

Universidad Autónoma Metropolitana

Unidad Xochimilco

División de Ciencias Biológicas y de la Salud

Licenciatura en Química Farmacéutica Biológica

**Hidrogel y loción con extracto acuoso de *Cucurbita ficifolia* Bouché
(Chilacayote).**

Asesor interno

Dra. María Luisa de Lourdes Pérez González

No. Económico 22258

Asesor externo

Dr. Francisco Javier Alarcón Aguilar

No. económico es 19365

Alumno:

Irving Yael Ambrosio Mendoza

Matricula 2213019091

Inicio de proyecto: 27/03/2025

Vigencia a: 01/10 /2025

México, Ciudad de México, Coyoacán.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el interés por el aprovechamiento de metabolitos provenientes de fuentes naturales en la industria cosmética y farmacéutica ha crecido de manera significativa, impulsado por la demanda de productos seguros, eficaces y con un menor impacto ambiental (Lukic & Pantelic, 2021). En este contexto, las plantas medicinales y los cultivos tradicionales representan una valiosa fuente de compuestos bioactivos con potencial para el desarrollo de formulaciones dermocosméticas, como geles y emulsiones capaces de ofrecer beneficios hidratantes y antioxidantes. Una especie de particular interés es *Cucurbita ficifolia* Bouché, conocida comúnmente como chilacayote, un cultivo tradicional en México y diversos países de América Latina. Aunque su uso ha sido principalmente alimenticio, investigaciones recientes han comenzado a explorar su composición fitoquímica (Molina & Palma, 2018), revelando la presencia de metabolitos secundarios con relevancia terapéutica y cosmética (Moya Hernández, 2020). Entre los compuestos bioactivos identificados se encuentran carotenoides, flavonoides, ácido ascórbico (vitamina C) y otros compuestos fenólicos, a los cuales se atribuyen propiedades antioxidantes capaces de neutralizar radicales libres generados por la radiación UV y la contaminación, factores estrechamente relacionados con el envejecimiento cutáneo prematuro (Bautista Vázquez, 2020).

No obstante, la aplicación del chilacayote en formulaciones cosméticas ha sido poco documentada en la literatura científica. La mayoría de los estudios se ha enfocado en sus propiedades nutricionales o en el potencial de sus extractos orgánicos, dejando un vacío en torno a la eficacia y estabilidad de sus constituyentes hidrosolubles en sistemas semisólidos diseñados para el cuidado de la piel (Lukic & Pantelic, 2021). La incorporación exitosa de dichos extractos requiere no solo la identificación de métodos de extracción eficientes, sino también el diseño de formulaciones que conserven la estabilidad fisicoquímica y la actividad biológica de los compuestos de interés. En este sentido, el presente trabajo tiene como objetivo desarrollar y caracterizar formulaciones de hidrogel y loción que incorporen extracto acuoso de *Cucurbita ficifolia* Bouché, evaluando su estabilidad bajo condiciones ambientales. El trabajo se estructuró en cuatro etapas. La etapa 1 se enfocó en la extracción y obtención del extracto acuoso; la etapa 2, en el diseño y obtención del hidrogel; mientras que la etapa 3 se centró en el diseño y obtención de una loción acuosa. Finalmente, la etapa 4 tuvo como objetivo principal evaluar la estabilidad del

extracto acuoso, del hidrogel y de la loción. Con ello, se busca aprovechar de manera sustentable este recurso natural y establecer una base científica sólida para el diseño de productos cosméticos innovadores que potencien las propiedades hidratantes y antioxidantes del chilacayote.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General:

Desarrollar una formulación de un gel hidratante y una loción a base de extracto acuoso de chilacayote.

2.2 Objetivos específicos:

- Identificar un método óptimo para la obtención del extracto acuoso de chilacayote.
- Diseñar una formulación de un hidrogel usando el extracto acuoso de chilacayote.
- Diseñar una formulación de una loción acuosa usando el extracto acuoso de chilacayote.
- Caracterizar las formulaciones del hidrogel y loción acuosa.
- Realizar pruebas de estabilidad a temperatura ambiente para evaluar el hidrogel y la loción.

3. METODOLOGÍA EMPLEADA

3.1. Metodología Etapa 1. Obtención del extracto acuoso de chilacayote.

En esta primera etapa se evaluaron distintos métodos de extracción con el objetivo de identificar el procedimiento más eficiente en términos de tiempo, costo y rendimiento. Se propusieron seis métodos para la obtención del extracto acuoso de chilacayote, los cuales se describen de manera general a continuación.

Método 1: Maceración 1

- 1. Secado de chilacayote:** Se preparó, cortó y secó el fruto hasta obtener producto deshidratado.
- 2. Obtención del extracto:** El chilacayote seco se sometió a maceración con agua durante varios días.
- 3. Aclaramiento del extracto:** El líquido obtenido se filtró y decantó para eliminar impurezas y obtener un extracto limpio.

Método 2: Maceración 2

- 1. Secado del chilacayote:** Se utilizó la misma metodología del chilacayote seco descrita en el punto 1 del método 1 “maceración con agua”.
- 2. Proceso de macerado:** El chilacayote seco se colocó en etanol y se dejó reposar durante varios días para obtener el extracto.
- 3. Aclaramiento del extracto:** El líquido obtenido se filtró en dos etapas y se almacenó en frascos protegidos para su conservación.

Método 3: Molienda media energía 1

- 1. Preparación del fruto:** Se retiró la cáscara del chilacayote fresco con un cuchillo, se pesó y cortó el chilacayote para facilitar su procesamiento.
- 2. Molienda del chilacayote:** Las porciones del fruto se procesaron durante 5 minutos.

3. **Aclaramiento del extracto:** La mezcla se filtró y dejó reposar para separar los sólidos, obteniendo un extracto limpio.

Método 4: Molienda alta energía 2.

1. **Preparación del fruto:** Se retiró la cáscara del chilacayote fresco con un cuchillo, se pesó y cortó el chilacayote para su procesamiento.
2. **Molienda del chilacayote:** El fruto se molió hasta obtener un líquido uniforme.
3. **Aclaramiento del extracto:** El procesado se dejó reposar y se filtró para separar los sólidos, obteniendo un extracto limpio.

Método 5: Molienda manual 1.

1. **Preparación del fruto:** Se lavaron y se retiró completamente la cáscara con un cuchillo, procurando minimizar la pérdida de pulpa y se ralló el chilacayote fresco.
2. **Prensado del chilacayote:** La pulpa rallada se prensó para extraer el jugo del fruto.
3. **Aclaramiento del extracto:** El jugo obtenido se dejó reposar y se filtró para eliminar impurezas, obteniendo un extracto limpio.

Método 6: Molienda manual 2

1. **Preparación del fruto:** Se lavaron y se retiró completamente la cáscara con un cuchillo, procurando minimizar la pérdida de pulpa y se ralló la pulpa usando un rallador.
2. **Molienda del chilacayote:** El chilacayote rallado se separó el líquido de los residuos sólidos y fue recolectado en un recipiente limpio.
3. **Aclaramiento del extracto:** El líquido obtenido se dejó reposar durante 24 horas precipitando los sólidos presentes. Posteriormente, se realizó una filtración para eliminar impurezas restantes.

Método 6.1: Optimización de molienda 2

1. **Preparación del fruto:** Se lavaron y se retiró completamente la cáscara con un cuchillo, se ralló la pulpa.

2. **Molienda del chilacayote:** El chilacayote rallado se separó el líquido de los residuos sólidos y fue recolectado en un recipiente limpio, mientras que el residuo sólido se volvió a procesar recolectando más extracto.
3. **Aclaramiento del extracto:** El líquido obtenido se dejó reposar. Posteriormente, se separó el precipitado. A continuación, se realizó una filtración para eliminar impurezas restantes y se desecharon los residuos sólidos, se almacenó y congeló.

Método 3.1: Optimización de molienda media energía 1.

Preparación del fruto: Se lavaron y se retiró completamente la cáscara con un cuchillo, se ralló la pulpa.

1. **Molienda del chilacayote:** El chilacayote rallado se trituro hasta obtener una papilla homogénea.
2. **Aclaramiento del extracto:** El líquido obtenido se centrifugó para precipitar los sólidos restantes y se decantaron, se almacenó y congeló el extracto resultante.

3.2. Metodología Etapa 2. Diseño y obtención del hidrogel a base de extracto acuoso de chilacayote.

En esta etapa se buscó diseñar una formulación óptima de un hidrogel, para ello, se llevó a cabo una revisión bibliográfica orientada a identificar las principales materias primas empleadas en la formulación de hidrogeles, así como los rangos de uso recomendados para cada una de ellas, lo cual permitió establecer criterios técnicos para el desarrollo de una formulación propia ajustada a los objetivos de este estudio. La preparación del hidrogel se realizó empleando dicha formulación experimental, presentada en la Tabla 1.

Tabla 1.

Formulación experimental propia de hidrogel. Formulación base del hidrogel utilizando extracto acuoso de chilacayote.

Materia prima	Límites de uso	Función	Peso (g)	%
Extracto de chilacayote	20.0-50.0	Activo hidratante/antioxidante	20.0-50.0	20.0-50.00

Carbómero 940	0.5-2.0% ¹	Espesante (gel transparente)	1.25	1.25
Propilenglicol	~15% ¹	Humectante	5.0	5.0
Glicerina	5-15% ¹	Vehículo	5.0	5.0
Etanol 96%	1-10% ¹	Solvente/antiséptico	5.0	5.0
Benzoato de sodio	0.5-1.0% ¹	Conservante	0.5	0.5
Agua	cbp.	Vehículo	cbp.	cbp.
Total			100	

¹Obtenido del *Handbook of pharmaceutical excipients* (6th ed.).

Adicionalmente, se diseñaron formulaciones experimentales alternativas con el propósito de analizar y comparar sus características (Tabla 2). Estas se elaboraron a partir de extractos acuosos de chilacayote obtenidos mediante seis métodos de extracción (M1, M3, M4, M5, M6 y M6.1). En tres de las formulaciones se modificó la concentración de carbómero con el fin de identificar la consistencia más adecuada para un hidrogel. Todas tomaron como referencia la formulación descrita en la Tabla 1.

Tabla 2.

Formulaciones experimentales propias de hidrogel. Formulaciones utilizando diferentes concentraciones de carbómero y diferentes tipos de extractos.

Nombre de la fórmula	F1M6 (%)	F2M6 (%)	F3M6 (%)	F4M1 (%)	F5M3 (%)	F6M4 (%)	F7M5 (%)	F8M0 (%)	F9M6.1 (%)
Extracto de chilacayote (M1, M3, M4, M5, M6 o M6.1)	20.0-50.0	20.0-50.0	20.0-50.0	20.0-50.0	20.0-50.0	20.0-50.0	20.0-50.0	0	100.0
Carbómero 940	2.0	1.25	0.5	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	2.5
Propilenglicol	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	10.0
Glicerina	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	10.0
Etanol 96%	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	10.0
Benzoato de sodio	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1
Agua	cbp.	cbp.	cbp.	cbp.	cbp.	cbp.	cbp.	cbp.	cbp.
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	200%

Procedimiento para la elaboración de las formulaciones descritas en la Tabla 2.

Procedimiento 1. Para la elaboración de las formulaciones F1M6, F2M6, F3M6, F4M1, F5M3, F6M4 y F7M5.

1. En un vaso de precipitados de 250 mL se añadió la cantidad correspondiente de agua destilada. Posteriormente, se pesó el carbómero y se incorporó lentamente bajo agitación suave. La dispersión se dejó en reposo durante 24 h para favorecer la hidratación completa del polímero.
2. En un segundo vaso de precipitados de 250 mL se adicionaron el propilenglicol, la glicerina, el etanol, el extracto acuoso de chilacayote y el benzoato de sodio. La mezcla se agitó con un agitador magnético a velocidad 7 durante 9 min.
3. La solución obtenida en el vaso 2 se incorporó lentamente a la dispersión de carbómero hidratado, agitando con varilla de vidrio de manera suave y continua, con el fin de evitar la formación de burbujas.
4. Se ajustó el pH gota a gota con trietanolamina con agitación continua hasta alcanzar un pH entre 4 y 6.

Procedimiento 2. Para la elaboración de la formulación F8M0.

1. En un vaso de precipitados de 250 mL se añadió la cantidad correspondiente de agua destilada. Posteriormente se pesó el carbómero y se incorporó lentamente bajo agitación a 700 rpm durante 1 h.
2. La dispersión obtenida se dejó en reposo durante 1 h con el fin de favorecer la humectación completa del carbómero.
3. En un segundo vaso de precipitados de 250 mL se pesaron y adicionaron el propilenglicol, la glicerina, el etanol, el extracto acuoso de chilacayote y el benzoato de sodio. La mezcla se agitó en un Caframo.
4. Se ajustó el pH gota a gota con trietanolamina con agitación continua hasta alcanzar un pH entre 4 y 6.

Procedimiento 3. Para la elaboración de la formulación F9M6.1.

1. En un vaso de precipitados de 250 mL se añadió la cantidad correspondiente de agua. Posteriormente se pesó el carbómero y se incorporó lentamente al medio, homogeneizando la mezcla.
2. En otro vaso de precipitados de 250 mL se pesaron y adicionaron el propilenglicol, la glicerina, el etanol, el extracto acuoso de chilacayote y el benzoato de sodio. La

mezcla se homogeneizó mediante agitación magnética durante 10 min a velocidad 5.

3. La mezcla del vaso 2 se incorporó lentamente en forma de hilo al carbómero hidratado del vaso 1, manteniendo la agitación constante en un Caframo. Una vez adicionada la totalidad, la mezcla se dejó en agitación durante 10 min a la misma velocidad.
4. Se ajustó el pH gota a gota con trietanolamina con agitación continua hasta alcanzar un pH entre 4 y 6.

Selección preliminar de la formulación para el diseño factorial

Se aplicó una encuesta en línea, a través de *Google Forms*, dirigida a personas seleccionadas de manera aleatoria y sin conocimientos previos en formulación cosmética. El objetivo fue identificar la formulación más atractiva en términos de sensación al tacto, color y facilidad de manipulación. En una primera etapa, se compararon las formulaciones con diferentes concentraciones de carbómero (F1M6, F2M6 y F3M6) con el fin de determinar cuál de las tres consistencias resultaba más agradable para el consumidor. Posteriormente, se evaluaron las coloraciones finales de los hidrogeles elaborados con distintos extractos (F2M6, F4M1, F5M3, F6M4 y F9M6.1), con el propósito de identificar los candidatos más adecuados para una posible comercialización.

Diseño factorial 3²

Se realizó un diseño factorial completo 3² empleando el software *Minitab 22*, con variables seleccionadas a partir de los resultados de la encuesta. Este enfoque permitió analizar de manera sistemática tanto los efectos principales como las interacciones entre los factores incluidos en el estudio, los cuales se describen en la Tabla 3.

Tabla 3.

Diseño factorial del hidrogel. Proporciones obtenidas aleatoriamente variando la concentración de carbómero (1.25, 1.5 y 2g) y extracto acuoso (10, 20 y 30mL).

Orden de corrida	Formulación	Carbómero	Extracto acuoso del método 3.1
1	F10M3.1	1*	1**
2	F11M3.1	2*	1**
3	F12M3.1	1*	2**
4	F13M3.1	2*	2**
5	F14M3.1	2*	3**
6	F15M3.1	3*	2**

7	F16M3.1	1*	3**
8	F17M3.1	3*	1**
9	F18M3.1	3*	3**

1* indica el uso de 1.25 g de carbómero, **2*** indica el uso de 1.5 g de carbómero, **3*** indica el uso de 2 g de carbómero. **1**** indica el uso de 30 mL de extracto, **2**** indica el uso de 20 mL de extracto, **3**** indica el uso de 10mL de extracto

Cada una de las formulaciones descritas en la Tabla 4 se elaboró siguiendo el *Procedimiento 3* previamente establecido, sin realizar modificaciones, con el fin de evitar variaciones en la metodología y garantizar la comparabilidad de los resultados.

Tabla 4.

Formulaciones del diseño factorial. Formulaciones completas de acuerdo con el orden de corrida del diseño 3².

Nombre de la fórmula	F10M3.1 (%)	F11M3.1 (%)	F12M3.1 (%)	F13M3.1 (%)	F14M3.1 (%)	F15M3.1 (%)	F16M3.1 (%)	F17M3.1 (%)	F18M3.1 (%)
Extracto de chilacayote Método 3.1	10.0-50.0	10.0-50.0	10.0-50.0	10.0-50.0	10.0-50.0	10.0-50.0	10.0-50.0	10.0-50.0	10.0-50.0
Carbómero 940	1.25	1.5	1.25	1.5	1.5	2.0	1.25	2.0	2.0
Propilenglicol	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Glicerina	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Etanol 96%	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Benzoato de sodio	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Agua	cbp.	cbp.	cbp.	cbp.	cbp.	cbp.	cbp.	cbp.	cbp.
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Reproducibilidad de la formulación óptima del hidrogel mediante triplicado

Se realizó un triplicado de la formulación F16M3.1 con el fin de comprobar su reproducibilidad, para garantizar consistencia entre lotes y viabilidad de escalamiento. Cada lote se elaboró en días distintos siguiendo rigurosamente el *procedimiento 3* previamente descrito, sin modificaciones en las condiciones de elaboración, y posteriormente se evaluaron parámetros fisicoquímicos (pH, extensibilidad) y organolépticos mediante las mismas escalas definidas.

Tabla 5.

Triplicado de la formulación. Se describen las tres formulaciones realizadas tomando como estándar la formulación F16M3.1

Materia prima	Rangos de uso	F16M3.1-1 (%)	F16M3.1-2 (%)	F16M3.1-3 (%)
Extracto de chilacayote Método 3.1	10.0-50.0	10.0-50.0	10.0-50.0	10.0-50.0
Carbómero 940	0.5-2.0% ¹	1.25	1.25	1.25
Propilenglicol	~15% ¹	5.0	5.0	5.0
Glicerina	5-15% ¹	5.0	5.0	5.0
Etanol 96%	1-10% ¹	5.0	5.0	5.0
Benzoato de sodio	0.5-1.0% ¹	0.5	0.5	0.5
Agua	Cbp.	cbp.	cbp.	cbp.
Total		100%	100%	100%

Caracterización de los hidrogeles

Los hidrogeles presentaron diferencias en color, opacidad y viscosidad, las cuales se evaluaron mediante una escala de Likert adaptada, donde la intensidad de cada característica se representó con signos "+", siendo "+++++" el nivel máximo. Cada formulación se evaluó con un fondo negro y frascos semejantes para evitar las variaciones. Adicionalmente, se realizaron pruebas complementarias de densidad y extensibilidad para obtener una caracterización más completa de las formulaciones.

Escala de color:

- Cristalino/incoloro: +
- Naranja oscuro: +++++

Escala de opacidad:

- Transparente: +
- Totalmente translúcido: +++++

Escala de viscosidad:

- Poco viscoso: +
- Muy viscoso: +++++

Densidad:

Material:

Picnómetro metálico con tapa, balanza analítica, agua destilada, espátula.

Procedimiento

1. Se limpió, secó y pesó el picnómetro vacío (m_0).
2. El picnómetro se llenó con agua destilada y se pesó (m_1).
3. Se llenó el picnómetro con hidrogel evitando burbujas, se colocó la tapa y se limpió el exterior y se pesó (m_2)
4. Se calculó la densidad del gel usando la siguiente fórmula: $\rho = \frac{m_1 - m_0}{m_2 - m_0}$

Extensibilidad

Material:

Hoja milimétrica, 2 láminas de acrílico (21.6 cm x 27.9 cm), vidrio reloj, espátula, calibrador de Vernier.

3.3. Metodología Etapa 3. Diseño y obtención de loción a base de extracto acuoso de chilacayote.

La formulación de la loción se fundamentó en una revisión bibliográfica de antecedentes relacionados y fue desarrollada de manera original para este trabajo, en la que se buscaba obtener una loción W/O totalmente estable, fluida y atractiva (ver tabla 6).

Tabla 6.

Formulación experimental 1 de loción. Formulación de la loción utilizando extracto acuoso de chilacayote.

Materia prima	Límites de uso	Función	%	Peso (g)
Extracto acuoso de chilacayote	10.0-50.0	Base hidratante y antioxidante	10.0-50.0	10.0-50.0
Carbómero	0.1-0.5% ¹	Gelificante	0.2	0.2
Propilenglicol	~15% ¹	Humectante profundo	10	10
Glicerina	<30% ¹	Humectante	11	11
Aceite de oliva	1.0-15.0% ¹	Emoliente	10	10
Ácido oleico	1.0-10% ¹	Emoliente	5	5
Polisorbato 80	1.0-10.0% ¹	Emulsionante hidrofílico	2	2
Monooleato de sorbitán 80	1.0-15.0% ¹	Emulsionante lipofílico	8	8
Benzoato de sodio	0.5-4.0% ¹	Conservante	0.5	0.5
Agua	cbp	Vehículo	cbp	cbp
Total			100	
HLB del sistema			5.57	

¹Obtenido del Handbook of pharmaceutical excipients (6th ed.).

A partir de esta formulación experimental se desarrollaron siete variantes, en las cuales el principal ajuste correspondió a la concentración de polisorbato 80, monooleato de sorbitán 80 y Carbómero 940, con el objetivo de identificar las características propias de una loción. Las formulaciones obtenidas se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7.

Formulaciones experimentales 1 de loción. Formulaciones elaboradas sin uso del extracto acuoso de chilacayote.

Nombre de la fórmula	FL1 (%)	FL2 (%)	FL3 (%)	FL4 (%)	FL5 (%)	FL6 (%)	FL7 (%)
Aceite de oliva	10	10	10	10	10	10	10
Ácido oleico	5	5	5	5	5	1	10
Polisorbato 80	2	1	3	2	2	6	3
Monooleato de sorbitán 80	8	9	7	8	8	10	10
Carbómero 940	0.3	0.3	0.3	0.2	0.1	0.2	0.1
propilenglicol	10	10	10	10	10	10	10
Glicerina	11	11	11	11	11	10	10
Benzoato de sodio	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Agua	53.3	53.3	53.3	53.3	53.3	53.3	53.3
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
HLB del sistema	5.7	5.3	6.1	5.7	5.7	6.8	5.9

Adicionalmente, se propusieron nuevas formulaciones experimentales con el objetivo de obtener una loción W/O a base de extracto de chilacayote con mejores características de estabilidad, comportamiento reológico, apariencia y aceptación sensorial. Estas variantes permitieron comparar su desempeño y seleccionar la opción más adecuada para el desarrollo del producto final (ver Tabla 8).

Tabla 8.

Formulación experimental 2 de la loción. Reformulación de la loción agregando monoestearato de glicerilo y dimeticona.

Materia prima	Límites de uso	Función	FL8 (%)	FL9 (%)
Aceite de aguacate	1.0-15.0% ¹	Emoliente	15	15
Ácido oleico	1.0-10% ¹	Emoliente	2	3
Monoestearato de glicerilo	1.0-15.0% ¹	Emulsionante lipofílico	1	1
Monooleato de sorbitán60	1.0-15.0% ¹	Emulsionante lipofílico	2	2
Polisorbato 80	1.0-10.0% ¹	Emulsionante hidrofílico	0	1
Dimeticona	0.5-5.0% ¹	Antiespumante	0.5	0

Propilenglicol	~15% ¹	Humectante profundo	5	5
Glicerina	<30% ¹	Humectante	5	5
Benzoato de sodio	0.5-4.0% ¹	Conservante	0.5	0.5
Extracto de chilacayote		Base hidratante y antioxidante	0	0
Agua	cbp	Vehículo	cbp	cbp
Total			100	100
HLB del sistema			5.8	6.2

¹Obtenido del Handbook of pharmaceutical excipients (6th ed.).

Procedimiento para la elaboración de las formulaciones descritas en la tabla 7 y 8.

Procedimiento 1. Para la elaboración de las formulaciones FL1, FL2, FL3, FL4, FL5, FL6 y FL7.

1. En un vaso de precipitados de 250 mL se añadió la cantidad correspondiente de agua destilada. Posteriormente se pesó el carbómero y se incorporó lentamente bajo agitación a 700 rpm durante 30 min y se dejó reposar durante 30 min.
2. En el mismo vaso de precipitados se pesó y agregó glicerina, propilenglicol, benzoato y se homogeneizó a 700 rpm durante 5 min, posteriormente con una espátula se eliminaron la mayor cantidad de burbujas.
3. En un segundo vaso de precipitados de 250 mL se añadió aceite de oliva, ácido oleico, polisorbato 80 y monooleato de sorbitán 80, después se homogeneizó a 700 rpm durante 6 min.
4. La fase acuosa que se encontraba en el primer vaso de precipitados se vertió lentamente en forma de hilo a la fase oleosa mientras está en agitación en el caframo a 800 rpm durante 20 min
5. La loción obtenida se colocó en un baño de hielo con movimientos rotatorios durante 5 minutos.

Procedimiento 2 de elaboración de Loción. Para la elaboración de la formulación FL8 y FL9

1. En un vaso de precipitados de 250 mL se pesó y añadió aceite de aguacate, ácido oleico, polisorbato 80, monooleato de sorbitán 60, dimeticona y monoestearato de glicerilo; posteriormente se calentó a 70°C hasta fundir por completo todos los sólidos; después se dejó enfriar la fase oleosa hasta los 45°C.
2. Una vez fundidos los sólidos de la fase oleosa se homogenizó durante 10 min utilizando un magneto en parrilla de agitación a velocidad 7.

3. En un segundo vaso de precipitados se pesó y añadió glicerina, propilenglicol, benzoato de sodio, extracto de chilacayote y agua; se homogeneizó durante 10 min utilizando un magneto en parrilla de calefacción con agitación a velocidad 7, al mismo tiempo de calentar la solución hasta alcanzar una temperatura de 55°C.
4. Se verificó que la fase oleosa permaneciera a 45°C y la fase acuosa a 55°C, posteriormente se colocó la fase oleosa sobre una parrilla de calefacción que se encontraba a 45-50°C y se colocó encima el caframo a 600 rpm, después se vertió la fase acuosa lentamente en forma de hilo.
5. Una vez vertida la fase acuosa se subió la velocidad del caframo a 800 rpm durante 20 min con la parrilla de calefacción apagada, posteriormente, se bajó la velocidad a 600 rpm durante 10 min.
6. Se retiró la loción del caframo y con una espátula se paleteó con movimientos circulares hasta atemperar a 25°C.

Diseño factorial 2²

Se llevó a cabo un diseño factorial completo 2² con variables aleatorias, empleando el software *Minitab* 22 y la formulación experimental 2 descrita en la Tabla 8. En este diseño se modificaron los porcentajes de polisorbato 80 y monoestearato de glicerilo con el propósito de identificar la combinación que diera lugar a una loción con mejores características fisicoquímicas y un mayor atractivo visual (ver tabla 9).

Tabla 9.

Diseño factorial de la loción. Proporciones obtenidas aleatoriamente variando la concentración de polisorbato 80 (2 y 4 g) y monoestearato de glicerilo (2 y 3 g).

Orden de corrida	Formulación	Polisorbato 80	Monoestearato de glicerilo
1	FL10	1*	-1**
2	FL11	-1*	1**
3	FL12	1*	1**
4	FL13	-1*	-1**

1* indica el uso de 2g de polisorbato 80, -1* indica el uso de 4 g de polisorbato 80, 1** indica el uso de 2 g de Monoestearato de glicerilo, -1** indica el uso de 3 g de monoestearato de glicerilo.

Cada una de las formulaciones descritas en la Tabla 10 se elaboró siguiendo el *Procedimiento 2* previamente establecido, sin realizar modificaciones, con el fin de evitar variaciones en la metodología y garantizar la comparabilidad de los resultados.

Tabla 10.

Formulaciones del diseño factorial. Formulaciones completas de acuerdo con el orden de corrida del diseño 2².

Materia prima	Límites de uso	FL10 (%)	FL11 (%)	FL12 (%)	FL13 (%)
Aceite de aguacate	1.0-15.0% ¹	15.0	15.0	15.0	15.0
Ácido oleico	1.0-10% ¹	7.0	7.0	7.0	7.0
Monoestearato de glicerilo	1.0-15.0% ¹	3.0	2.0	2.0	3.0
Monooleato de sorbitán 80	1.0-15.0% ¹	1.0	1.0	1.0	1.0
Polisorbato 80	1.0-10.0% ¹	2.0	4.0	2.0	4.0
Dimeticona	0.5-5.0% ¹	0.5	0.5	0.5	0.5
Propilenglicol	~15% ¹	5.0	5.0	5.0	5.0
Glicerina	<30% ¹	5.0	5.0	5.0	5.0
Benzoato de sodio	0.5-4.0% ¹	0.5	0.5	0.5	0.5
Extracto de chilacayote (método 3.1)	20.0-50.0	20.0-50.0	20.0-50.0	20.0-50.0	20.0-50.0
Agua	cbp	cbp	cbp	cbp	cbp
Total		100%	100%	100%	100%
HLB del sistema		5.2	6.1	5.4	5.9

Reproducibilidad de la formulación óptima de la loción mediante triplicado

La formulación FL12 se elaboró por triplicado con el propósito de verificar su reproducibilidad, asegurando la consistencia entre lotes y su potencial de escalamiento (Tabla 11). Cada lote fue preparado en días diferentes, siguiendo de manera estricta el procedimiento 2 previamente descrito y sin modificaciones en las condiciones de elaboración. Posteriormente, se evaluaron los parámetros fisicoquímicos (pH, extensibilidad y viscosidad) y las características organolépticas utilizando las mismas escalas previamente establecidas.

Tabla 11.

Triplicado de la formulación. Se describen las tres formulaciones realizadas tomando como estándar la formulación FL12

Materia prima	Límites de uso	FL12-1 (%)	FL12-2 (%)	FL12-3 (%)
Aceite de aguacate	1.0-15.0% ¹	15.0	15.0	15.0
Ácido oleico	1.0-10% ¹	7.0	7.0	7.0
Monoestearato de glicerilo	1.0-15.0% ¹	2.0	2.0	2.0
Monooleato de sorbitán 60	1.0-15.0% ¹	1.0	1.0	1.0
Polisorbato 80	1.0-10.0% ¹	2.0	2.0	2.0
Dimeticona	0.5-5.0% ¹	0.5	0.5	0.5
Propilenglicol	~15% ¹	5.0	5.0	5.0
Glicerina	<30% ¹	5.0	5.0	5.0
Benzoato de sodio	0.5-4.0% ¹	0.5	0.5	0.5
Extracto de chilacayote	20.0-50.0	20.0-50.0	20.0-50.0	20.0-50.0
Agua	cbp	cbp	cbp	cbp
Total		100%	100%	100%
HLB del sistema		5.4	5.4	5.4

Caracterización de las lociones

Con el fin de evaluar de manera integral la calidad y desempeño de las lociones desarrolladas, fue necesario llevar a cabo un proceso de caracterización enfocado en parámetros fisicoquímicos y de estabilidad. Cada una de las lociones fue sometida a diferentes pruebas con el propósito de determinar sus propiedades y comparar su comportamiento. En particular, se evaluaron aspectos como la extensibilidad, densidad, viscosidad, signo de la emulsión y centrifugación.

Se siguió el mismo procedimiento descrito para las pruebas de densidad y extensibilidad en la caracterización de los hidrogeles.

Viscosidad

Material: Viscosímetro Brookfield DV-II, Husillos, frasco de olivas, termómetro.

Procedimiento:

1. La muestra de la loción se colocó en el frasco de olivas limpio, procurando eliminar la presencia de burbujas de aire y atemperando a 25°C.
2. Se seleccionó el husillo adecuado de acuerdo con la viscosidad esperada de la formulación.
3. El husillo se introdujo de manera inclinada en la muestra, cuidando que no tocara las paredes ni el fondo del recipiente.
4. Se ajustaron la velocidad de rotación y el husillo utilizado en la lectura del equipo.
5. Finalmente, se registraron los valores de viscosidad expresados en centipoises (cP) y el torque obtenido (%).
6. Se calculó la viscosidad de acuerdo con el manual del modelo del viscosímetro siguiendo la siguiente fórmula: $Viscosidad (cP) = \left(\frac{100}{RPM}\right) \times TK \times SMC \times Torque\%$
Considerando que TK para el modelo código es 2 y SMC corresponde al husillo utilizado: Husillo 3 = 10, Husillo 2 = 20.

Centrifugación

Material: Centrifuga VELAB CBC series, tubos de centrifuga 15 mL, balanza de dos platos, gradilla.

1. Se colocaron 7 g de loción en siete tubos, se balancearon para que estuvieran equilibrados y taparon.
2. Se llevó a centrifugar durante 30 minutos a 3800 rpm.

3. Se analizó cada tubo en un fondo negro para visualizar si presentaba una separación de las fases.
4. Se evaluó la separación de las fases con una escala de Likert:
Mínima separación: + Separación total: +++++

Signo de la emulsión

Material: vidrio de reloj y espátula

1. Se limpió y secó previamente un vidrio de reloj.
2. Se colocó una gota de la loción sobre el vidrio.
3. Se añadió una gota de agua destilada sobre la muestra.
4. Se observó el comportamiento de la mezcla durante 10 min para saber si se integró en el agua o permaneció separada

Cálculo de HLB

Se calculó el HLB del sistema utilizando la siguiente fórmula recabada de Soto Figueroa (1994).

$$\text{HLB del sistema} = \frac{\sum(\text{HLB}_i \times f_i)}{\sum f_i}$$

Donde:

- HLB i = valor HLB de cada tensioactivo individual.
- f_i = fracción en peso (o porcentaje en peso) de cada tensioactivo dentro de la mezcla.

3.4. Metodología etapa 4. Periodo de estabilidad.

En esta última etapa se evaluó la estabilidad de las formulaciones desarrolladas (hidrogel, loción y extracto acuoso empleado como materia prima). Para este propósito, las muestras se mantuvieron a temperatura ambiente y se expusieron de manera continua a la luz solar directa y en oscuridad durante un periodo de 30 días, con el fin de simular las condiciones ambientales a las que potencialmente podría estar sujeto el producto final durante su almacenamiento o uso. Al concluir el periodo de prueba, se realizó una evaluación detallada orientada a detectar posibles modificaciones fisicoquímicas y organolépticas, incluyendo cambios en el color, olor, textura, homogeneidad, así como la presencia de precipitados o separación de fases.

Paralelamente, se efectuó la medición de parámetros básicos de control de calidad como pH, viscosidad, densidad y extensibilidad con el objetivo de establecer el grado de estabilidad y la compatibilidad de los componentes dentro de cada formulación.

4. ACTIVIDADES REALIZADAS

4.1. Etapa 1. Extracto acuoso de chilacayote:

Se efectuó una revisión bibliográfica con el propósito de profundizar en la composición del chilacayote y en los métodos previamente reportados para la obtención de su extracto acuoso. Posteriormente, se llevaron a cabo pruebas experimentales aplicando diferentes técnicas de extracción descritas en la literatura y propuestas con los recursos del laboratorio. Con base en los resultados obtenidos, se procedió a optimizar el método más eficiente, priorizando un mayor rendimiento, menor tiempo de procesamiento y mejores características organolépticas del extracto.

4.2. Etapa 2. Hidrogel de chilacayote:

Se llevó a cabo una revisión bibliográfica sobre la composición de los hidrogeles y los rangos de uso de sus principales ingredientes. Posteriormente, se desarrollaron formulaciones experimentales con el objetivo de identificar la composición y metodología más adecuadas para su elaboración. Asimismo, se aplicaron encuestas a fin de determinar las opciones más atractivas para los usuarios, lo que permitió definir los factores a considerar en un diseño factorial. Tras tres semanas de evaluación de estabilidad a temperatura ambiente, se seleccionó la formulación que presentó las mejores características organolépticas y la menor variabilidad en parámetros químicos (pH). Finalmente, se elaboró un triplicado de la formulación seleccionada para confirmar su replicabilidad y consistencia.

4.3. Etapa 3. Loción en crema de chilacayote:

Durante esta etapa se realizó una revisión bibliográfica exhaustiva acerca de la composición de las lociones y de los rangos de uso de sus principales ingredientes, con el fin de establecer criterios claros para diferenciarlas de otras emulsiones del tipo O/W y W/O. Con base en la información recopilada, se diseñaron siete formulaciones experimentales y dos reformulaciones adicionales, cuyo propósito fue identificar la combinación de componentes y la metodología de elaboración más adecuadas para

obtener una loción estable y funcional. Posteriormente, las formulaciones se sometieron a un proceso de caracterización, en el cual se evaluaron parámetros fisicoquímicos (extensibilidad, viscosidad, densidad, signo de la emulsión y centrifugación) y atributos organolépticos, lo que permitió comparar su desempeño y seleccionar la formulación que presentó mejores características sensoriales y menor variabilidad en los análisis fisicoquímicos determinados para una loción. Finalmente, la formulación seleccionada se elaboró por triplicado en el mismo día procurando que fuera en mismas condiciones de temperatura y luz con el objetivo de comprobar su reproducibilidad, consistencia entre lotes y viabilidad para un futuro escalamiento.

4.4. Etapa 4. Pruebas de estabilidad de los cosméticos con extracto de chilacayote:

En esta etapa se llevaron a cabo pruebas de control de calidad con el objetivo de identificar posibles cambios asociados al periodo de estabilidad de 30 días al que fueron sometidas las muestras, bajo condiciones de almacenamiento a temperatura ambiente en oscuridad y en exposición constante a la luz solar. Las evaluaciones incluyeron la observación de parámetros fisicoquímicos y organolépticos, tales como color, olor, textura, homogeneidad y la posible aparición de precipitados o separación de fases. Además, se determinaron indicadores de calidad específicos, como pH, densidad y extensibilidad, que permiten valorar la estabilidad y compatibilidad de los componentes en cada formulación.

5. METAS ALCANZADAS:

5.1. Etapa 1. Extracto acuoso de chilacayote:

Se estableció un método óptimo para la obtención del extracto acuoso de chilacayote, el cual presentó características organolépticas adecuadas, como una coloración clara sin partículas visibles y un olor tenue, lo que lo hace apto para su aplicación en formulaciones cosméticas. Este método resulta particularmente favorable para productos en los que el color del extracto puede influir en la apariencia final, como es el caso de los hidrogeles.

5.2. Etapa 2. Hidrogel de chilacayote:

Se obtuvo un hidrogel con características organolépticas favorables, que le confieren una apariencia translúcida y homogénea, además de un color adecuado y una textura agradable al tacto. Asimismo, se optimizó la metodología de elaboración, logrando un proceso más eficiente y rápido. La formulación desarrollada presentó una buena extensibilidad, propiedad que favorece su aplicación sobre la piel y contribuye a una mejor experiencia sensorial del consumidor. Por otra parte, se observó que el hidrogel de chilacayote mantuvo su estabilidad durante un mes a temperatura ambiente, sin presentar alteraciones significativas en sus propiedades fisicoquímicas, lo que sugiere que el producto puede conservarse adecuadamente bajo condiciones ambientales y de almacenamiento convencional durante al menos un mes.

5.3. Etapa 3. Loción en crema de chilacayote:

Se obtuvo un lote de loción que presentó una mejor estabilidad durante un mes a temperatura ambiente. La incorporación del extracto de chilacayote permitió mantener el pH dentro del rango recomendado para productos cosméticos de aplicación tópica. Asimismo, la formulación mostró estabilidad física a lo largo del periodo de observación, sin evidenciar separación de fases, formación de grumos ni precipitados. La textura fluida y cremosa resultó adecuada para la aplicación cutánea, destacando por su buena extensibilidad y agradable sensación al tacto, cualidades que mejoran la aceptabilidad sensorial del producto final, junto con su color blanco uniforme. En conjunto, estos resultados representan un avance significativo hacia el desarrollo de una formulación cosmética innovadora, funcional y con alto potencial de posicionamiento en el mercado.

5.4. Etapa 4. Pruebas de estabilidad de los cosméticos con extracto de chilacayote:

Esta etapa permitió obtener un panorama preliminar del comportamiento de las muestras bajo condiciones ambientales naturales, evaluando su respuesta a un periodo de 30 días de almacenamiento a temperatura ambiente en oscuridad y con exposición constante a la luz solar. Los resultados obtenidos demostraron que tanto el hidrogel como la loción en crema con extracto acuoso de chilacayote conservaron sus características organolépticas, sin presentar cambios significativos en color, olor o textura durante el mes de estabilidad. No obstante, se observó una ligera tendencia al oscurecimiento en las muestras expuestas a la luz solar, que se sugiere una atribución

a posibles procesos de oxidación de compuestos fenólicos presentes en el extracto acuoso. Aun así, estos cambios no afectaron de manera significativa las propiedades sensoriales ni la estabilidad general del producto. En conjunto, los resultados de esta etapa evidencian que ambos productos presentan una estabilidad satisfactoria durante el almacenamiento a condiciones ambientales, lo que respalda la viabilidad del extracto de chilacayote como ingrediente funcional en formulaciones cosméticas.

6. RESULTADOS Y CONCLUSIONES:

6.1. Etapa 1. Extracto acuoso de chilacayote:

6.1.1. Resultados de la etapa 1. Extracto acuoso de chilacayote:

Se compararon los rendimientos obtenidos a partir de los ocho métodos de extracción evaluados (ver Tabla 12), considerando también el tiempo que tardó la extracción, el pH y la apariencia del extracto. Estos parámetros son relevantes tanto para una posible escalabilidad industrial como para aspectos relacionados con la comercialización, el marketing y la optimización de recursos.

Tabla 12.

Resultados de los métodos de extracción. Resumen de las características y rendimientos de los ocho métodos de obtención del extracto acuoso de chilacayote.

No.	Método	Rendimiento (%)	pH	Apariencia	Tiempo total de extracción
1	Maceración 1	58.3%	5.5	Transparente de coloración naranja oscuro	14 días
2	Maceración 2	55.5%	6.0	Transparente de coloración verde	14 días
3	Molienda media energía 1	70%	4.66	Transparente ligeramente amarillo oscuro	7 días

4	Molienda alta energía 2.	48%	5.14	Transparente medianamente verde	3 días
5	Molienda manual 1.	15%	5.01	Transparente ligeramente verde	2 días
6	Molienda manual 2	38%	5.0	Transparente medianamente verde	2 días
6.1	Optimización de molienda manual 2	48%	5.5	Transparente medianamente verde	2 días
3.1	Optimización de molienda media energía 1	69.5%	5.7	Transparente medianamente verde	2 días

6.1.2. Análisis de resultados de la etapa 1. Extracto acuoso de chilacayote:

De los métodos evaluados para la obtención del extracto acuoso de chilacayote, la molienda media energía 1 presentó el mayor rendimiento (70%). Sin embargo, este procedimiento mostró limitaciones relevantes: requirió un tiempo prolongado de extracción (7 días) y produjo un extracto de color amarillo oscuro, poco atractivo para su aplicación en formulaciones cosméticas naturales. Aun así, el pH obtenido (4.66) se mantuvo dentro del rango recomendado para productos tópicos (4.0–5.9) (Lukic & Pantelic, 2021), lo cual constituye un punto favorable en términos de compatibilidad dérmica. En contraste, el prensado manual con exprimidor resultó ineficiente, alcanzando únicamente un rendimiento del 15%. Si bien el tiempo de obtención fue corto (2 días), este método no es viable para un proceso a escala mayor debido a su baja productividad y dificultad para mantener la homogeneidad del extracto. Respecto al macerado con chilacayote deshidratado, se obtuvieron 148.28 g de material seco, correspondientes a un rendimiento global del 3.98%. Los extractos obtenidos mediante disolventes (agua y etanol) mostraron rendimientos relativamente aceptables (58.3% y 55.5%, respectivamente); sin embargo, el tiempo de extracción fue excesivo (14 días) y la coloración final de los extractos resultó poco favorable, lo cual limita su aplicabilidad

en procesos que demandan rapidez, eficiencia y estabilidad sensorial. Por otra parte, la molienda alta energía 2 y la molienda manual 2 lograron rendimientos competitivos (48% y 38%), con la ventaja adicional de producir extractos de coloración verde, más atractivos para aplicaciones cosméticas naturales. Además, ambos métodos redujeron considerablemente los tiempos de extracción (2 y 3 días). No obstante, el uso del procesador de alimentos fue descartado por sus limitaciones en términos de escalabilidad industrial y control del proceso. Finalmente, se seleccionaron los métodos de molienda manual 2 (6.1) y molienda media energía 1 (3.1) para su optimización, al combinar rendimientos favorables con potencial de mejora en el tiempo de extracción. Tras los ajustes realizados, se logró incrementar el rendimiento del método molienda manual 2 hasta un 48% y mantener el rendimiento del método molienda media energía 1, mejorando simultáneamente la claridad del extracto, conservando un pH adecuado y reduciendo el esfuerzo de procesamiento.

6.1.3. Conclusiones Etapa 1. Extracto acuoso de chilacayote:

Con base en los resultados obtenidos, el método de molienda media energía 1 se identificó como la alternativa más adecuada para la obtención del extracto acuoso de chilacayote. Este procedimiento logró un rendimiento favorable, un pH estable dentro del rango cosméticamente aceptable y una coloración clara y homogénea, características que lo hacen idóneo para su aplicación en formulaciones tópicas. Además, presentó tiempos de extracción reducidos y un procesamiento más eficiente, factores determinantes para su escalabilidad y reproducibilidad a nivel de laboratorio y potencialmente industrial. Por estas razones, este método para la obtención del extracto fue seleccionado para la elaboración del hidrogel y la loción líquida, asegurando la integración de un extracto con propiedades fisicoquímicas estables y una apariencia sensorial adecuada para su aplicación en productos cosméticos naturales.

6.2. Etapa 2. Hidrogel de chilacayote.

6.2.1. Resultados Etapa 2. Hidrogel de chilacayote:

Identificación de la formulación más atractiva.

La Figura 1 detalla los resultados de la encuesta realizada para identificar las formulaciones preferidas en cuanto a coloración y sensación al tacto. Estos hallazgos

permiten reconocer las características más atractivas para los consumidores y sirven de base para el diseño factorial.

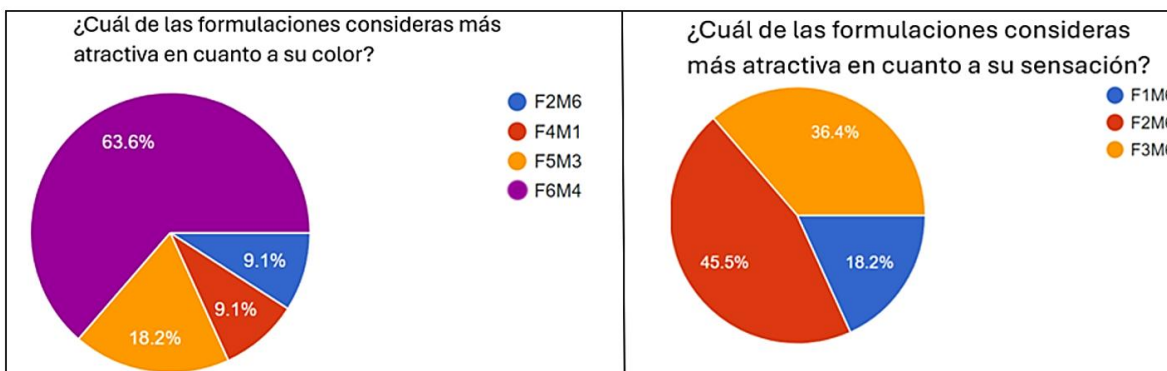


Figura 1. Resultados de la encuesta. Identificación del hidrogel más aceptable para los consumidores en cuanto a la coloración final y sensación al tacto.

Caracterización de los hidrogeles.

La Tabla 13 presenta los resultados obtenidos en la caracterización de los hidrogeles. Se evaluaron los parámetros fisicoquímicos y sensoriales más relevantes para la selección de la formulación adecuada, considerando: extensibilidad, densidad, viscosidad, pH, color y opacidad.

Tabla 13.

Caracterización de hidrogel. Caracterización de las dieciocho formulaciones, describiendo densidad, extensibilidad y usando la escala de Likert para diferenciar las variaciones visualmente presentadas en los hidrogeles.

Formulación	Color:	Opacidad:	Viscosidad	pH	Densidad (g/mL)	Extensibilidad (cm)			
						Pesa agregada			
						226 g	426 g	726 g	1126 g
F1M6	+++	+++++	+++++	N.R.	N.R.	N.R	N.R	N.R	N.R
F2M6	+++	+++++	+++	N.R.	N.R.	N.R	N.R	N.R	N.R

F3M6	+++	+++++	+	N.R.	N.R.	N. R	N. R	N.R	N.R
F4M1	++++	+++	+++	N.R.	N.R.	N. R	N. R	N.R	N.R
F5M3	++	++	++	N.R.	N.R.	N. R	N. R	N.R	N.R
F6M4	+	+	+++	N.R.	N.R.	N. R	N. R	N.R	N.R
F7M5	++++	++	++	N.R.	N.R.	N. R	N. R	N.R	N.R
F8M0	++++	+	++	N.R.	N.R.	N. R	N. R	N.R	N.R
F9M6.1	++++	++	+++	N.R.	N.R.	N. R	N. R	N.R	N.R
F10M3.1	++++	++++	++	5.49	1.02	4	4.5	5	5.5
F11M3.1	++++	++++	+++	5.49	1.01	4	4.6	5.1	5.7
F12M3.1	+++	+++	++	5.33	1.01	4.5	4.8	5.2	5.7
F13M3.1	+++	+++	+++	5.5	1.01	4	4.5	4.9	5.5
F14M3.1	+	++	+++	5.55	1.00	3.7	4.2	4.7	5.2
F15M3.1	++	++	+++++	5.55	1.01	3.6	4	4.5	4.9
F16M3.1	+	+	++	5.55	1.01	4	4.5	5.1	5.6
F17M3.1	++++	++++	+++++	5.52	1.02	3.6	4	4.5	4.9
F18M3.1	+	+	++++	5.02	1.00	3.6	4.1	4.5	4.7
Abreviaturas: Color: Cristalino/incoloro: + verde oscuro: +++++; Opacidad: Transparente + Totalmente translúcido: +++++ y Viscosidad: Poco viscoso: + Muy viscoso: +++++									

N.R.: No se realizó la prueba en la formulación establecida.

Cabe destacar que, debido a la priorización metodológica, no fue posible realizar ciertas pruebas en las primeras formulaciones (F1M6 a F9M6.1), ya que estas representaron únicamente un primer acercamiento exploratorio al desarrollo de los hidrogeles. Sin embargo, los parámetros evaluados en las formulaciones posteriores aportan información suficiente y confiable para identificar la opción más prometedora, garantizando así una base sólida para su selección y optimización futura. La Figura 2 muestra la variación de los resultados de extensibilidad obtenidos de acuerdo con el porcentaje usado de carbómero en las diferentes formulaciones.

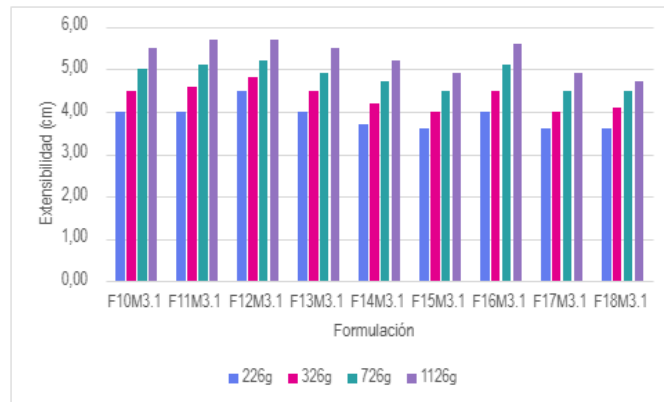




Figura 2. Comparación de la extensibilidad. Resultados de extensibilidad en las nueve formulaciones utilizando cuatro pesos diferentes 226, 326, 726 y 1126 g.



Triplicado del hidrogel con la formulación óptima.

La tabla 14 evidencia los resultados obtenidos de coloración, pH, viscosidad, densidad y extensibilidad al replicar la formulación F16M3.1 del hidrogel.

Tabla 14.

Evaluación de la formulación F16M3.1 en tres réplicas. Se presentan los resultados de extensibilidad, densidad y caracterización organoléptica mediante la escala de Likert.

Formula	Imagen	Color:	Opacidad:	Viscosidad	pH	Densidad (g/mL)	Extensibilidad (cm)			
							Pesa agregada			
							226 g	426 g	726 g	1126 g
F16M3.1		+	+	++	5.55	1.01	4	4.5	5.1	5.6
F16M3.1-1			+	++	5.55	1.01	4	4.3	5	5.5

F16M3.1-2		+	+	++	5.56	1.01	4	4.4	5.1	5.5
F16M3.1-3		+	+	++	5.55	1.01	3.9	4.3	4.9	5.4
Abreviaturas: Color: Cristalino/incoloro: + verde oscuro: +++++; Opacidad: Transparente + Totalmente translúcido: +++++ y Viscosidad: Poco viscoso: + Muy viscoso: +++++										

6.2.2. Análisis de resultados Etapa 2. Hidrogel:

Identificación de la formulación más atractiva.

De acuerdo con la encuesta aplicada a los participantes, más de la mitad seleccionaron como preferido el color del hidrogel obtenido mediante el método 4 de extracción acuosa de chilacayote, al presentar una tonalidad más clara y visualmente agradable en comparación con las demás formulaciones. Sin embargo, para el desarrollo final de los hidrogeles se eligió el método 3.1, debido a que, aunque el color del extracto fue prácticamente idéntico al del método 4, su rendimiento fue el doble, representando una ventaja significativa en términos de eficiencia del proceso y aprovechamiento del material vegetal. En cuanto a la sensación al tacto (viscosidad), la formulación F2M6 (con 1.25% de carbómero) fue la mejor valorada por los participantes, seguida por la F1M6 (con 2% de carbómero), como se muestra en la Figura 1. Estos resultados evidencian que una menor concentración de carbómero favorece una textura más ligera y agradable al tacto, características deseables en productos cosméticos de aplicación tópica.

Caracterización de los hidrogeles.

El análisis comparativo de la Tabla 13 permitió identificar las propiedades organolépticas y fisicoquímicas más favorables para seleccionar la formulación con mayor estabilidad y extensibilidad. Según los resultados mostrados en la Figura 2, cuatro de las nueve formulaciones evaluadas —F10M3.1, F11M3.1, F16M3.1 y F13M3.1— alcanzaron

valores máximos de extensibilidad de 5.7, 5.7, 5.6 y 5.5 cm, respectivamente. Estos valores se encuentran dentro del rango óptimo reportado para geles (5–7 cm) (Aesaiw, 2019), lo que indica una adecuada consistencia y facilidad de aplicación. Por el contrario, las formulaciones F15M3.1, F17M3.1 y F18M3.1 no alcanzaron dicho rango, atribuible a la mayor concentración de carbómero, que incrementó la rigidez de la matriz polimérica y redujo su capacidad de extensión. De acuerdo con Pârvănescu et al. (2025), la densidad de un gel compacto debe encontrarse en el rango de 0.99 ± 0.03 g/mL, valor dentro del cual se ubicaron todas las formulaciones analizadas, confirmando su consistencia estructural. Asimismo, el pH fue ajustado para mantenerse dentro del intervalo recomendado para formulaciones tópicas (4.0–5.9) (Lukić & Pantelić, 2021), asegurando compatibilidad dérmica y estabilidad del producto. En cuanto a la coloración, se observó que esta varió proporcionalmente con la cantidad de extracto incorporado. Las formulaciones F14M3.1, F16M3.1 y F18M3.1 presentaron tonalidades más claras, resultando visualmente más atractivas y adecuadas para fines de comercialización. Considerando en conjunto los resultados de densidad, color y extensibilidad, la formulación F16M3.1 se seleccionó como óptima para su replicación.

Triplicado del hidrogel con la formulación óptima.

Las tres réplicas elaboradas a partir de la formulación F16M3.1 mostraron características organolépticas consistentes con la formulación base, manteniendo una apariencia uniforme en color, opacidad y viscosidad, lo que demuestra una adecuada reproducibilidad del proceso. Para la comparación del factor de extensibilidad, se realizó un ANOVA de una vía, obteniéndose un valor de $F = 0.035$ y $p = 0.966$. Dado que $p > 0.05$, no se detectaron diferencias significativas entre las réplicas, confirmando la homogeneidad de los resultados y la estabilidad del método de preparación. Asimismo, la densidad se mantuvo constante entre las tres formulaciones, y el pH se ajustó a 5.5 mediante trietanolamina, valor idóneo para asegurar la compatibilidad cutánea del producto.

6.2.3. Conclusiones Etapa 2. Hidrogel de chilacayote:

Los resultados obtenidos en el triplicado de la formulación F16M3.1 confirman su reproducibilidad y estabilidad dentro del proceso de elaboración del hidrogel. Las tres réplicas presentaron características organolépticas consistentes, manteniendo uniformidad en color, opacidad y viscosidad. El análisis estadístico (ANOVA de una vía) evidenció que no existen diferencias significativas ($p = 0.966$) en el parámetro de

extensibilidad entre las réplicas, lo que valida la homogeneidad del proceso de formulación. En conjunto, estos resultados demuestran que la formulación F16M3.1 presenta un desempeño estable, reproducible y adecuado para su aplicación cosmética, constituyéndose como una base confiable para el desarrollo y escalado de hidrogeles con extracto acuoso de chilacayote.

6.3. Etapa 3. Loción en crema de chilacayote.

6.3.1. Resultados Etapa 3. Loción en crema de chilacayote:

Caracterización de las lociones.

La Tabla 15 presenta los resultados obtenidos en la caracterización de las lociones desarrolladas. Se evaluaron los parámetros fisicoquímicos y sensoriales más relevantes para la selección de la formulación adecuada, considerando: extensibilidad, densidad, viscosidad, pH, color y estabilidad mediante centrifugación.

Tabla 15.

Caracterización de lociones. Caracterización de las trece formulaciones, describiendo densidad, extensibilidad, color, HLB, pH, viscosidad y la estabilidad resultante de la prueba de centrifuga.

Formulación	Color	pH	HLB	Prueba de centrifuga	Viscosidad (Cp)	Densidad (g/mL)	Extensibilidad (cm)			
							Pesa agregada			
							226 g	426 g	726 g	1126g
FL1	+++++	NR*	5.57	+++++	NR*	NR*	NR*	NR*	NR*	NR*
FL2	+++++	NR*	5.14	+++++	NR*	NR*	NR*	NR*	NR*	NR*
FL3	++++	NR*	6.0	+++++	NR*	NR*	NR*	NR*	NR*	NR*
FL4	+++	NR*	5.57	++++	NR*	NR*	NR*	NR*	NR*	NR*
FL5	+++	NR*	5.57	+++	NR*	NR*	NR*	NR*	NR*	NR*
FL6	+++	5.55	7.55	++	NR*	NR*	NR*	NR*	NR*	NR*

FL7	++	5.20	5.21	++	NR*	NR*	NR*	NR*	NR*	NR*
FL8	+	5.01	5.8	++	1549	NR*	NR*	NR*	NR*	NR*
FL9	+	5.32	6.2	++	1000	1.00	8.7	9.9	12.5	14.5
FL10	+	5.33	5.2	+	3160	0.92	6	7.6	9	10.1
FL11	+	5.50	6.1	++	1000	1.00	7	9.3	11	12.5
FL12	+	5.53	5.4	+	1340	0.95	6.1	8.5	9.6	11.2
FL13	+	5.39	5.9	+	1760	0.95	6.2	8	9.3	10.5

Abreviaturas: **Color:** Blanco: + Amarilla +++++; **pH (4.0–5.9); Viscosidad (1000–5000 cP); Densidad (0.9 – 1.05 g/mL) y Prueba de centrifuga:** Mínima separación: + Separación total +++++

NR* No se realizó la prueba en la formulación establecida.

Cabe destacar que, debido a la priorización metodológica, no fue posible realizar ciertas pruebas en las primeras formulaciones (FL1 a FL8), ya que estas representaban únicamente un primer acercamiento exploratorio al desarrollo de lociones. Sin embargo, los parámetros evaluados en las formulaciones posteriores (FL9 a FL13) aportaron información suficiente y confiable para identificar la opción más prometedora, garantizando así una base sólida para su selección y optimización futura. La Figura 3 muestra la variación de los resultados de extensibilidad obtenidos en cuatro formulaciones diferentes.

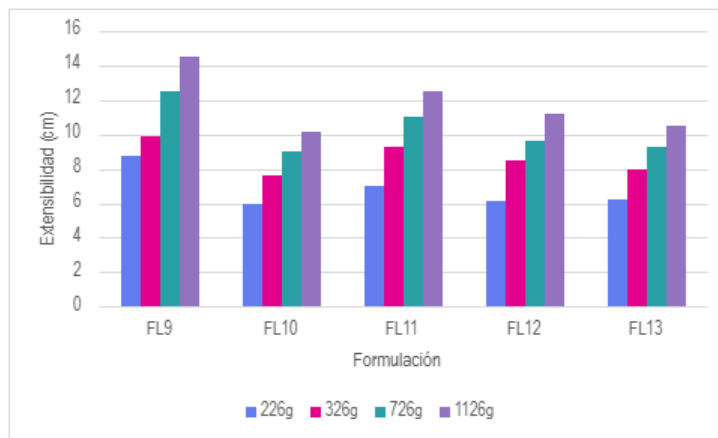


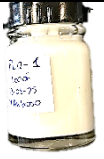


Figura 3. Comparación de la extensibilidad. Resultados de extensibilidad en las cinco lociones utilizando cuatro pesos diferentes 226, 326, 726 y 1126 g.

Triplicado de la loción con la formulación óptima.

La tabla 16 evidencia los resultados obtenidos de coloración, pH, viscosidad, densidad, extensibilidad y estabilidad por centrifuga al replicar la formulación FL12 de la loción.

Tabla 16.

Evaluación de la formulación FL12 en tres réplicas. Se presentan los resultados de extensibilidad, densidad, pH, viscosidad y prueba de estabilidad con centrifuga.

Formulación	Imagen	Color	pH	Prueba de centrifuga	Viscosidad (Cp)	Densidad (g/mL)	Extensibilidad (cm)			
							Pesa agregada			
							226 g	426 g	726 g	1126 g
FL12-1		+	5.35	+	1240	0.94	6	8.5	9.6	11.2
FL12-2		+	5.36	+	1380	0.95	6.1	8.2	9.8	11.2
FL12-3		+	5.37	+	1200	0.95	6.4	8.7	10	11.3

Abreviaturas: **Color:** Blanco: + Amarilla +++++; **pH** (4.0–5.9); **Viscosidad** (1000–5000 cP); **Densidad** (0.9 – 1.05 g/mL) y **Prueba de centrifuga:** Mínima separación: + Separación total +++++

6.3.2. Análisis de resultados de la etapa 3. Loción en crema de chilacayote:

Caracterización de las lociones.

Todas las formulaciones evaluadas presentaron valores de pH dentro del rango recomendado para cosméticos tópicos (4.0–5.9), garantizando su compatibilidad dérmica y seguridad para el consumidor. La prueba de centrifugación fue determinante para evaluar la estabilidad física de las lociones, ya que permite identificar la tendencia de las partículas a sedimentar o flotar según su densidad relativa respecto al medio de

dispersión (Smith & Mitchell, 1976). De acuerdo con los resultados, las formulaciones FL10, FL12 y FL13 mostraron la mayor estabilidad, presentando mínima separación de fases tras la centrifugación, lo que refleja una cohesión interna adecuada y menor riesgo de inestabilidad durante el almacenamiento. En cuanto a la viscosidad, los valores obtenidos se mantuvieron dentro del rango establecido para lociones y cremas fluidas (1000–5000 cP) (Maru & Lahoti, 2018). No obstante, las formulaciones FL9 y FL11 se situaron próximas al límite inferior, lo que podría comprometer su consistencia bajo condiciones ambientales variables. Por el contrario, las formulaciones FL10, FL12 y FL13 mantuvieron viscosidades óptimas, ofreciendo mayor confiabilidad en su comportamiento físico y sensorial.

Respecto a la extensibilidad, parámetro esencial para la aplicación y sensación al tacto, la Figura 3 muestra que las lociones FL9 y FL11 alcanzaron valores dentro del rango recomendado (5.48–15.8 cm) (Puac Ixcamparic, 2017), evidenciando un buen desempeño en cuanto a facilidad de aplicación. Sin embargo, debido a sus menores viscosidades, estas formulaciones fueron descartadas para la replicación. En conjunto, la formulación FL12 destacó como la más prometedora, al combinar estabilidad física, viscosidad adecuada, pH compatible y buena extensibilidad, condiciones que la hacen ideal para su optimización y desarrollo final.

Triplicado de la loción con la formulación óptima.

Los resultados obtenidos del triplicado de la formulación FL12 confirmaron su consistencia y reproducibilidad. Los valores promedio de extensibilidad oscilaron entre 8.82 y 9.1 cm, con varianzas bajas, indicando una buena uniformidad entre las réplicas (véase Tabla 16). El análisis estadístico mediante ANOVA de un factor arrojó un valor de $F = 0.0216$ y $p = 0.9786$, superiores al nivel de significancia convencional ($p < 0.05$). Esto demuestra que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos comparados, por lo que las variaciones observadas pueden atribuirse al azar. De manera complementaria, los parámetros de viscosidad, densidad, estabilidad por centrifugación y color se mantuvieron constantes entre las tres réplicas, lo que refleja una adecuada reproducibilidad del proceso de elaboración y confirma la homogeneidad entre lotes, garantizando la estabilidad y calidad del producto final.

6.4.1. Conclusión de la etapa 3. Loción en crema de chilacayote:

La formulación FL12 se consolidó como la opción óptima para el desarrollo de la loción a base de extracto acuoso de chilacayote, al reunir las propiedades fisicoquímicas y

sensoriales más equilibradas entre todas las variantes evaluadas. Esta formulación presentó pH adecuado (4–5.9), viscosidad estable, alta cohesión interna y una extensibilidad ideal (≈ 9 cm), factores que aseguran su compatibilidad dérmica, estabilidad física y facilidad de aplicación. El análisis estadístico de las réplicas ($p = 0.9786$) confirmó la reproducibilidad y consistencia del proceso, demostrando que la loción mantiene sus características en diferentes lotes de producción. En conjunto, estos resultados respaldan a la formulación FL12 como una base confiable y técnicamente sólida para su optimización y futura escalabilidad en el desarrollo de productos cosméticos naturales.

6.4. Etapa 4. Pruebas de estabilidad de los cosméticos con extracto acuoso de chilacayote.


6.4.1. Resultados Etapa 4. Pruebas de estabilidad de los cosméticos con extracto de chilacayote:

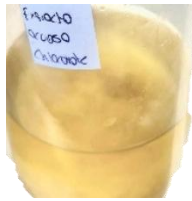

1. Resultados de las pruebas de estabilidad del extracto acuoso de chilacayote método 3.1:

El extracto acuoso fue evaluado a partir de su caracterización inicial de apariencia, la cual se contrastó con la observada tras el periodo de estabilidad en dos condiciones de almacenamiento: exposición continua a la luz solar y oscuridad, ambas a temperatura ambiente (Tabla 17). Adicionalmente, se determinaron parámetros organolépticos de calidad, como color, pH y olor, con el propósito de identificar posibles variaciones asociadas a las condiciones de conservación.

Tabla 17.

Estabilidad del extracto acuoso. Resultados obtenidos para el extracto de chilacayote tras el periodo de estabilidad con exposición a la luz solar y en oscuridad, en comparación con los valores registrados previamente.

Periodo	Color/Apariencia	Olor	pH (4.0–5.9)	Imagen
Antes de estabilidad	Transparente con una coloración medianamente verde	Suave, agradable y poco perceptible a chilacayote	5.70	


Después de estabilidad en oscuridad	Transparente, con ligera turbidez blanca en el fondo y tonalidad amarillenta oscura.	Medianamente ácido, con baja presencia de olor a chilacayote oxidado.	5.43	
Después de estabilidad en el sol	Transparente, con precipitados negros y coloración café tenue.	Medianamente ácido, altamente perceptible a chilacayote oxidado.	5.39	












2. Resultados de las pruebas de estabilidad en los hidrogeles con chilacayote:











Las diferentes formulaciones de los hidrogeles fueron sometidas a un estudio de estabilidad. Tras este periodo, se realizó su caracterización los parámetros analizados incluyeron pH, extensibilidad, densidad y propiedades organolépticas como color, opacidad y homogeneidad (Tabla 18).



Tabla 18.

Estabilidad de hidrogeles. Resultados obtenidos en los hidrogeles tras el periodo de estabilidad en oscuridad y en exposición de luz solar

Periodo	Fórmula	pH	Extensibilidad (cm)				Densidad (g/mL)	Color:	Opacidad:	Viscosidad	Imagen
			Pesa agregada								
			2	4	7	1					
			2	2	2	1					
			6	6	6	2					
			g	g	g	6					
						g					
Después de estabilidad	F10M3.1	5.50	4.3	4.6	5.1	5.7	0.940	+++	++	++	

con exposición a luz solar	F11M3. 1	5.4 1	4	4.6	5.1	5.6	0.977	++++	++++	+++	
	F12M3. 1	5.3 5	4.2	4.8	5.3	5.7	1.014	++	+++	+++	
	F13M3. 1	5.4 2	4	4.5	4.9	5.5	1.00	++	+++	+++	
	F14M3. 1	5.4 5	4.1	4.6	5.2	5.8	0.934	++	+	++	
	F15M3. 1	5.5 3	4	4	5	5.6	0.930	++	+++	+++	
	F16M3. 1	5.5 3	4.3	5	5.7	6	0.982	+	+++	++	
	F17M3. 1	5.4 2	3.6	4	4.5	5	0.972	+++++	+++++	++++	
	F18M3. 1	5.0 8	3.8	4.3	4.9	5.5	0.962	+	+	++++	
	F16M3.1 -1	5.5 2	4.2	4.8	5.5	6	0.999	+	+++	++	
	F16M3.1 -2	5.5 3	4.4	5	5.7	6	0.994	+	+++	++	
	F16M3.1 -3	5.5 3	4.3	5	5.6	6	0.989	+	+++	++	

Después de estabilidad en oscuridad	F10M3.1	5.50	4.2	4.4	5.5	5.7	0.955	+++	++	++	
	F11M3.1	5.44	4.1	4.7	5.3	5.9	0.965	++++	++++	+++	
	F12M3.1	5.34	4.6	4.8	5.4	5.7	1.01	++	+++	+++	
	F13M3.1	5.46	4	4.5	5	5.7	1.01	++	+++	+++	
	F14M3.1	5.49	4	4.5	5	5.3	0.945	++	+	++	
	F15M3.1	5.53	3.9	4.2	5	5.3	0.990	++	+++	+++	
	F16M3.1	5.55	4.3	4.9	5.4	6.1	0.972	+	+++	++	
	F17M3.1	5.46	3.8	4.2	4.8	5.2	0.942	+++++	+++++	++++	
	F18M3.1	5.05	3.7	4.2	4.6	5	0.952	+	+	++++	
	F16M3.1-1	5.53	4.3	4.7	5.4	5.9	1.00	+	++	++	

F16M3.1 -2	5.5 3	4.3	4.9	5.5	6.1	0.999	+	++	++	
F16M3.1 -3	5.5 3	4.3	4.9	5.4	5.8	0.988	+	++	++	
Abreviaturas: Color: Cristalino/incoloro: + verde oscuro: +++++; Opacidad: Transparente + Totalmente translúcido: +++++ y Viscosidad: Poco viscoso: + Muy viscoso: +++++										

La Figura 4 muestra la variación de los resultados de pH obtenidos antes y después del periodo de estabildades en oscuridad y en exposición de luz solar.

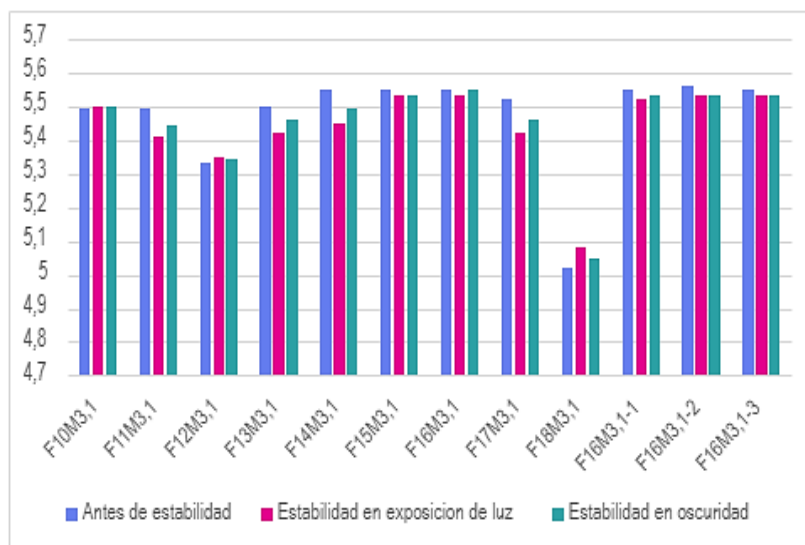


Figura 4. Comparación del pH en los hidrogeles. Variación del pH en los hidrogeles antes y después del periodo de estabilidad.

La Figura 5 muestra la variación de los resultados de extensibilidad obtenidos utilizando las pesas de 226 y 1126 g antes y después del periodo de estabildades en oscuridad y en exposición de luz solar.

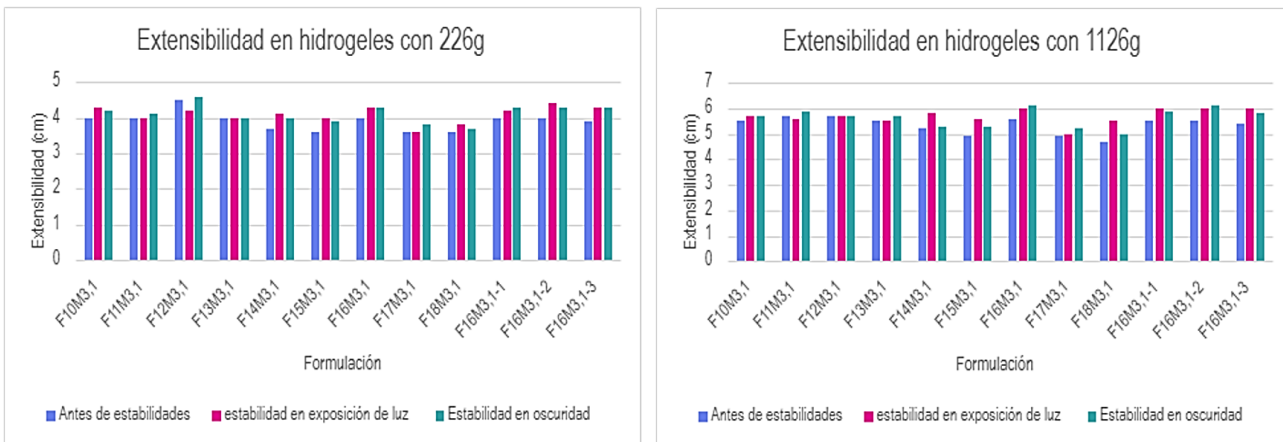


Figura 5. Comparación de extensibilidad en hidrogeles. Variación de la extensibilidad en las lociones antes y después del periodo de estabilidad.

Para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas en los resultados de la prueba de extensibilidad se llevó a cabo una prueba t de Student para muestras pareadas, comparando los valores de extensibilidad obtenidos antes y después del periodo de estabilidad, cuyos resultados se presentan en la Tabla 19.

Tabla 19.

t de Student de extensibilidad en hidrogeles. Prueba de t de Student para muestras pareadas utilizando los datos antes y después de la estabilidad en oscuridad y en exposición a luz solar.







Periodo	Valor	Pesas agregadas para la prueba de extensibilidad			
		226g	426g	726g	1126g
Estabilidad en exposición a luz solar	t	-2.97	-3.19	-4.26	-4.06
	p-valor	0.013	0.009	0.0013	0.0019
Estabilidad en oscuridad	t	-6.29	-3.58	-7.48	-6.09
	p-valor	< 0.001	0.0043	< 0.001	< 0.001









3. Resultados de las pruebas de estabilidad en las lociones en crema de chilacayote:

Tras el periodo de estabilidad en las lociones, se realizó la caracterización de las formulaciones, los parámetros analizados incluyeron pH, extensibilidad, densidad y propiedades organolépticas como el color (Tabla 20).

Tabla 20.

Estabilidad de lociones. Resultados obtenidos en las lociones tras el periodo de estabilidad en oscuridad y en exposición de luz solar.

Periodo	Fórmula	pH	Extensibilidad (cm)				Densidad (g/mL)	Color	Imagen
			Pesa agregada						
			2	4	7	1			
			2	4	7	1	Blanco: +		
			2	2	2	1			
			6	6	6	2	Amarilla		
			g	g	g	6	+++++		
						g			
Después de estabilidad con exposición a luz solar	FL10	5.25	5.8	7.2	9	9.9	0.983	+	
	FL11	5.30	7	9	10.8	12	0.993	+	
	FL12	5.27	6	8.2	9.1	11	1.0	+	
	FL13	5.21	6.1	7.7	8.9	10.5	1.0	+	
	FL12-1	5.31	5.9	8.1	9.2	10.9	0.984	+	
	FL12-2	5.29	6	8	9.5	11	0.987	+	

	FL12-3	5.31	6.1	8.4	9.6	11.1	0.990	+	
Después de estabilidad en oscuridad	FL10	5.27	5.8	7.6	9	10	0.993	+	
	FL11	5.33	6.9	9	10.7	12.4	0.994	+	
	FL12	5.29	6	8.5	9.2	11.3	1.0	+	
	FL13	5.23	6.3	7.8	9	10.5	1.0	+	
	FL12-1	5.31	5.9	9.4	9.5	11	0.989	+	
	FL12-2	5.33	6	8.2	9.6	11	0.985	+	
	FL12-3	5.32	6.2	8.5	9.8	11	0.992	+	
	Abreviaturas: Color: Blanco: + Amarilla +++++; pH (4.0–5.9); Viscosidad (1000–5000 cP); Densidad (0.9 – 1.05 g/mL) y Prueba de centrifuga: Mínima separación: + Separación total +++++								

La prueba de viscosidad no se pudo realizar debido a la cantidad limitada de muestra disponible en los frascos de estabilidad. No obstante, al considerar los resultados de extensibilidad y densidad, es posible obtener una idea del comportamiento del producto. La figura 6 ilustra la variabilidad de los resultados del pH antes y después de estabilidades en las dos condiciones, en oscuridad y con exposición a la luz solar.

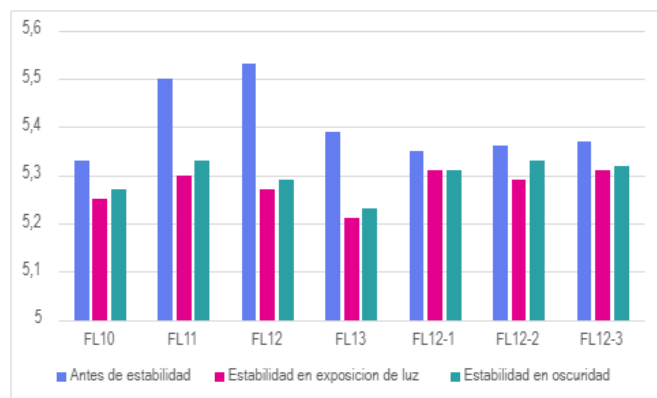


Figura 6. Comparación del pH en las lociones. Variación del pH en las lociones antes y después del periodo de estabilidad.

La Figura 7 ilustra las diferencias obtenidas en los resultados de extensibilidad utilizando el mínimo y máximo peso en las lociones antes y después del periodo de estabilidad en ambas condiciones

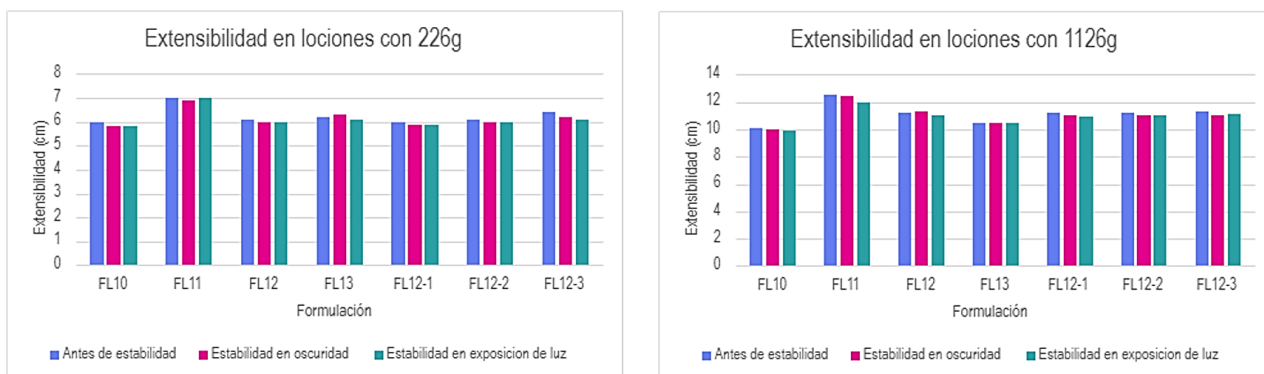


Figura 7. Resultados de extensibilidad. Comparación de los resultados antes y después de la estabilidad en la prueba de extensibilidad con el mínimo y máximo peso utilizados.

Para analizar estadísticamente los resultados de extensibilidad, se realizó una prueba t de Student para muestras pareadas, comparando los resultados de extensibilidad obtenidos antes y después del periodo de estabilidad, lo que permitió evaluar si las variaciones observadas eran significativas, los resultados se muestran en la tabla 21.

Tabla 21.

Prueba t de Student de extensibilidad en lociones. Prueba de t de Student para muestras pareadas utilizando los datos antes y después de la estabilidad en oscuridad y en exposición a luz solar.

Periodo	Valor	Pesas agregadas para la prueba de extensibilidad			
		226g	426g	726g	1126g
Estabilidad en exposición a luz solar	t	1.605	1.567	1.605	0.938
	p-valor	0.1596	0.1681	0.1597	0.3846
Estabilidad en oscuridad	t	1.307	0.087	1.067	0.480
	p-valor	0.2392	0.9338	0.3271	0.6483

6.4.2. Análisis de resultados Etapa 4. Pruebas de estabilidad de los cosméticos con extracto de chilacayote:

1. Análisis de resultados de las pruebas de estabilidad del extracto acuoso de chilacayote método 3.1:

Tras 30 días de exposición, el extracto acuoso mostró un oscurecimiento más marcado cuando fue expuesto a la luz solar, evidenciando un proceso de oxidación acelerado en comparación con el extracto conservado en oscuridad (Tabla 17). En el extracto almacenado en oscuridad también se observó un cambio de tonalidad, aunque de menor intensidad, manteniendo una coloración más clara. Asimismo, se registró un decremento en el pH en ambos métodos de estabilidad, reflejando alteraciones químicas relacionadas con la exposición ambiental y los procesos naturales de maduración y oxidación del fruto a lo largo del tiempo. Estos resultados coinciden con lo reportado por Bautista Vázquez (2020), quien indica que la coloración y el pH del extracto están directamente asociados al grado de madurez del fruto y a la degradación de compuestos fenólicos y otros metabolitos presentes. En conjunto, estos hallazgos evidencian que el extracto es sensible a la luz y a la oxidación, destacando la necesidad de considerar condiciones de almacenamiento protegidas de la luz y la incorporación de antioxidantes para preservar sus propiedades fisicoquímicas y organolépticas.

2. Análisis de resultados de las pruebas de estabilidad de los hidrogeles de chilacayote:

Durante el periodo de estabilidad, la coloración de los hidrogeles no mostró variaciones significativas en función del tipo de almacenamiento (Tabla 18). Sin embargo, se observó una disminución aproximada de ± 0.3 unidades de pH (Figura 4), que

permanece dentro del rango recomendado para formulaciones tópicas (4.0–5.9), asegurando la seguridad de aplicación (Alejandra & Paola, 2016). La densidad de los hidrogeles se mantuvo estable, dentro del rango establecido (0.99 ± 0.03 g/mL). En cuanto a la extensibilidad, se observó un ligero incremento, más pronunciado en las muestras expuestas a la luz solar (Figura 5), posiblemente asociado a cambios en la red polimérica o pérdida mínima de agua por evaporación. Este comportamiento también se observó en las muestras almacenadas en oscuridad, aunque en menor medida. El ANOVA realizado (Tabla 19) confirmó diferencias significativas ($p < 0.05$) entre el inicio y el final del periodo de estabilidad, indicando que el tiempo de conservación afecta la estructura del hidrogel y su textura, sin que ello comprometa la funcionalidad del producto, ya que todos los valores se mantienen dentro del rango máximo de extensibilidad reportado para geles (5–7 cm) (Aesaiw, 2019).

3. Análisis de resultados de las pruebas de estabilidad en las lociones en crema de chilacayote:

Durante el periodo de almacenamiento, no se observaron cambios significativos en la coloración de las lociones, tanto en las expuestas a luz solar como en las mantenidas en oscuridad (Tabla 20). Esto indica que la oxidación del extracto acuoso de chilacayote no afectó la apariencia visual del producto, permitiendo enfocar la evaluación en parámetros críticos como pH y extensibilidad. Se encontró un decremento del pH de un valor ± 0.3 unidades en ambas condiciones de estabilidad (Figura 6), sin embargo, todas las lociones se encuentran dentro del rango recomendado para formulaciones tópicas (4–5.9). Este decremento de pH se debe a la oxidación del extracto acuoso del chilacayote, según Bautista Vazquez, (2020), la variación del pH y coloración son consecuencias de la maduración del fruto. La extensibilidad de las lociones se mantuvo muy cercana a los valores iniciales (Figura 7), dentro del rango óptimo para este tipo de producto (5.48–15.8 cm) (Puac Ixcamparic, 2017), lo cual indica que las formulaciones mantienen una adecuada capacidad de extensión sobre la superficie cutánea. Los resultados obtenidos de la prueba *t* de Student para muestras pareadas (Tabla 21), muestra que, tanto en las muestras sometidas a luz solar como en las mantenidas en oscuridad, los valores de *p* son mayores a 0.05, lo que indica que no existen diferencias estadísticamente significativas en la extensibilidad antes y después del periodo de estabilidad. Es por lo que, aunque se observaron ligeras variaciones en los valores de *t*, estas no representan cambios relevantes en el comportamiento del extracto bajo las

condiciones evaluadas, lo que sugiere que la estabilidad del producto se mantiene de forma consistente tanto en exposición a la luz como en oscuridad.

6.4.3. Conclusiones Etapa 4. Pruebas de estabilidad en los cosméticos con chilacayote:

1. Conclusión de las pruebas de estabilidad del extracto acuoso de chilacayote método 3.1:

El extracto acuoso de chilacayote obtenido mediante el método 3.1 presenta sensibilidad significativa a la luz y a la oxidación, afectando su color y pH. Para mantener la estabilidad del extracto a lo largo del tiempo, es necesario implementar estrategias de protección lumínica y antioxidantes, garantizando la preservación de sus propiedades fisicoquímicas y organolépticas.

2. Conclusión de las pruebas de estabilidad en los hidrogeles de chilacayote:

Los hidrogeles a base de extracto de chilacayote presentan estabilidad adecuada en color, densidad y pH durante 30 días, aunque la extensibilidad muestra variaciones significativas debido a reajustes en la red polimérica y posibles pérdidas de agua. A pesar de ello, las propiedades funcionales y sensoriales del hidrogel se mantienen dentro de los rangos aceptables, asegurando su aplicabilidad.

3. Conclusión de las pruebas de estabilidad en las lociones en crema de chilacayote:

Las lociones formuladas con extracto acuoso de chilacayote presentan alta estabilidad en color, pH y extensibilidad tras 30 días de almacenamiento, tanto a la luz como en oscuridad. Esto indica que la formulación es robusta y mantiene sus propiedades sensoriales y funcionales, asegurando consistencia y calidad durante el periodo evaluado.

7. RECOMENDACIONES:

7.1. Recomendaciones de la etapa 1. Extracto acuoso de chilacayote:

Para la obtención del extracto se recomienda emplear métodos de extracción rápidos y eficientes, ya que los periodos prolongados de manipulación, clarificación o reposo favorecen la oxidación, provocando oscurecimiento y disminuyendo su atractivo para

aplicaciones cosméticas. Asimismo, se sugiere minimizar la exposición a la luz durante el proceso, a fin de evitar la aceleración de la oxidación, y la pérdida de las características organolépticas propias del chilacayote. Finalmente, para su adecuada conservación, el extracto debe almacenarse en frasco ámbar dentro del congelador.

7.2. Recomendaciones de la etapa 2. Hidrogel de chilacayote:

Durante la elaboración del hidrogel se utilizó una propela de hélice, eficaz para la dispersión y homogeneización, aunque con la desventaja de incorporar aire durante la hidratación del carbómero, generando burbujas que afectan la apariencia final; por ello, se recomienda emplear una propela que reduzca esta incorporación o, en su defecto, eliminar las burbujas mediante un baño sónico. Asimismo, el hidrogel debe envasarse en recipientes translúcidos o ámbar para protegerlo de la luz y prevenir la oxidación del extracto de chilacayote, además de trabajar con agitación moderada para no alterar la viscosidad y mantener un rango de pH ligeramente ácido (4.0–5.9), que favorezca la estabilidad del gel y compatibilidad con la piel.

7.3. Recomendaciones de la etapa 3. Loción en crema de chilacayote:

Durante la elaboración de la loción es esencial mantener las temperaturas indicadas para cada fase, evitando que la fase acuosa supere los 55°C, ya que el extracto de chilacayote contiene antioxidantes (carotenoides, ácido ascórbico, fenoles y flavonoides) que comienzan a degradarse a partir de los 60°C, reduciendo la eficacia de la formulación. Asimismo, no se recomienda el uso de baños de hielo tras la emulsificación, pues el monoestearato de glicerilo tiende a solidificarse rápidamente y altera las propiedades reológicas del sistema; lo ideal es un enfriamiento gradual a temperatura ambiente para conservar la fluidez y estabilidad. Adicionalmente, se recomienda trabajar bajo agitación moderada para evitar la incorporación de aire y producción de espuma, proteger la mezcla de la luz para preservar los antioxidantes y apariencia blanquecina, y ajustar el pH final en un rango ligeramente ácido (4.0–5.9) para garantizar la seguridad de aplicación y compatibilidad con la piel.

7.4. Recomendaciones de la etapa 4. Pruebas de estabilidad en los cosméticos de chilacayote:

Aunque el control de factores climáticos como humedad relativa y temperatura resulta difícil de mantener de manera constante durante las pruebas de estabilidad sin un

equipo especializado, estas evaluaciones proporcionan información valiosa sobre el comportamiento inicial del producto a lo largo de un mes. Para futuras optimizaciones, se recomienda implementar un control más estricto de las condiciones de almacenamiento, siguiendo lo establecido en la NOM-073-SSA1-2015 para estudios de estabilidad acelerada o a largo plazo. Además, se sugiere realizar pruebas de estabilidad utilizando envases ámbar o translúcidos, con el fin de minimizar los efectos de la radiación solar y proteger la integridad del extracto de chilacayote y del hidrogel o lociones en general. Estos ajustes permitirán obtener datos más confiables sobre la conservación de las propiedades físicas, químicas y organolépticas del producto, facilitando la optimización de la formulación y garantizando una mayor estabilidad y calidad durante su vida útil.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- Aesaiw, O. (2019, abril 1). Formulación y determinación del factor de protección solar (FPS) de protectores solares en gel que contienen galato de epigallocatequina (EGCG) mediante el método espectrofotométrico. <https://doi.org/10.30994/sjp.v1i1.123>
- Bautista Vazquez, R. (2020, noviembre). Análisis físicoquímico y evaluación de compuestos bioactivos en extractos de chilacayote (*Cucúrbita ficifolia* Bouché). https://rinacional.tecnm.mx/bitstream/TecNM/3680/1/TESIS_RAFAEL%20BV.pdf
- Lukic, M., & Pantelic, I. (2021, agosto 4). Hacia un pH óptimo de la piel y formulaciones tópicas: Del estado actual del arte a productos a medida. <https://doi.org/10.3390/cosmetics8030069>
- Maru, A. D., & Lahoti, S. R. (2018). Formulation and evaluation of moisturizing cream containing sunflower wax. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 54–59. <https://doi.org/10.22159/ijpps.2018v10i11.28645>
- Pârvănescu, R., Ozon, E. A., Trandafirescu, C., & Musuc, A. M. (2025, julio 9). Evaluación físicoquímica y farmacotécnica comparativa de tres formulaciones tópicas de gel-crema. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12295134/>

- Puac Ixcamparic, J. M. (2017). Evaluación de la formulación de una loción y una crema gel de aplicación tópica a base del biopolímero del quitosano obtenido del desecho del exoesqueleto del camarón cultivado (*Litopenaeus vannamei*).
- Rowe, R. C., Sheskey, P. J., & Quinn, M. E. (Eds.). (2012). Handbook of pharmaceutical excipients (6th ed.). Pharmaceutical Press / American Pharmacists Association.
- Smith, A. L., & Mitchell, D. P. (1976). La técnica de centrifuga en el estudio de la estabilidad de las emulsiones. En A. L. Smith (Ed.), Theory and Practice of Emulsion Technology (pp. 61–74). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-651250-2.50009-0>
- Soto Figueroa, C. (1994). Monografía de métodos de cálculo HLB para agentes emulsificantes. Universidad Nacional Autónoma de México
<https://ru.dgb.unam.mx/server/api/core/bitstreams/2910315d-3f32-430c-9f53-e89b7744a629/content>
- Alejandra, M. Z. C., & Paola, M. R. L. (2016). *Propuesta documental para la ejecución de pruebas de calidad con miras a establecer estabilidad cosmética*. 11–30.
- Lukic, M., & Pantelic, I. (2021, agosto 4). *Hacia un pH óptimo de la piel y formulaciones tópicas: del estado actual del arte a productos a medida*.
<https://doi.org/10.3390/cosmetics8030069>
- Molina, J. F. A., & Palma, G. B. A. (2018). *Caracterización físico-química del zambo (Cucúrbita ficifolia B.) y la elaboración de dos productos a partir de la pulpa*.
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1653/1/CD-1869.pdf>
- Moya Hernández, A. (2020). Caracterización física, química y fisiológica de frutos de Cucurbita ficifolia Bouché (chilacayote) durante su crecimiento y desarrollo, asociada a su capacidad hipoglucemiante (pp. 9–20) [Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa]. <https://doi.org/10.24275/uami.sf268532d>