86	8,53	24,55	14,15	20,21
15000	3	16,99	1,60	,93	13,01	20,97	15,14	17,94
18000	3	18,59	,01	,01	18,56	18,62	18,58	18,60

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: EE

	(I) VH	(J) VH	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
HSD de Tukey	12000	15000	-,45000	1,69819	,962	-5,6605	4,7605
		18000	-2,05333	1,69819	,491	-7,2638	3,1572
	15000	12000	,45000	1,69819	,962	-4,7605	5,6605
		18000	-1,60333	1,69819	,635	-6,8138	3,6072
	18000	12000	2,05333	1,69819	,491	-3,1572	7,2638
		15000	1,60333	1,69819	,635	-3,6072	6,8138

*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

2. Desviación típica y diferencia de medias a 50% de Oleorresina de *Capsicum*

ANOVA de un factor

Variable dependiente: EE

VH (RPM)	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
12000	3	25,10	,02	,01	25,05	25,15	25,08	25,12
15000	3	26,73	,02	,01	26,68	26,78	26,71	26,75
18000	3	27,91	,02	,01	27,85	27,96	27,89	27,93

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: EE

	(I) VH	(J) VH	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
HSD de Tukey	12000	15000	-1,63000*	,01656	,000	-1,6808	-1,5792
		18000	-2,80667*	,01656	,000	-2,8575	-2,7559
	15000	12000	1,63000*	,01656	,000	1,5792	1,6808
		18000	-1,17667*	,01656	,000	-1,2275	-1,1259
	18000	12000	2,80667*	,01656	,000	2,7559	2,8575
		15000	1,17667*	,01656	,000	1,1259	1,2275

*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

3. Desviación típica y diferencia de medias a 75% de Oleorresina de *Capsicum*

ANOVA de un factor

Variable dependiente: EE

VH (RPM)	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
12000	3	31,53	,04	,02	31,43	31,63	31,48	31,55
15000	3	34,57	,01	,01	34,54	34,60	34,56	34,58
18000	3	34,56	,01	,01	34,53	34,59	34,55	34,57

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: EE

	(I) VH	(J) VH	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
HSD de Tukey	12000	15000	-3,04000*	,02055	,000	-3,1030	-2,9770
		18000	-3,03667*	,02055	,000	-3,0997	-2,9736
	15000	12000	3,04000*	,02055	,000	2,9770	3,1030
		18000	,00333	,02055	,986	-,0597	,0664
	18000	12000	3,03667*	,02055	,000	2,9736	3,0997
		15000	-,00333	,02055	,986	-,0664	,0597

*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

ANEXO – III

Resultados del tamaño de microcápsulas de capsaicina

1. Determinación del tamaño de micropartículas (μm)

	25 % OC			50% OC			75% OC		
	12000 RPM	15000 RPM	18000 RPM	12000 RPM	15000 RPM	18000 RPM	12000 RPM	15000 RPM	18000 RPM
1	289.24	257.90	273.02	199.04	273.03	290.55	280.62	282.44	299.65
2	284.27	274.10	269.97	286.66	272.78	273.74	253.09	278.89	283.24
3	160.93	274.12	278.72	219.99	274.83	238.12	253.06	210.16	290.56
4	252.82	266.04	278.30	265.67	262.01	294.63	250.74	218.50	262.99
5	226.62	250.54	303.35	606.72	260.79	263.88	262.42	265.45	295.99
6	224.60	255.35	271.88	196.42	262.60	300.42	279.88	286.84	298.33
7	160.93	270.87	296.89	302.70	283.73	309.23	249.68	285.50	299.46
8	421.16	255.32	280.59	266.47	262.97	271.35	277.59	286.84	261.96
9	288.21	259.58	280.85	265.40	260.23	226.77	234.44	276.76	298.84
10	356.02	274.86	296.89	196.32	256.26	275.71	242.10	148.14	292.93
11	253.90	158.19	276.55	273.76	251.09	247.77	263.55	273.97	295.51
12	223.38	275.35	282.43	195.00	284.35	278.97	250.67	256.08	283.59
13	268.79	316.14	279.25	321.09	285.21	310.73	230.54	269.77	219.68
14	265.78	274.32	280.35	265.40	256.92	313.62	279.41	268.92	299.71
15	211.51	264.32	277.71	191.31	273.86	317.97	254.93	279.69	300.97
16	447.99	224.52	257.87	265.28	260.23	280.93	255.36	282.05	281.32
17	316.37	257.90	277.03	235.31	273.86	294.30	267.78	228.11	156.74
18	360.39	264.26	270.86	265.28	271.14	306.27	247.79	267.53	300.02
19	290.39	302.33	275.71	254.15	269.75	276.09	244.94	278.18	240.32
20	224.82	269.19	291.43	256.12	278.72	227.43	274.36	286.10	278.70
21	227.66	264.32	274.84	268.44	263.43	270.99	255.01	286.63	297.03
22	277.64	257.56	261.83	281.72	270.92	267.16	247.63	280.54	290.39
23	225.04	269.04	280.35	302.73	251.79	290.52	274.36	282.19	249.06
24	224.64	272.26	300.16	205.58	275.74	267.16	231.58	161.92	300.89
25	294.19	238.50	273.47	276.57	283.73	236.97	262.74	280.27	297.82
26	294.26	255.96	272.46	269.49	273.97	260.15	269.65	285.69	297.59
27	249.55	282.14	268.43	271.98	267.13	267.78	256.31	286.84	293.89
28	261.60	232.87	285.03	232.06	278.27	274.29	248.83	286.13	160.95
29	236.71	255.35	270.45	281.72	249.23	286.60	260.30	286.85	298.15
30	224.61	290.79	295.51	281.17	259.82	237.83	263.54	273.97	269.13
31	233.88	697.45	295.51	293.42	247.15	276.15	242.18	286.84	295.61
32	246.89	277.71	289.47	317.46	261.77	271.77	269.09	256.08	173.14
33	261.85	261.58	278.55	265.56	284.35	280.75	267.96	270.58	296.54
34	436.82	255.35	274.82	263.45	260.79	244.29	240.53	250.90	253.50
35	333.90	254.90	280.70	323.71	269.84	238.95	255.84	252.03	300.51
36	291.53	286.55	267.98	213.35	273.10	304.28	266.26	279.22	283.59

37	230.08	284.83	286.23	285.85	240.31	274.33	277.52	265.45	236.32
38	231.43	278.44	281.29	187.76	262.57	277.10	212.96	286.29	301.13
39	257.14	256.85	286.46	189.33	269.73	280.05	255.04	285.66	286.71
40	231.43	226.30	275.00	273.38	277.80	763.04	250.67	285.17	298.95
41	223.69	293.30	280.70	257.35	283.96	277.81	235.24	279.69	300.24
42	223.77	218.60	278.37	231.70	244.37	276.80	247.92	282.15	262.99
43	223.79	302.46	272.09	226.13	265.36	235.78	280.72	276.08	290.56
44	224.52	294.23	265.75	193.47	276.94	272.21	231.41	282.80	295.90
45	274.32	270.90	281.73	241.96	264.52	255.98	277.71	157.42	257.43
46	89.67	259.66	278.34	241.96	257.83	280.16	247.36	279.38	184.60
47	256.60	280.33	279.70	241.96	273.97	278.35	255.01	285.63	198.65
48	248.83	288.59	279.70	206.50	274.83	306.27	244.41	286.10	298.33
49	235.54	267.02	283.16	256.73	271.06	247.42	247.31	282.35	269.13
50	293.50	278.44	276.33	245.08	269.35	279.05	238.49	280.40	297.94
51	224.59	277.06	277.49	323.21	262.46	268.61	253.39	286.85	294.72
52	436.82	256.94	276.33	296.13	263.43	238.10	247.63	285.93	273.28
53	224.59	295.57	273.34	220.95	270.55	314.79	250.00	271.34	280.06
54	294.26	302.71	297.89	260.30	271.56	324.81	283.43	286.21	282.87
55	252.25	264.67	276.55	256.33	267.89	272.71	242.10	286.85	297.11
56	223.60	275.72	294.23	260.30	271.96	280.06	264.02	273.05	297.03
57	223.47	275.96	262.23	252.15	260.29	271.61	251.69	275.84	290.22
58	434.42	167.30	267.98	187.76	268.32	267.03	279.41	287.09	298.80
59	294.42	276.54	295.69	219.99	252.94	256.44	236.00	286.07	301.04
60	398.62	264.30	115.82	257.35	262.01	271.77	250.59	286.87	284.28
61	239.73	228.80	292.53	222.83	281.20	294.28	212.91	271.34	295.71
62	211.51	160.83	275.96	290.94	284.34	271.09	281.86	285.36	309.88
63	223.45	262.17	272.46	256.33	282.95	279.48	281.86	285.05	298.37
64	227.89	242.93	276.43	201.60	270.78	275.71	230.65	207.15	297.78
65	488.38	272.65	277.03	331.38	253.74	281.39	267.97	193.95	294.41
66	306.04	275.72	265.21	255.01	277.16	231.87	278.57	280.67	277.23
67	311.75	238.67	283.91	264.63	253.47	252.51	277.71	232.32	298.95
68	298.16	211.91	278.72	282.28	289.43	294.90	240.53	284.46	300.46
69	229.34	265.78	279.88	275.33	259.68	296.57	285.02	286.84	283.94
70	213.13	296.44	280.65	280.25	284.35	272.36	264.83	286.43	250.60
71	247.84	256.63	275.42	302.70	251.67	261.18	254.79	270.96	288.22
72	238.53	274.12	265.75	189.62	287.55	251.73	248.64	286.85	295.90
73	242.03	238.50	275.29	282.83	269.84	284.64	235.43	270.18	271.31
74	197.85	293.30	264.91	269.29	259.22	297.83	238.77	310.00	298.49
75	278.43	255.97	272.48	312.45	263.43	281.98	253.99	281.63	269.88
76	317.60	273.01	301.73	219.99	275.68	256.44	221.18	286.87	286.98
77	216.75	225.84	273.01	246.93	264.13	281.01	281.74	284.41	298.80
78	258.61	257.56	275.84	211.84	271.48	290.55	290.07	278.89	262.99
79	219.16	305.67	283.23	171.93	237.53	315.69	255.34	284.17	292.23
80	223.51	305.22	274.28	291.77	273.42	278.71	326.82	286.85	300.08
81	217.87	309.11	260.85	265.28	276.94	154.64	263.55	278.89	216.96
82	297.79	251.02	279.56	250.62	277.02	279.35	251.99	280.80	289.29

83	279.02	259.64	271.51	276.57	252.82	253.97	224.44	232.32	298.61
84	192.29	264.30	276.35	191.31	287.28	296.52	280.42	274.54	278.70
85	337.01	284.83	258.63	196.46	269.07	278.35	206.82	221.06	249.06
86	134.34	255.97	258.63	272.26	259.22	279.40	233.04	245.81	298.33
87	307.02	277.49	274.48	269.94	261.38	324.81	252.22	285.57	280.49
88	197.43	208.51	292.11	302.70	259.42	243.28	274.63	280.67	287.50
89	242.01	289.78	283.16	268.44	273.57	281.76	250.59	161.92	287.74
90	281.53	309.00	264.56	317.46	285.20	279.64	267.78	286.58	214.14
91	316.27	276.01	275.83	205.26	276.09	309.23	231.53	284.57	298.95
92	234.57	303.47	301.54	288.37	276.09	284.64	277.19	278.71	295.42
93	223.90	307.87	279.82	222.83	282.88	247.98	297.73	286.82	261.96
94	220.90	278.07	264.49	187.76	259.02	266.74	257.87	284.62	201.93
95	244.89	278.44	278.87	273.10	262.65	304.75	274.63	166.32	299.03
96	379.16	313.78	273.01	277.70	261.88	260.15	291.16	271.70	292.82
97	247.76	226.22	280.47	292.81	272.70	268.74	267.78	286.82	296.36
98	223.66	267.88	271.78	312.45	277.30	277.75	277.52	285.47	282.32
99	223.13	262.11	271.77	273.51	268.15	270.92	248.19	244.38	276.71
100	581.50	263.55	270.32	264.12	263.39	236.05	286.46	286.85	300.93

2. Desviación típica y diferencia de medias a 25%, 50% y 75% de Oleorresina de *Capsicum*

ANOVA de un factor

OC	VH (RPM)	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
25%	12000	100	266,72	73,00	7,30	252,24	281,20	89,67	581,50
	15000	100	269,83	52,00	5,20	259,51	280,15	158,19	697,45
	18000	100	276,44	19,00	1,90	272,67	280,21	115,82	303,35
	Total	300	271,00	52,88	3,05	264,99	277,00	89,67	697,45
50%	12000	100	258,59	52,00	5,20	248,27	268,91	171,93	606,72
	15000	100	268,23	11,00	1,10	266,04	270,41	237,53	289,43
	18000	100	278,93	55,00	5,50	268,02	289,84	154,64	763,04
	Total	300	268,58	44,79	2,59	263,49	273,67	154,64	763,04
75%	12000	100	257,69	20,00	2,00	253,72	261,66	206,82	326,82
	15000	100	268,56	32,00	3,20	262,21	274,91	148,14	310,00
	18000	100	278,56	32,00	3,20	272,21	284,91	156,74	309,88
	Total	300	268,27	29,72	1,72	264,89	271,65	148,14	326,82

Comparaciones múltiples

Variable dependiente	(I) VH	(J) VH	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%		
						Límite inferior	Límite superior	
T1	HSD de Tukey	12000	15000	-3,11040	7,48065	,909	-20,7312	14,5104
			18000	-9,72090	7,48065	,397	-27,3417	7,8999
		15000	12000	3,11040	7,48065	,909	-14,5104	20,7312
			18000	-6,61050	7,48065	,651	-24,2313	11,0103
		18000	12000	9,72090	7,48065	,397	-7,8999	27,3417
			15000	6,61050	7,48065	,651	-11,0103	24,2313
T2	HSD de Tukey	12000	15000	-9,63510	6,24499	,272	-24,3453	5,0751
			18000	-20,33980*	6,24499	,004	-35,0500	-5,6296
		15000	12000	9,63510	6,24499	,272	-5,0751	24,3453
			18000	-10,70470	6,24499	,202	-25,4149	4,0055
		18000	12000	20,33980*	6,24499	,004	5,6296	35,0500
			15000	10,70470	6,24499	,202	-4,0055	25,4149
T3	HSD de Tukey	12000	15000	-10,87060*	4,03980	,021	-20,3864	-1,3548
			18000	-20,87040*	4,03980	,000	-30,3862	-11,3546
		15000	12000	10,87060*	4,03980	,021	1,3548	20,3864
			18000	-9,99980*	4,03980	,037	-19,5156	-,4840
		18000	12000	20,87040*	4,03980	,000	11,3546	30,3862
			15000	9,99980*	4,03980	,037	-,4840	19,5156

*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

Microencapsulación y bioaccesibilidad de capsaicina obtenida del extracto de Capsicum frutescens

por César Manuel Mendoza Hurtado

Fecha de entrega: 02-ago-2023 09:02a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2140418246

Nombre del archivo: TESIS_C_SAR_MANUEL_MENDOZA_HURTADO.docx (5.82M)

Total de palabras: 11498

Total de caracteres: 67249

Microencapsulación y bioaccesibilidad de capsaicina obtenida del extracto de *Capsicum frutescens*

INFORME DE ORIGINALIDAD

22%

INDICE DE SIMILITUD

16%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

14%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional de San Martín Trabajo del estudiante	9%
2	tesis.unsm.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	repositorio.unsm.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	rdcb.cbg.ipn.mx Fuente de Internet	1%
5	repositorio.unapiquitos.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
7	Submitted to Clarkston Community Schools Trabajo del estudiante	<1%
8	core.ac.uk Fuente de Internet	<1%