



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ingeniería

Campus Conca



**“Elaboración de bebidas a partir de hierbabuena (*Mentha spicata*) y té limón (*Cymbopogon citratus*) adicionadas con microcápsulas de curcumina”**

**Tesis**

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Ingeniera Agroindustrial

**Presenta:**

María del Rosario Martínez Martínez

**Dirigido por:**

M. en C. Alma Rosa Martínez Ramos

Conca, Arroyo Seco, Qro.

Mayo, 2023.



Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales  
de Información



Elaboración de bebidas a partir de hierbabuena  
(*Mentha spicata*) y té limón (*Cymbopogon citratus*)  
adicionadas con microcápsulas de curcumina

**por**

María del Rosario Martínez Martínez

se distribuye bajo una [Licencia Creative Commons  
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0  
Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

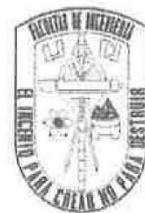
**Clave RI:** IGLIN-257451



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ingeniería

Campus Concá



**“Elaboración de bebidas a partir de hierbabuena (*Mentha spicata*) y té limón (*Cymbopogon citratus*) adicionadas con microcápsulas de curcumina”**

**Tesis**

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

**Ingeniera Agroindustrial**

**Presenta:**

María del Rosario Martínez Martínez

**Dirigido por:**

M. en C. Alma Rosa Martínez Ramos

**M. en C. Alma Rosa Martínez Ramos**

Director

**Dra. Lucía Abadía García**

Sinodal

**M. en C Adán Mercado Luna**

Sinodal

**Dr. Guillermo Abraham Peña Herrejón**

Sinodal

  
Firma

  
Firma

  
Firma

  
Firma

Concá, Arroyo Seco, Qro.

Mayo, 2023.

## RESUMEN

Las plantas como la cúrcuma (*Curcuma longa*), hierbabuena (*Mentha spicata*) y té limón (*Cymbopogon citratus*) tienen una gran diversidad de compuestos bioactivos de gran interés. Sin embargo, estos pueden perder su estabilidad y propiedades por diversos factores. Ante este problema, la microencapsulación es una alternativa eficiente. En este trabajo, se cultivaron 15 plantas de hierbabuena y té limón durante 120 días, posteriormente se recolectaron las hojas, se deshidrataron y se realizaron extractos para la formulación de bebidas. Se determinó el contenido de fenoles totales y la capacidad antioxidante por ABTS (ácido 2,2'-azino-bis-3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) y DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo) de las bebidas. Se realizó la microencapsulación de curcumina grado alimenticio utilizando secado por aspersión en una mezcla de inulina y aislado de proteína de suero de leche (WPI) como materiales de pared. Las microcápsulas generadas se adicionaron a las bebidas formuladas y se realizó una evaluación sensorial con un panel no entrenado compuesto de 80 consumidores. Como resultados, se obtuvo una baja producción de hojas debido a las altas temperaturas en las que se desarrollaron las plantas. Para la hierbabuena y té limón, el contenido de fenoles fue de  $3.95 \pm 0.02$  y  $1.01 \pm 0.07$  mg de ácido gálico AG/L, la actividad antioxidante con el método ABTS de  $14.86 \pm 0.09$  mg trolox/L y  $10.72 \pm 0.04$  mg y para DDPH de  $50.074 \pm 0.04$  y  $82.065 \pm 0.04$ , respectivamente. Se obtuvo un rendimiento de encapsulación de 30.60% para el tratamiento 1 (14 % de Inulina + 6 % WPI) y 32.27% para el tratamiento 2 (14 % de WPI + 6 % de Inulina). La bebida de té limón presentó una aceptación mayor por parte de los evaluadores, donde el 92.5% consumirían la formulación por lo que tiene potencial para continuar con su desarrollo como producto.

**Palabras claves:** Cúrcuma, hierbabuena, té limón, microencapsulación, secado por aspersión, WPI, inulina.

## ABSTRACT

Plants such as turmeric (*Curcuma longa*), peppermint (*Mentha spicata*) and lemon grass (*Cymbopogon citratus*) have a wide diversity of bioactive compounds of great interest. However, these can lose their stability and properties due to various factors. Faced with this problem, microencapsulation is an efficient alternative. In this work, 15 peppermint and lemon grass plants were cultivated for 120 days, then the leaves were collected, dehydrated and extracts were made for the formulation of beverages. Total phenol content and antioxidant capacity were determined by ABTS (2,2'-azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) and DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) of the beverages. Microencapsulation of food grade curcumin was performed using spray drying in a mixture of inulin and whey protein isolate (WPI) as wall materials. The generated microcapsules were added to the formulated drinks and a sensory evaluation was carried out with an untrained panel of 80 consumers. As results, a low leaf production was obtained due to the high temperatures in which the plants developed. For mint and lemon grass, the phenol content was  $3.95 \pm 0.02$  and  $1.01 \pm 0.07$  mg of AG/L gallic acid, the antioxidant activity with the ABTS method was  $14.86 \pm 0.09$  mg trolox/L and  $10.72 \pm 0.04$  mg and for DDPH of  $50.074 \pm 0.04$  and  $82.065 \pm 0.04$ , respectively. An encapsulation yield of 30.60% was obtained for treatment 1 (14% Inulin + 6% WPI) and 32.27% for treatment 2 (14% WPI + 6% Inulin). The lemon grass drink presented a greater acceptance by the evaluators, where 92.5% would consume the formulation, so it has the potential to continue its development as a product.

**Key words:** turmeric, peppermint, lemon grass, microencapsulation, spray drying, WPI, inulin.

## DEDICATORIAS

*Con todo mi amor y cariño a:*

David mi compañero de vida, por tu amor infinito, por motivarme y confiar en mí en mis peores momentos de estrés, a ti gracias por todo, ya que sin tu apoyo incondicional mucho de esto no sería posible.

A mis hermanos: Marco, por aconsejarme, ser un ejemplo de perseverancia y enseñarme que ser sensible no es lo mismo que ser débil. Saúl, por compartir aventuras durante los 4 años que estuvimos en la misma aula, experiencia que nos unió aún más. Ángel, por tu motivación en cada momento y por ayudarme en la etapa de mi evaluación sensorial.

A mi familia Díaz, por acogerme, darme amor y fortaleza a cada momento durante estos años, por enseñarme a encontrar el lado positivo de la vida hasta en las peores circunstancias. En especial a Flor, por enseñarme que algunas veces es necesario salir de la zona de confort para buscar los sueños, que puedo llegar tan lejos como yo me lo proponga, gracias por siempre escucharme dentro o fuera de las sesiones de tutoría y aconsejarme de la mejor manera.

A mis compañeros de generación, con los que conviví por más de 5 años:

- Juanjo, por siempre compartir tus conocimientos explicando los temas no comprendidos, por tus acertados consejos, por ser tan maravilloso conmigo, eres una persona con un gran corazón. Luis, con tus bromas hacías que todo fuera risas, gracias por siempre contagiarnos de tu alegría, eres una persona extraordinaria. Felipe, por tus consejos, tus bromas, por esas palabras para mejorar los ánimos y ser solidario.

Gracias a ustedes por hacer esta etapa de mi vida una experiencia hermosa, por estar a mi lado siempre que lo necesité, por regañarme, pero también aconsejarme, por siempre tener palabras para mejorar mi ánimo, gracias por enseñarme que en poco tiempo nos convertimos en una pequeña familia Agroindustrial.

## AGRADECIMIENTOS

*A Dios, por darme fortaleza, sabiduría y paciencia.*

A la Universidad Autónoma de Querétaro (Campus Conzá), mi casa durante 6 años con enseñanza para mi formación como profesional.

Al Posgrado de Alimentos de la Facultad de Química, por permitirme usar sus instalaciones durante una etapa en el desarrollo de la investigación.

- A la Mtra. Alma Rosa Martínez Ramos, por aceptar dirigir mi tesis y ser parte de este gran proyecto, por su apoyo, paciencia y motivación incondicional, por permanecer a mi lado y no soltarme hasta terminar.
- A la Dra. Lucía Abadía García, por sus consejos y enseñanzas que me ayudaron durante mi estancia en el laboratorio; así como también sus observaciones y sugerencias para la mejora del proyecto.
- Al Dr. Guillermo Abraham Peña Herrejón, por su tiempo dedicado a las revisiones, por las observaciones y propuestas para la mejora de este trabajo, por las veces que tuve dudas y con gusto me ayudo a resolverlas.
- Al Mtro. Adán Mercado Luna, por motivarme avanzar en este proyecto, por el tiempo dedicado a revisiones, observaciones y sugerencias para mejorar.

De manera especial les agradezco el apoyo invaluable para la realización y orientación de este trabajo, ya que el resultado final de este documento no sería posible sin sus valiosas aportaciones.

## ÍNDICE

RESUMEN .....	i
ABSTRACT .....	ii
ÍNDICE .....	v
INDICE DE TABLAS .....	vii
INDICE DE FIGURAS .....	viii
I INTRODUCCION .....	1
II REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	2
2.1 Hierbabuena ( <i>Mentha spicata</i> ) .....	2
2.2 Té limón ( <i>Cymbopogon citratus</i> ) .....	4
2.3 Cúrcuma ( <i>Curcuma longa</i> ) .....	6
2.3.1 Curcumina .....	8
2.4 Microencapsulación mediante secado por aspersion.....	9
2.4.1 Materiales de pared para microencapsulación de alimentos .....	12
III OBJETIVOS .....	16
IV HIPOTESIS .....	17
V METODOLOGÍA .....	18
5.1 Producción agrícola de hierbabuena y té limón .....	18
5.2 Deshidratación solar de hojas de hierbabuena y té limón .....	19
5.3 Formulación de las bebidas de hierbabuena y té limón .....	20
5.4 Determinación del contenido de fenoles de las bebidas .....	20
5.5 Determinación de capacidad antioxidante de las bebidas por ABTS .....	21
5.6 Determinación de capacidad antioxidante de las bebidas por DPPH .....	22
5.7 Preparación de emulsiones para la microencapsulación de curcumina ..	23
5.8 Microencapsulación de curcumina .....	25
5.9 Determinación del contenido de humedad y actividad de agua de las microcápsulas .....	25
5.10 Evaluación sensorial de las bebidas adicionadas con las microcápsulas de curcumina .....	26
5.11 Análisis Estadístico .....	27
VI RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	28
6.1 Producción de plantas.....	28
6.2 Deshidratación solar de hojas de hierbabuena y té limón.....	29
6.3 Capacidad antioxidante y contenido de fenoles de las bebidas.....	31

6.4 Rendimiento en la microencapsulación.....	32
6.5 Evaluación sensorial .....	33
VII CONCLUSIONES .....	40
VIII REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	41

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Curva de calibración .....	20
<b>Tabla 2.</b> Curva de trolox para ABTS. ....	21
<b>Tabla 3.</b> Curva de trolox para DPPH.....	23
<b>Tabla 4.</b> Materiales de pared a evaluar.....	24
<b>Tabla 5.</b> Contenido de fenoles y capacidad antioxidante para té limón y hierbabuena .....	31

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Planta de hierbabuena ( <i>Mentha spicata</i> ). A: en condiciones de temperatura adecuadas; B: en condiciones de temperatura altas.....	3
<b>Figura 2.</b> Estructura química del mentol. ....	4
<b>Figura 3.</b> Té limón ( <i>Cymbopogon citratus</i> ).....	5
<b>Figura 4.</b> Estructura química del citral. ....	6
<b>Figura 5.</b> A: Planta de <i>Curcuma longa</i> ; B: rizoma; C: cúrcuma deshidratada. (López-Córdova, et.,al 2017).....	7
<b>Figura 6.</b> Estructura química de la curcumina (González-Albadalejo et al., 2015). .....	8
<b>Figura 7.</b> Microcápsula con material de pared en forma de cápsula, (Hidalgo, 2019). ....	9
<b>Figura 8.</b> Producción de plantas A: té limón ( <i>Cymbopogon citratus</i> ); B: hierbabuena ( <i>Mentha spicata</i> ). ....	18
<b>Figura 9.</b> Deshidratación solar de hojas. A: Té limón; B: Hierbabuena. ....	19
<b>Figura 10.</b> A: Medición hasta obtener peso constante durante el proceso de deshidratación; B: Almacenamiento del material vegetal deshidratado en bolsa ziploc. ....	19
<b>Figura 11.</b> Filtración de bebidas. ....	20
<b>Figura 12.</b> Arreglo de acomodo en placa de microtitulación para la determinación de fenoles.....	21
<b>Figura 13.</b> Arreglo de acomodo en placa de microtitulación para la determinación de capacidad antioxidante por ABTS. ....	22
<b>Figura 14.</b> Arreglo de acomodo en placa de microtitulación para la determinación de capacidad antioxidante por DPPH.....	23
<b>Figura 15.</b> Tratamientos por triplicado utilizados como material de pared en la microencapsulación. <b>A:</b> 6 % Proteína de suero (WPI) + 14 % Inulina+ 1 g de curcumina y 5 mL de aceite de coco+ agua destilada; <b>B:</b> 14 % Proteína de suero (WPI) + 6 % Inulina + 1 g de curcumina y 5 mL de aceite de coco+ agua destilada. .....	24
<b>Figura 16.</b> A: Equipo Mini Spray Dryer B-290 (Büchi, Switzerland) utilizado para la microencapsulación; B: Medición del peso de las microcápsulas recuperadas del vaso colector para obtener el rendimiento.....	25

<b>Figura 17.</b> Instrumento utilizado para medir la actividad de agua presente en las microcápsulas. ....	26
<b>Figura 18.</b> Papeleta que se entregó a los evaluadores. ....	27
<b>Figura 19. A:</b> Pérdida de peso en té limón ( <i>Cymbopogon citratus</i> ); <b>B;</b> pérdida de peso en hierbabuena ( <i>Mentha spicata</i> ). ....	30
<b>Figura 20.</b> Sexo de los participantes. M: mujeres; H: hombres. ....	34
<b>Figura 21.</b> Aceptabilidad del color. ....	35
<b>Figura 22.</b> Aceptabilidad de aroma por parte de los evaluadores.....	36
<b>Figura 23.</b> Aceptabilidad del sabor. ....	37
<b>Figura 24.</b> Aceptabilidad general de las bebidas. ....	37

## I INTRODUCCION

Las plantas medicinales son una fuente rica de compuestos bioactivos, a los cuales se les atribuyen diversas propiedades benéficas. Se pueden utilizar las hojas, tallos, corteza, raíces, etc., ya sea solos o en combinación, y la forma más común en la que se consumen es a través de infusiones (Gutiérrez & Mayorga, 2019). Hoy en día las infusiones en el mercado han adquirido una importancia convirtiéndose así en un sector competitivo, generando el aumento del consumo mundial de estas. De acuerdo a Rita, et al., (2016), se ha registrado en una cifra de más de tres millones de tazas al día; lo que ha generado un crecimiento de 48% en los últimos 5 años, (Juárez, 2020). Por consiguiente, ha surgido la venta de diversos productos con valor agregado, dejando a la disposición de los consumidores una amplia gama de distintos productos con múltiples composiciones para la preparación de infusiones. *Mentha Spicata* conocida como hierbabuena es una planta medicinal que posee propiedades: antiespasmódicas y carminativas sobre el sistema digestivo, antiséptico y antiinflamatorio sobre el sistema respiratorio y antiséptico sobre la piel y mucosas y antioxidantes, debido a sus componentes como el mentol (50 – 86 %), limoneno, mentona, felandreno, por lo que ha sido ampliamente estudiada para tratar y prevenir diversas enfermedades (Huanca et al., 2018). Así mismo, el té limón (*Cymbopon citratus*) es otra planta medicinal con propiedades antimicrobianas, antiinflamatorias y anticancerígenas, por sus compuestos bioactivos, principalmente el citral. La aplicación medicinal de *C. citratus* sigue diferentes medios de tratamiento, como tópicos, infusiones y brebajes. En adición, la curcuma (*Curcuma longa*) es una especia utilizada en preparaciones alimenticias y se utiliza en la medicina tradicional, ya que ha demostrado una serie de actividades farmacológicas que incluyen propiedades antioxidantes y antiinflamatorias (Degot et al., 2021). Su principal compuesto activo que es la curcumina, sin embargo, es susceptible a perder su estabilidad y por lo tanto sus propiedades, por lo que es necesario el uso de técnicas que permitan conservarla, una opción es la microencapsulación (Shishir, et al., 2018). La microencapsulación es un proceso que se ha utilizado con el fin de preservar o proteger algunas sustancias bioactivas, de tal forma que, en

esta investigación se realizó la microencapsulación de curcumina utilizando inulina y proteína de suero de leche como materiales de pared, ya que proporciona una alta eficiencia de encapsulación y propiedades de fluidez específicas en función de las condiciones de operación utilizadas, (Shishir et al., 2018) .

Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue elaborar bebidas como infusiones de hierbabuena (*Mentha spicata*) y té limón (*Cymbopogon citratus*) y adicionarles curcumina microencapsulada.

## II REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Se sabe que nuestros antepasados adquirieron un amplio conocimiento sobre las plantas, esto después de diferenciar entre las que servían para su consumo y aquellas que tenían algún efecto en su organismo; es decir plantas para sanar o prevenir enfermedades, por lo que a razón de esto empezaron a diferenciarlas y seleccionarlas. En México la importancia de las plantas medicinales no sólo se encuentra en su riqueza como parte de la cultura; también en el conocimiento científico que se desarrolla a partir del estudio de estas. En la actualidad se han reportado alrededor de 50,000 especies de plantas que poseen algún uso medicinal, un 10% de todas las que existen en el mundo (Maldonado et al., 2020).

### 2.1 Hierbabuena (*Mentha spicata*)

La hierbabuena es una planta aromática perenne que ha sido distribuida en Europa, África, Australia y América del Norte. Pertenece a una familia de angiospermas altamente diversificada en el mundo, contiene 7852 especies de menos de 250 géneros que se distribuyen en todo el mundo, comúnmente se cultivan hasta una altura de 2500 msnm como hierbas en maceta. Se caracterizan como hierbas o arbustos, con tallos generalmente de cuatro lados, hojas opuestas o en espiral, las hojas florales son similares a las hojas del tallo; aparecen en muchas flores (dos a seis) en espigas axilares o terminales y se propaga por semillas, esqueje y estolón (Kedia et al., 2014).

La hierbabuena requiere de cuidados frente a las altas temperaturas (**Figura 1**), ya que su sistema radicular es superficial; lo que la hace no resistente a la sequía, requiere de un suelo rico en materia orgánica, un clima templado entre 12°C y 18°C y un nivel de 1 500 – 270 msnm (Toro et al., 2015).



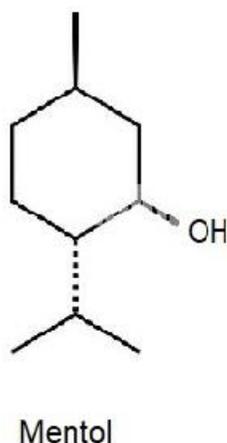
**Figura 1.** Planta de hierbabuena (*Mentha spicata*). A: en condiciones de temperatura adecuadas; B: en condiciones de temperatura altas.

Esta planta ha sido utilizada tradicionalmente por las propiedades medicinales que posee para prevenir enfermedades. De acuerdo a Mahboubi, (2017) mejora la indigestión, es relajante, evita o disminuye la irritación en la piel, propicia la rápida cicatrización de las heridas y puede combatir dismenorrea, así como reducir la intensidad del dolor.

*Mentha spicata* es una familia numerosa de hierbas anuales o perennes, ampliamente cultivada en todo el mundo, de la cual las hojas, flores y tallos se usan con frecuencia tradicionalmente en té de hierbas o como aditivos en mezclas comerciales de especias en muchos alimentos para ofrecer aroma y sabor (Gokalp, et al., 2002; Mahboubi, 2017). La hoja ha sido objeto de estudio debido a que contiene, entre otros componentes, mentol (entre 40 y 75%), limoneno, mentona, felandreno. Estos compuestos son los que le proporcionan el aroma tan característico y le otorgan las propiedades farmacológicas. Además, las hojas contienen del 10 al 20% de elementos minerales tales como magnesio, potasio, manganeso, cobre, hierro, zinc y del 6 al 26% de ácidos fenólicos como el

rosmarínico, y ácidos grasos como el palmítico y esteárico, así como también taninos (Cabanillas, 2016).

La hierbabuena es una planta que posee propiedades antivirales, antidiabéticas, antimicrobianas y antioxidantes, por su actividad biológica y propiedades organolépticas es utilizada en fines medicinales y no medicinales, especialmente como infusiones en la industria alimentaria. Se conoce como una planta medicinal que se caracteriza por su sabor refrescante derivado del mentol, su principal componente (Alaşalvar & Çam, 2020), (**Figura 2**).



**Figura 2.** Estructura química del mentol.

## 2.2 Té limón (*Cymbopogon citratus*)

El té limón es una de las especies más conocidas del género *Cymbopogon*, es originaria de Asia, África y América, pero se cultiva ampliamente en regiones templadas y tropicales del mundo (Morón et al., 2014). Es una de las plantas más diversas y utilizadas en África occidental, su uso va desde aplicación farmacéutica, doméstica, alimentaria y como planta ornamental. Se usa como remedio popular para la tos, la gripe, el dolor de cabeza, la artritis, trastornos inflamatorios y la ansiedad (Morón et al., 2014; Soto et al., 2017)

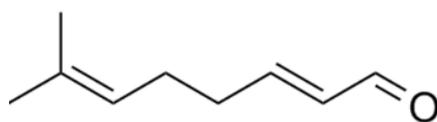
El género *Cymbopogon* pertenece a uno de los pastos monocotiledóneos de la familia Poaceae (Gramineae) y comprende alrededor de 180 especies, subespecies, variedades y subvariedades que se distribuyen ampliamente en zonas templadas y regiones tropicales del mundo (Morón et al., 2014). Es una hierba alta, perenne y de rápido crecimiento con mechones de hojas perfumadas de limón de los rizomas anulados y escasamente ramificados. Crece hasta una altura de 1 m y un ancho de 5–10 mm, tiene distintas hojas de color verde azulado que no producen semillas. Sin embargo, tiene muchos tallos bulbosos que aumentan el tamaño del grupo a medida que la planta crece.



**Figura 3.** Té limón (*Cymbopogon citratus*).

*Cymbopogon citratus* se propaga por divisiones de raíz, el grupo de una planta madura se divide en una serie de hojas y las raíces superiores y fibrosas de cada hoja se recortan antes de plantar. Crece en suelos pobres y es resistente a la sequía, sin embargo, florece en una amplia variedad de suelos y un clima cálido y húmedo con abundante sol y temperaturas de 24 – 27 °C. Crece mejor en elevaciones que van desde el nivel del mar hasta 1200 msnm y una precipitación anual de 200 a 250 cm (Rodríguez et al., 2014).

La aplicación medicinal de esta planta puede ser por medio de infusión, en donde se aprovechan sus componentes bioactivos como es el citral; el cual es el más representativos. Este monoterpreno (**Figura 4**) corresponde al 70–85% en peso del aceite esencial de *Cymbopogon citratus*, presenta un fuerte aroma a limón, la cual es ampliamente utilizada en cosméticos y como aditivo de sabor en la industria alimentaria. Además, se utiliza en la producción de vitamina. Se le atribuyen propiedades antimicrobianas, antiinflamatorias y anticancerígenas. Este compuesto tiene potencial para reducir eficientemente el volumen tumoral y la proliferación de células tumorales sin efectos secundarios (Zielińska et al., 2018).



Citral

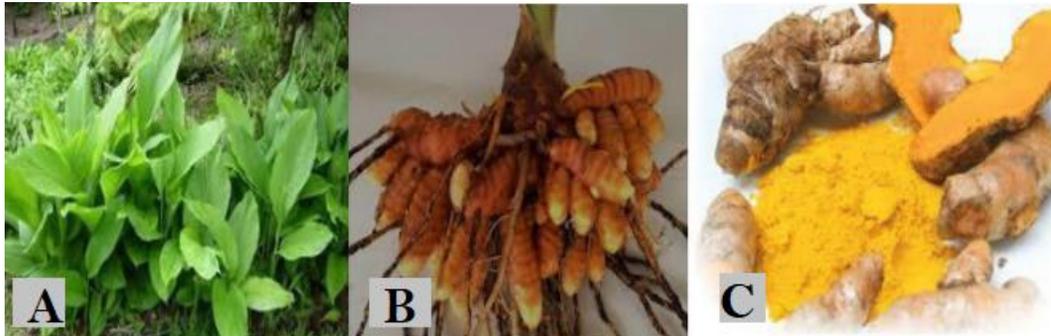
**Figura 4.** Estructura química del citral.

El citral es considerado el principal compuesto del aceite esencial obtenido de las hojas de la planta *Cymbopogon citratus*, tiene efecto antiinflamatorio sinérgico con naproxeno, debido a que ayuda a la reducción de los agudos estímulos nociceptivos (encargados de codificar y procesar los estímulos potencialmente dañinos contra los tejidos neuronales) sin causar disfunción motora, reducción de la hiperalgesia mecánica (daño en los nervios) y acción gastroprotectora contra las úlceras inducidas por fármacos antiinflamatorios (Ortega & Segura, 2019).

### 2.3 Cúrcuma (*Curcuma longa*)

Es una planta perteneciente al género *Curcuma*, esta es robusta, erecta con rizoma perenne de tallos elongados que alcanzan una altura de 60 a 100 cm, sus hojas son rectas y erectas; pueden crecer de seis a diez brotes alternos, por encima son de color verde oscuro, nervadura principal verde y por debajo verde muy claro cubierto de puntos. Sus flores son de color amarillo opaco y la inflorescencia es de color rosa

(Figura 5) (Hernández, 2016). Presenta un sabor picante y amargo, una fragancia suave con ligeros tonos de naranja y jengibre (Saiz de Cos, 2014) .



**Figura 5.** A: Planta de *Curcuma longa*; B: rizoma; C: cúrcuma deshidratada. (López-Córdova, et.,al 2017).

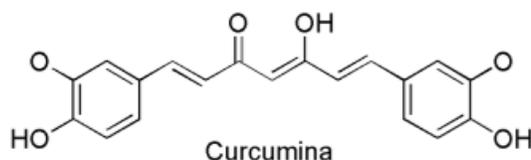
La reproducción tiene lugar a través de la división de los rizomas (tallo subterráneo) que son carnosos y duros, los rizomas tienen un color amarillo marrón, una piel externa algo escamosa y una carne de color amarillo anaranjado brillante, con extremidades blancas jóvenes, y un olor picante cuando se trituran (Mishra et al., 2018). Estas ramas de rizomas son de 2-5 cm de largo, en forma de dedo, cilíndrico, recto o torcido, con el espesor de 1.8 cm, el rizoma principal es de unos 3 cm de espesor y 5 cm de largo. La cúrcuma fresca tiene carne de color naranja brillante, mientras que el rizoma seco es de color amarillo limón a amarillo naranja (Hernández, 2016).

Las plantas poseen diversas propiedades medicinales, siendo antialérgicos, anticancerígeno, antidiabético, antiinflamatorio, cardioprotector, estimulante digestivo, hepatoprotector, hipolipidémico y neuroprotector (Chaturvedi, et al., 2014). *Curcuma longa* es la especie más explorada del género *Curcuma*, esta especie predomina principalmente en la India y el sudeste asiático. Sus propiedades medicinales han sido atribuidas al diferuloilmetano o curcumina que es un compuesto lipofílico polifenólico. Además de su amplia actividad biológica, la curcumina es un compuesto fotosensible por lo que se deben tomar precauciones para evitar su degradación.

Además del área farmacéutica, la curcumina también es utilizada en la industria alimentaria como aceite o margarina, para colorear bebidas, en productos de pastelería, sopas deshidratadas, productos para dietas, etc., y por su color, aroma y sabor ardiente ligeramente amargo, se utiliza como condimento para los alimentos (Hernández-Barrueta et al., 2020).

### 2.3.1 Curcumina

La curcumina es un polifenol natural (**Figura 6**) que tiene fuertes propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y anticancerígenas, sin embargo, es sensible a la luz, el oxígeno, el calor y presenta muy baja solubilidad en agua. Algunas investigaciones se han centrado en el estudio de la encapsulación de la curcumina y su biodisponibilidad debido a su importancia para la salud (Neves et al., 2019). La curcumina es un pigmento amarillo natural extraído de las raíces secas de la cúrcuma (Bucurescu, Blaga, Estevinho, & Rocha, 2018).



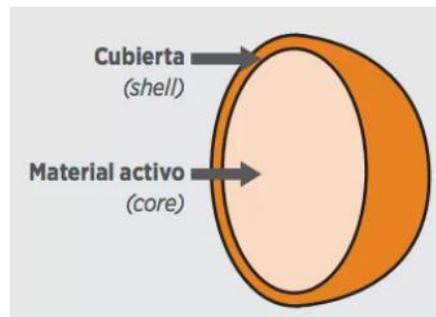
**Figura 6.** Estructura química de la curcumina (González-Albadalejo et al., 2015).

En el ámbito de la salud se han realizado estudios derivados de la curcumina, con potencial para tratar el cáncer de próstata, así mismo se ha evaluado en pacientes con cáncer bucal. De acuerdo a un estudio realizado por parte de la Universidad de Texas (USA) del Cáncer Center de Houston, la curcumina inhibe el crecimiento de tumores melánicos o pigmentados (melanoma), al estimular la muerte programada de las células (apoptosis) (López Córdova, 2017). Coronel-Delgado, (2015) realizó un estudio donde el objetivo fue evaluar las condiciones del proceso de secado por aspersión y obtener curcumina en polvo a partir de extracto de cúrcuma mezclado con maltodextrina, donde el resultado mostro que las condiciones óptimas de

temperatura del aire a la entrada y salida, durante el proceso fueron de 149 °C y 75°C, para las cuales se obtuvo un rendimiento de 80.45%.

#### 2.4 Microencapsulación mediante secado por aspersion

La microencapsulación es una técnica en la que una sustancia (material objetivo) podría estar rodeado de materiales externos (pared en forma de cápsula), o dispersos en capas circundantes del material objetivo (forma de matriz), o una combinación de ambos. En esta técnica, gotas líquidas o partículas sólidas o gaseosas, son cubiertas con una película polimérica porosa conteniendo una sustancia activa (Huertas, 2011; Mahdavee et al., 2014) (**Figura 7**). Esta técnica permite la retención de diferentes características de los ingredientes alimentarios, tales como la solubilidad, su funcionalidad, valor nutricional y biodisponibilidad; así como también, enmascarar sabores y aromas desagradables (Shishir, et al., 2018).



**Figura 7.** Microcápsula con material de pared en forma de cápsula, (Hidalgo, 2019).

Aksoylu & Günç , (2020) afirmaron que la tecnología de microencapsulación se puede aplicar para producir ingredientes bioactivos efectivamente protegiéndolos de la luz, el oxígeno y los radicales libres, temperaturas elevadas, alta humedad, altos niveles de oxígeno, ciertos valores de pH, exposición a la luz y otras condiciones extremas durante el procesamiento (Rafiee & Jafari, 2018). Además, esta tecnología se puede utilizar para producir ingredientes personalizados, aditivos y suplementos con una vida útil prolongada y que se pueden aplicar en productos alimenticios, productos farmacéuticos y cosméticos (Akhavan, et al., 2018).

Las microcápsulas que resultan de dicho proceso ayudan a que los materiales alimenticios empleados resistan las condiciones de procesamiento y empaque mejorando sabor, aroma, estabilidad, valor nutritivo y apariencia de sus productos (Luna, et al., 2016). Como ejemplos se tienen: vitaminas (C, E), ácido fólico, bacterias probióticas, lípidos, ácido linoléico, aceites vegetales, minerales como hierro, pigmentos de antocianina y leche (Shishir et al., 2018). Otra ventaja de la encapsulación es lograr una liberación controlada de ingredientes bioactivos dentro de productos comerciales o dentro del cuerpo humano (Faridi et al., 2018). Esta técnica se puede utilizar para una amplia gama de nutraceuticos, probióticos, sabores, enzimas y péptidos (Jafari et al., 2008; Ray et al., 2016). Ariyaratne & Karunaratne (2016), desarrollaron un sistema de encapsulación que contenía curcumina dentro de una proteína como matriz, el método utilizado arrojó un sistema de encapsulación en microescala, donde la liberación de curcumina de la matriz proteica dependía del pH.

El secado por aspersión es el método más común utilizado en la industria para encapsular ingredientes alimenticios. Esta técnica presenta como ventajas su bajo costo, reproducibilidad, rapidez y una forma útil de incorporar probióticos en productos lácteos (Guerin et al., 2017). El objetivo principal de este proceso es obtener un producto en polvo a partir de una sustancia líquida que entra en contacto con un gas caliente (generalmente el gas que se emplea es aire), cuya función es servir como medio calefactor y como fluido de transporte, para finalmente obtener un producto pulverizado. El material líquido que se emplea inicialmente es una solución, emulsión o suspensión. Este proceso involucra tres etapas: dispersión o emulsión, homogenización y atomización. Se atomiza el material que está en estado líquido, bien sea como una solución o como dispersión, y al final se forman gotas sobre una corriente de gas precalentado; en el momento que dichas gotas de la sustancia líquida entran en contacto con el gas a una temperatura mayor se genera una evaporación muy rápida del solvente de manera que se forme una película delgada del material de recubrimiento (Adolfo & Huertas, 2011). La técnica de microencapsulación mediante secado por aspersión se puede utilizar para la encapsulación de casi todos los tipos de alimentos, enzimas, péptidos y moléculas

bioactivos, probióticos y otros microorganismos, compuestos fenólicos y antioxidantes, vitaminas, minerales, colorantes alimentarios naturales, aceites omega-3, sabores, aceites esenciales, agentes antimicrobianos y muchos otros componentes (Assadpour & Jafari, 2019). Así mismo, entre las sustancias que se microencapsulan se hallan nutraceuticos, olores, perfumes. De modo que, se pueden elaborar productos alimenticios o fármacos con características sensoriales y nutricionales superiores.

Hernández-Barrueta et al. (2020), desarrollo una bebida de té verde, donde el objetivo principal fue evaluar la estabilidad, supervivencia celular y aceptabilidad sensorial de una bebida prebiótica de té verde con *Lactobacillus rhamnosus*. *Lactobacillus* fue microencapsulada en aislado de proteína de suero y almidón de huazontle modificado, se agregó a la bebida de té verde y se almacenó en refrigeración durante 5 semanas. Como resultado no se observaron cambios significativos en cuanto a la concentración de compuestos polifenólicos ni en su capacidad antioxidante y se cuantificó un ligero cambio de color. La vida útil sensorial de la bebida fue de 23 días. En conclusión, se desarrolló un sistema de encapsulación, generando una bebida prebiótica de té verde apta para el consumo humano.

Por otra parte Narváez (2022), evaluó el extracto de *Margyricarpus pinnatus* (Lam.) microencapsulado mediante secado por aspersion y su uso en la formulación de una bebida instantánea, empleando una relación 20:80 de extracto concentrado/matriz polimérica (maltodextrina) y agua destilada, en donde dicha mezcla se agitó constantemente a 45 °C hasta homogenizarla, para después llevarla a secado por aspersion en un Mini Spray Dryer (BUCHI B-290) con condiciones de temperatura (entrada: 150 °C y salida: 90°C), obteniendo así el microencapsulado con una eficiencia promedio de 88.97%. Posteriormente se elaboró una bebida instantánea en polvo con el microencapsulado de *Margyricarpus pinnatus*, por último, se realizó una evaluación sensorial, utilizando una escala hedónica de 5 puntos, calificando atributos organolépticos del producto como el color, olor, sabor

y apariencia, donde la aceptabilidad para el producto en polvo fue de un 64,44% con el criterio de que les gustó mucho.

Mientras tanto Rojas et al. (2022), realizaron una investigación en donde el objetivo fue microencapsular un extracto de cedrón (*Aloysia citrodora*), utilizando como material encapsulante la maltodextrina y goma arábica, mediante la técnica de secado por aspersión. En este estudio se controlaron las temperaturas de aire de entrada (130°C, 140°C y 150°C) y velocidades de flujo de alimentación del (500 ml/h, 600 ml/h y 700ml/h). Así mismo para obtener las condiciones óptimas del proceso se evaluó el rendimiento de microencapsulación y humedad de las microcápsulas. De modo que, las condiciones óptimas de temperatura de aire de entrada de 150 °C y velocidad de flujo de alimentación de 500 mL/h obtuvieron el mejor rendimiento (94,70%) y contenido de humedad en las cápsulas (3.85%).

Además, Pérez Sánchez (2019) utilizó como material de pared goma arábica y maltodextrina en su investigación, la cual tuvo como principal objetivo optimizar el proceso de microencapsulación de los compuestos fenólicos presentes en la planta de sunfo (*Clionopodium Nubigenum*) mediante secado por aspersión. Se empleó una temperatura de aire de entrada (130; 140; 150 °C) y una velocidad de flujo de alimentación (500; 600; 700ml/h). El proceso de microencapsulación resulto favorable con una temperatura de entrada de aire a 150° C y una velocidad de flujo de alimentación de 500 ml/h, obteniendo un rendimiento del 92,14% y una humedad del 2,14%. En conclusión, los autores encontraron que la temperatura de aire de entrada influye de manera más significativa que la velocidad de flujo de alimentación durante el proceso de microencapsulación, pues a medida que la temperatura es mayor se produce una eliminación casi instantánea del agua presente en la emulsión, quedando así el compuesto bioactivo atrapado dentro de la microcápsula.

#### 2.4.1 Materiales de pared para microencapsulación de alimentos

Los materiales de pared se definen como materiales que se aplican sobre una superficie y aparece ya sea como una película continua o discontinua, después del secado. Las propiedades de las películas de recubrimiento están determinadas según el tipo de aglomerantes, pigmentos y aditivos que se emplean en la

formulación. Algunos factores que se espera que mejoren los materiales de protección corresponden a durabilidad, reproducibilidad, fácil aplicación y que tenga una relación costo efectividad aceptable y que sea amigable con el medio ambiente (Coronel, 2015). Un material de cobertura eficiente debe ser fácil en su manipulación durante el proceso y ser seleccionado de modo que produzca una dispersión con el ingrediente activo y que además no reaccione o degrade el material activo durante el proceso y el almacenamiento. Las sustancias de recubrimiento son básicamente materiales de película que se diseñan con el fin de proteger el producto de ciertos factores específicos como oxidación, temperaturas sensibles, para prevenir sus interacciones con otros ingredientes, para disminuir pérdidas de volátiles y para permitir la liberación controlada de las sustancias (Coronel, 2015).

Los materiales pared empleados como agentes encapsulantes son: almidones, maltodextrinas, dextranos, ciclodextrinas, carboximetilcelulosa, goma arábica, goma de mezquite, goma guar, alginato de sodio, carragenina, ceras, parafinas, grasas, mono y diglicéridos, gelatina, proteína de soya, caseinatos, concentrados de proteína de suero de leche y caseína. Éstos materiales deben proporcionar la característica de formar una emulsión estable durante el proceso de secado por aspersión, además de poseer buenas propiedades estabilizantes, emulsificantes y formadoras de película que faciliten la protección del ingrediente activo y que a su vez influyan en las propiedades físicas, mecánicas y de fluidez del encapsulado, con el fin de proveer la máxima protección al ingrediente activo (Coronel, 2015).

a) Inulina como material de pared

La inulina es un carbohidrato de reserva energética presente en muchas plantas, frutas, vegetales y cereales; por lo tanto, forma parte de nuestra dieta diaria. A nivel industrial, la inulina se aísla de algunas plantas como el agave y se usa como ingrediente en los alimentos, ofreciendo ventajas tecnológicas e importantes beneficios a la salud, es considerada como una matriz eficiente para la microencapsulación (Madrigal, 2007).

En un estudio se utilizó el secado por aspersión como método de microencapsulación de oleoresina de cúrcuma a partir de una emulsión aceite en

agua (o/w), empleando mezclas de diferentes materiales de pared: goma arábica, inulina y concentrado de proteína de suero de leche, evaluando la estabilidad de la emulsión, eficiencia de encapsulación, contenido de humedad, tiempo de rehidratación, tamaño de partícula, propiedades de fluidez y la microestructura de los encapsulados obtenidos. De acuerdo a los resultados, los materiales de pared empleados en la encapsulación de oleoresina de cúrcuma proporcionaron alta eficiencia de encapsulación y propiedades de fluidez específicas en función de las condiciones de operación utilizadas. La emulsión presentó alta estabilidad (80%) evaluada a las 2 h de ser formulada, lo cual indica que se mantuvo homogénea al realizarse el proceso de secado por aspersión, facilitando la obtención de los encapsulados en forma de polvos con un rendimiento de encapsulación del 73% bajo las condiciones de operación utilizadas y contenido de humedad de los microencapsulados de cúrcuma fue del 2.85%, (Fabela et al., 2016).

b) Proteína de suero de leche como material de pared

El lactosuero es el líquido remanente que resulta de la coagulación de las proteínas caseicas de la leche durante la elaboración de queso, el cual representa 90% del volumen total de la leche, conteniendo la mayor parte de los componentes solubles en agua, como carbohidratos, minerales, vitaminas hidrosolubles y proteína soluble. Las proteínas del lactosuero (WPI) tienen propiedades funcionales y nutricionales únicas, pues recientemente se ha argumentado que las WPI tienen actividad antiinflamatoria, antitumoral, inmunomoduladora, hipotensiva, antidiabética, osteoprotectiva, anticancerígena y antihipertensiva. Además, se indica que participan en la miogénesis (formación de tejido muscular durante el desarrollo de un embrión) y en la disminución del riesgo de padecer obesidad (Chacón Gurrola et al., 2017).

En un estudio Jantzen et al. (2013) encapsularon *Lactobacillus reuteri* con proteína de suero directamente de la fermentación en suspensión, con finalidad de aumentar la eficiencia del proceso de encapsulación y la viabilidad de *Lactobacillus*. Como resultado, las microcápsulas permanecieron estables durante su almacenamiento y

revelaron una supervivencia adecuada en jugos gástricos simulados y una clara liberación en los jugos intestinales.

Mientras que Ramos Flores (2009) realizó un estudio, donde el objetivo fue evaluar la estabilidad a diferentes actividades de agua de microcápsulas de aceite esencial de orégano, obtenidas por el método de secado por aspersion utilizando como material de pared proteína de suero de leche (CPS) y goma arábica (GA), a una temperatura de entrada de  $190 \pm 5^{\circ}\text{C}$  y  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  de salida. Por lo que para las propiedades fisicoquímicas de las microcápsulas se obtuvo que las microcápsulas de GA presentaron un rendimiento de 46.75% (p/p) y 79.55% (p/p) para CPS, es decir un mejor rendimiento; sin embargo las microcápsulas de GA presentan mejores propiedades de flujo.

En un estudio realizado por Andrade et al. (2021), se evaluó el efecto antimicrobiano y liberación *in vitro* de antocianinas de bayas presentes en la flor de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) microencapsuladas mediante secado por aspersion, con diferentes agentes portadores (una mezcla de goma arábica y maltodextrina 50:50 p/p, aislado de proteína de suero y agave fructanos). Se obtuvo que el aislado de proteína de suero fue el material de encapsulación que mayor grado de protección y retención de antocianinas logró durante las condiciones *in vitro*, para así alcanzar la absorción en el intestino.

Tanto la inulina como la proteína de suero de leche como materiales de pared en la microencapsulación de compuestos bioactivos y su evaluación en un alimento, han sido poco estudiados.

### III OBJETIVOS

Objetivo General:

Microencapsular curcumina y adicionar las microcapsulas a dos bebidas formuladas a partir de extractos de hierbabuena (*Mentha spicata*) y té limón (*Cymbopogon citratus*).

Objetivos particulares:

- Producir plantas de hierbabuena (*M. spicata*) y té limón (*C. citratus*) de manera orgánica.
- Formular bebidas a partir de hierbabuena (*M. spicata*) y té limón (*C. citratus*).
- Determinar el contenido de fenoles totales y capacidad antioxidante en las bebidas de hierbabuena (*Mentha spicata*) y té limón (*Cymbopogon citratus*).
- Microencapsular curcumina utilizando inulina y proteína de suero de leche como material de pared.
- Evaluar la aceptación sensorial de las bebidas de hierbabuena (*Mentha spicata*) y té limón (*Cymbopogon citratus*) adicionadas con curcumina microencapsulada.

#### **IV HIPOTESIS**

Las bebidas de hierbabuena (*Mentha spicata*) y té limón (*Cymbopogon citratus*) adicionadas con microcápsulas de curcumina tienen aceptabilidad sensorial.

## V METODOLOGÍA

El proyecto se desarrolló en la Universidad Autónoma de Querétaro campus Concá, ubicada en el Municipio de Arroyo Seco y en colaboración con el Posgrado de Alimentos de la Facultad de Química ubicado en Centro Universitario, ambos ubicados en el Estado de Querétaro de Arteaga, México. Este proyecto fue aprobado por el Comité de Ética de la Facultad de Ingeniería y tiene la clave CEAIFI-156-2019-TL.

### 5.1 Producción agrícola de hierbabuena y té limón

Se inició con la propagación de 15 plantas de hierbabuena y 15 de té limón, que contaban con dos meses de edad, de las cuales se registró diariamente la temperatura y la humedad (**Figura 8**). Antes de mediodía y cada tercer día las plantas se regaron con 500 mL de agua, para evitar que las altas temperaturas dañaran la planta. En las plantas de té limón, fue necesario mantener la humedad del suelo durante todo el ciclo de vida del cultivo ya que si se presentaba un déficit hídrico en cualquier momento de su ciclo vegetativo disminuiría su rendimiento (Soto et al., 2002).



**Figura 8.** Producción de plantas A: té limón (*Cymbopogon citratus*); B: hierbabuena (*Mentha spicata*).

## 5.2 Deshidratación solar de hojas de hierbabuena y té limón

La recolección de hojas se realizó aproximadamente a los cuatro meses de la plantación de los cultivos, poco antes de que la planta entrara en plena floración (Hori et al., 2014). Esta actividad se hizo por la mañana ya que posterior a la recolección las hojas se colocaron en rejillas de secado y fueron puestas al sol para su deshidratación (**Figura 9**).



**Figura 9.** Deshidratación solar de hojas. A: Té limón; B: Hierbabuena.

Durante el tiempo de secado se registró la temperatura con un termómetro Brannan Lo-tox y se registró el peso con una báscula digital gramera SF 400 hasta obtener el peso constante. Una vez alcanzado el peso constante las hojas fueron colocadas en bolsas herméticas ziploc y almacenadas a una temperatura de 9° C (**Figura 10**).



**Figura 10.** A: Medición hasta obtener peso constante durante el proceso de deshidratación; B: Almacenamiento del material vegetal deshidratado en bolsa ziploc.

### 5.3 Formulación de las bebidas de hierbabuena y té limón

Se prepararon por triplicado las formulaciones para cada sabor, colocando 1 g de hojas de té limón o hierbabuena respectivamente en 50 mL de agua destilada a 60°C, mientras se agitaba constantemente durante 40 min. Cada extracto fue añadido con 0.4% de *Svetia* (Sacarosa, Glucósidos de esteviol (2.5%), Isomalt (1%) y Sucralosa (0.6%)) como edulcorante y 0.1% de benzoato de sodio. Se filtró con papel de filtro Whatman No. 1 (**Figura 11**).



**Figura 11.** Filtración de bebidas.

Los extractos se colocaron en botellas de vidrio que posteriormente se almacenaron en refrigeración a una temperatura de 9° C.

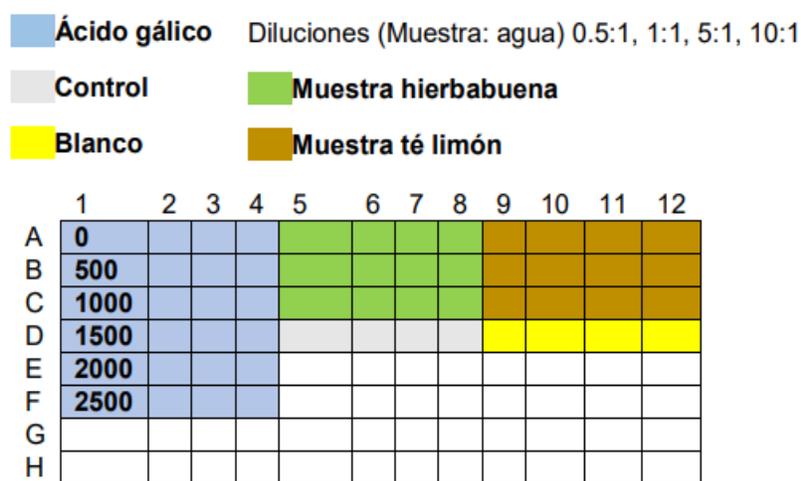
### 5.4 Determinación del contenido de fenoles de las bebidas

El contenido en fenoles totales se determinó utilizando una curva de calibración de ácido gálico (2500 ppm). En un matraz se agregó 0.025 g de ácido gálico y se aforo a 100 mL con agua destilada. Se utilizó una solución estándar de ácido gálico (mg/ml) de la cual se tomaron volúmenes de 0  $\mu$ l a 2500  $\mu$ l y se completó el volumen de cada uno a 2500  $\mu$ l con agua destilada. Los valores de la curva se muestran en la **Tabla 1**.

**Tabla 1.** Curva de calibración

Ácido gálico ( $\mu$ l)	0	500	1000	1500	2000	2500
Agua destilada ( $\mu$ l)	2500	2000	1500	1000	500	0

Se preparó una solución de carbonato de sodio con 0.106 g aforados a 100 mL con agua destilada (0.01 mM). Así mismo, se diluyó el reactivo Folin-Ciocalteu 2N con agua destilada (1:1). Posteriormente se colocaron 20 µl de la solución de ácido gálico preparada de acuerdo a cada punto de la curva, 20 µl de los extractos de las muestras (bebida de hierbabuena y de té limón) y 20 µl del reactivo Folin-Ciocalteu en cada pocillo de la placa de microtitulación (**Figura 12**); para el control y el blanco se colocaron 20 µl de agua destilada. La placa de microtitulación se mantuvo en reposo por 5 minutos y después se agregaron 20 µl de la solución de carbonato de sodio y se mantuvo por 5 minutos.



**Figura 12.** Arreglo de acomodo en placa de microtitulación para la determinación de fenoles.

Pasando ese tiempo se agregaron 125 µl de agua destilada y se midió la absorbancia de la muestra a una longitud de onda de 790 nm.

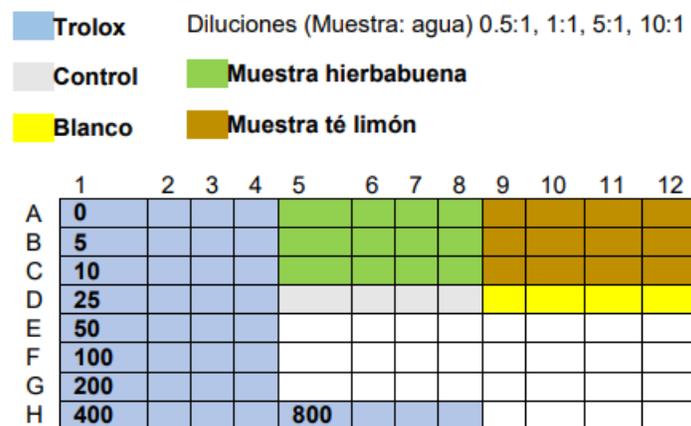
### 5.5 Determinación de capacidad antioxidante de las bebidas por ABTS

La capacidad antioxidante se determinó utilizando una curva de trolox. La curva se realiza con diluciones de trolox y metanol tal como se muestra en la **Tabla 2**.

**Tabla 2.** Curva de trolox para ABTS.

Trolox (µl)	0	5	10	25	50	100	200	400	800
Metanol (µl)	1000	995	990	975	950	900	800	600	200

Se preparó una solución de ABTS con 0.01920 g aforados a 5 mL con agua destilada (7 mM). Se preparó una solución de persulfato de potasio con 0.1892 g del compuesto, aforados a 5 mL con agua destilada (2.45 mM). Posteriormente se mezclaron 5 mL de la solución de ABTS + 88 µl de solución persulfato y se dejó en reposo a 4 ° C en refrigeración durante 12 horas. Se tomaron 500 µl de la mezcla anterior y se aforo a 25 mL con etanol. En seguida se midió la absorbancia a 734 nm y que debe estar entre 0.7 y 1.0. En una placa de microtitulación se colocaron 20 µl de muestra y 230 µl de ABTS. Para el control y el blanco se mezcló 230 µl de ABTS y 20 µl de agua destilada (**Figura 13**). La placa de microtitulación se reposó por 6 minutos y se midió la absorbancia de la muestra a una longitud de onda de 234 nm.



**Figura 13.** Arreglo de acomodo en placa de microtitulación para la determinación de capacidad antioxidante por ABTS.

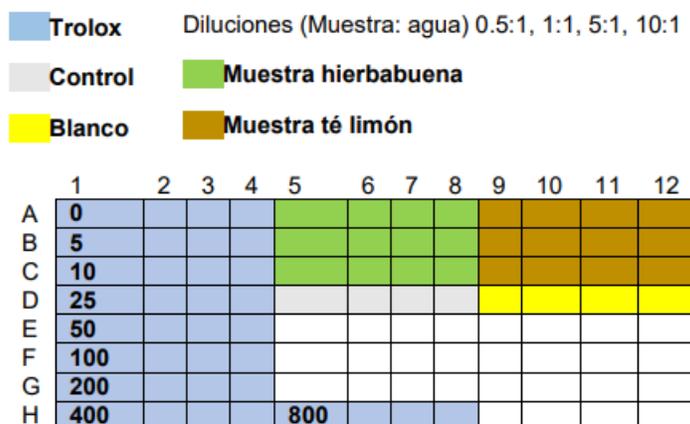
### 5.6 Determinación de capacidad antioxidante de las bebidas por DPPH

La capacidad antioxidante se determinó utilizando una curva de trolox. La curva se realiza con diluciones de trolox y metanol tal como se muestra en la **Tabla 3**.

**Tabla 3.** Curva de trolox para DPPH.

Trolox ( $\mu\text{l}$ )	0	5	10	25	50	100	200	400	800
Metanol ( $\mu\text{l}$ )	1000	995	990	975	950	900	800	600	200

Se preparó una solución de DPPH con 0.00236 g del compuesto, 20.5 mL de metanol aforados a 25 mL con agua destilada (60 mM). En una placa de microtitulación (**Figura 14**) se colocaron 7  $\mu\text{l}$  de muestra y 193  $\mu\text{l}$  de la solución de DPPH. Para el control y el blanco se utilizaron 7  $\mu\text{l}$  de agua destilada. La placa de microtitulación se mantuvo en reposo durante 30 minutos y se midió la absorbancia de la muestra a una longitud de onda de 517 nm.



**Figura 14.** Arreglo de acomodo en placa de microtitulación para la determinación de capacidad antioxidante por DPPH.

### 5.7 Preparación de emulsiones para la microencapsulación de curcumina

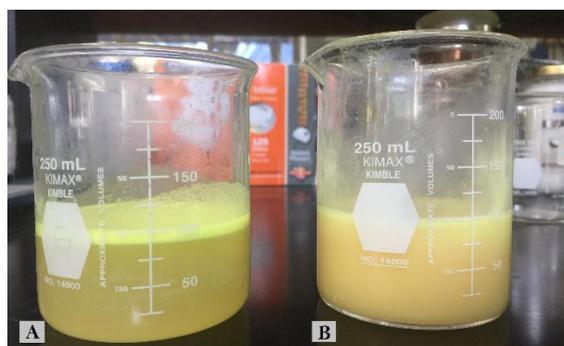
Se realizó la microencapsulación de curcumina grado reactivo utilizando dos materiales de pared. En la **Tabla 4** se muestran los tratamientos evaluados, cada tratamiento se realizó por triplicado y de manera aleatoria.

**Tabla 4.** Materiales de pared a evaluar.

Tratamiento	Materiales de pared al 20%	
	Proteína de suero (WPI)	Inulina
<b>1</b>	14 %	6 %
<b>2</b>	6 %	14 %

Se formularon las emulsiones siguiendo la metodología propuesta por Fabela et al. (2016) empleando inulina (cordialmente proporcionado por Nutriagaves de México, Jalisco), concentrado de proteína de suero de leche (Sigma Aldrich) y curcumina.

Cada tratamiento se preparó por triplicado, en donde se preparó una dispersión de sólidos conteniendo cada mezcla material de pared al 20% de sólidos. Se disolvió la proteína de suero de leche y la inulina en agua destilada, mezclando con un agitador magnético. Posteriormente de acuerdo con Bucurescu et al. (2018), se preparó una solución con 1 g de curcumina y 5 mL de aceite de coco a una temperatura de 40°C para facilitar la dilución y se mezcló con la dispersión inicial de materiales de pared aforándose a 100 mL de agua destilada. Finalmente la mezcla fue emulsificada por medio de un homogeneizador Ultra-Turrax durante 10 minutos hasta la completa dispersión de la cúrcuma (**Figura 15**) (Fabela et al., 2016).



**Figura 15.** Tratamientos por triplicado utilizados como material de pared en la microencapsulación. **A:** 6 % Proteína de suero (WPI) + 14 % Inulina+ 1 g de curcumina y 5 mL de aceite de coco+ agua destilada; **B:** 14 % Proteína de suero (WPI) + 6 % Inulina + 1 g de curcumina y 5 mL de aceite de coco+ agua destilada.

## 5.8 Microencapsulación de curcumina

Las emulsiones alimentaron el equipo Mini Spray Dryer B-290 (Büchi, Switzerland) con una boquilla estándar de 0.5 mm como lo descrito por Hernández-Barrueta et al. (2020) (**Figura 16 A**). Previo a la microencapsulación, las piezas del equipo se lavaron con agua destilada, dejándose secar a temperatura ambiente antes de montar el equipo. Se utilizó una temperatura de aire en la entrada de 160 °C y 80°C en temperatura de salida, con un flujo de 4 mL/min. Las microcápsulas fueron recuperadas del vaso colector del equipo, se colocaron en bolsas de ziploc cubiertas por aluminio y se almacenaron en refrigeración a 4°C. El rendimiento de encapsulación se calculó de acuerdo a la fórmula siguiente:

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{Polvo en vaso recolector (g)}}{\text{Material de pared (g)}} \times 100$$



**Figura 16.** A: Equipo Mini Spray Dryer B-290 (Büchi, Switzerland) utilizado para la microencapsulación; B: Medición del peso de las microcápsulas recuperadas del vaso colector para obtener el rendimiento.

## 5.9 Determinación del contenido de humedad y actividad de agua de las microcápsulas

Para el contenido de humedad, se colocaron 0.5 g de cápsulas en crisoles de aluminio (previamente llevados a peso constante) y se dejaron en estufa a 105°C durante dos horas o hasta alcanzar peso constante. El contenido de humedad se calculó como:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$$

Donde  $P_i$  es el peso de las microcápsulas antes del secado en horno y  $P_f$  el peso de las microcápsulas después del mismo.

La actividad de agua ( $A_w$ ) se determinó utilizando el equipo Aqualab (pawkit water activity meter) (**Figura 17**).



**Figura 17.** Instrumento utilizado para medir la actividad de agua presente en las microcápsulas.

#### 5.10 Evaluación sensorial de las bebidas adicionadas con las microcápsulas de curcumina

Para la evaluación sensorial se realizaron por separado las bebidas de hierbabuena y té limón de acuerdo al punto 5.3 Formulación de las bebidas de hierbabuena y té limón y posteriormente se les adiciono 1 % de microcápsulas de curcumina. Para la aceptabilidad de las bebidas se aplicó un análisis sensorial mediante escala hedónica de cinco puntos (Bustamante, 2015). En este análisis se evaluaron las características organolépticas como el color, aroma y sabor (**Figura 18**). La prueba se realizó con un panel no entrenado de 80 participantes con edades entre 15 y 44 años, entre la 13:30 y 16:00 horas. Las formulaciones de té limón y hierbabuena fueron presentadas a los participantes en vasos desechables transparentes de 20 mL de capacidad, codificadas con tres dígitos aleatoriamente para cada formulación. Así mismo, se entregó también un vaso con agua purificada. Entre las

formulaciones, cada participante debía ingerir agua purificada para enjuagar su paladar, con la finalidad de seleccionar la formulación con mayor agrado.

Previo a la evaluación, los participantes leyeron un consentimiento informado y finalmente se les cuestiono si consumirían la bebida.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CAMPUS CONCÁ

EVALUACIÓN SENSORIAL DE BEBIDAS  
PRUEBA HEDÓNICA



Fecha: 01/12/2021    Género:    Hombre: \_\_\_\_    Mujer: \_\_\_\_    Edad: \_\_\_\_

**INTRUCCIONES:** Por favor, evalúe cada una de las muestras y asigne una calificación para el aroma, color y sabor de acuerdo a la siguiente escala hedónica:

				
1= Me disgusta mucho	3 = Me disgusta un poco	5 = Ni me gusta ni me disgusta	7 = Me gusta un poco	9 = Me gusta mucho

Bebidas	Color	Aroma	Sabor	¿Consumiría este producto? Sí/No
007				
099				
155				
288				

**Figura 18.** Papeleta que se entregó a los evaluadores.

Para garantizar la inocuidad de las bebidas en la evaluación sensorial, se realizaron los análisis microbiológicos correspondientes.

### 5.11 Análisis Estadístico

Los datos experimentales se analizaron mediante un análisis de varianza y se compararon las medias entre sí utilizando una prueba de T. Los resultados se expresaron como la media  $\pm$  la desviación estándar, con un nivel de significancia estadístico de 0.05. Todos los análisis se realizaron con el programa JASP 0.16.3.

## VI RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1 Producción de plantas

Se realizó el conteo de producción de hojas y medición de la planta, en donde la hierbabuena contaba con 49 hojas a los 30 días, 54 a los 60 y 38 hojas a los 90 días. Gutiérrez & Mayorga (2019) evaluaron el comportamiento del desarrollo vegetativo de la hierbabuena (*Mentha spicata*), obteniendo 55, 198 y 270 hojas a los 30, 60 y 90 días después de su siembra, lo cual, es una producción mayor en comparación con la obtenida en este estudio. Uno de los factores que provocó la baja producción de hojas fue la temperatura de Concá, la cual puede alcanzar los 44°C, mientras que la temperatura óptima de desarrollo de *M. spicata* es entre 12°C y 18°C, (Toro Suarez et al., 2015).

En cuanto al té limón, las plantas alcanzaron una altura de 0.705 m y un rendimiento de 0.019 kg/planta, mientras que, en un estudio realizado por Soto et al., (2002), reportaron una altura de 1.10 – 1.20 m y un rendimiento de 1.70 kg/planta. Estos autores sugieren que la mejor época de plantación para *C. citratus* se da en los meses de marzo a mayo, esto debido a que, las plantaciones realizadas de noviembre a febrero se desarrollan con lentitud en su primera etapa, alcanzando una madurez tardía, es decir, dentro de 10 a 11 meses. En el presente estudio se realizó la plantación de *Cymbopogon* en diciembre y se cosecharon las hojas y recolectaron los datos tan solo a los tres meses, mientras que González et al. (2008) afirman que el tiempo óptimo para cosechar es de 6 meses. Además, esta planta se desarrolla a una temperatura óptima de 24° a 27°C, y a una temperatura menor de 21° y mayor a 35° se afectará su crecimiento (González et al., 2008).

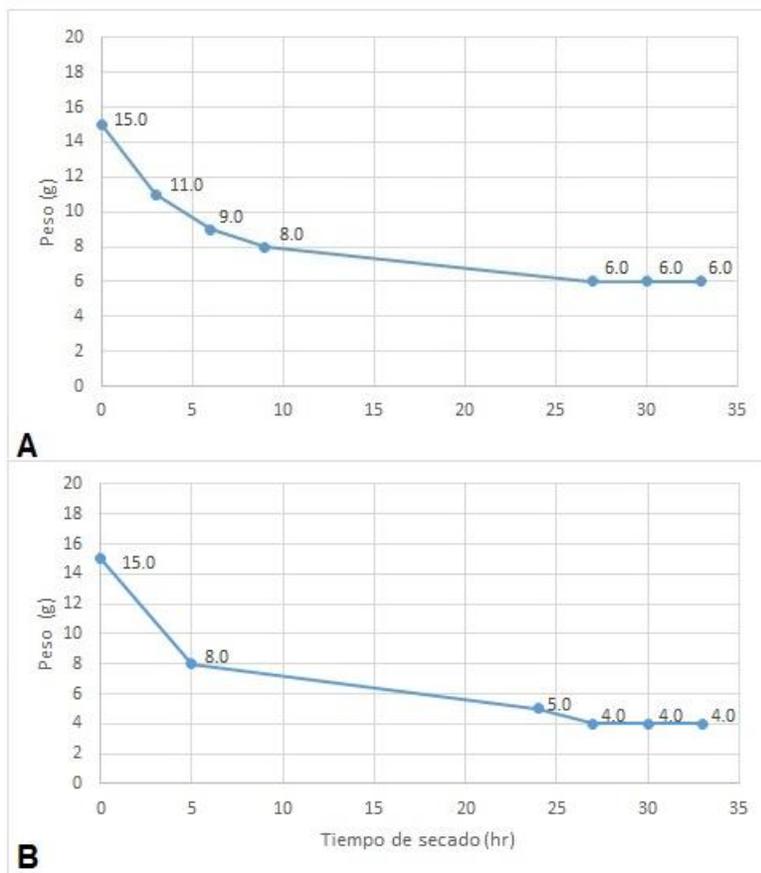
Al inicio, ambas especies fueron sometidas a un cambio brusco de temperatura ya que comenzaron su desarrollo a 32°C aproximadamente y tuvieron que adaptarse a temperaturas que alcanzan los 44°C. Sin embargo, durante el cultivo de hierbabuena y te limón se observó que las plantas lograron adaptarse después de 4 meses, es decir cuando comenzó la temporada de lluvia y la temperatura descendió. Probablemente si se cultivaran las plantas de ambas especies desde la plantación es posible que logren desarrollarse mejor. Por otro lado, el bajo

rendimiento está relacionado con las diversas podas realizadas para la recolección de hojas, las cuales fueron utilizadas para elaborar las infusiones.

## 6.2 Deshidratación solar de hojas de hierbabuena y té limón.

La deshidratación solar es un proceso de conservación que consiste en eliminar el agua libre presente en los alimentos, de modo que evita así la proliferación de microorganismos, permitiendo la preservación de los alimentos por periodos largos de tiempo. Esta operación se realiza con la aplicación de calor del sol para la reducción de su contenido de humedad. La principal ventaja de la deshidratación solar es aprovechar la energía solar y dar valor agregado a nuestros productos (Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural, 2015). Se debe tener en cuenta que la deshidratación inhibe el proceso enzimático, pero no lo destruye, es decir si el material se rehidrata el proceso enzimático se revierte y esto puede alterar sustancialmente la calidad del material por destrucción o descomposición de sus componentes (Velásquez, 2009 ).

Para la observación de la deshidratación de manera solar, se utilizaron 15 g de hojas de té limón y 15 g de hierbabuena, el proceso se inició por la mañana. Ambas alcanzaron un peso constante a las 30 horas, como se observa en la **Figura 19**. El contenido de humedad fue de 60% para el té limón y 73.3% para la hierbabuena. Durante estas horas de secado las hojas estuvieron expuestas a una temperatura de entre 24°C y 41°C, de acuerdo a los datos recabados.



**Figura 19. A:** Pérdida de peso en té limón (*Cymbopogon citratus*); **B:** pérdida de peso en hierbabuena (*Mentha spicata*).

Castillo et al. (2019), realizaron un estudio donde deshidrataron hojas de té limón y hierbabuena, que fueron expuestas a una temperatura máxima de 34.2°C y una humedad que osciló entre 44 % y 47 %. Como resultado, el tiempo de secado del té limón fue de 4 horas y 10 minutos, mientras que en la hierbabuena se redujo a 3 horas y 20 minutos. Como se mencionó anteriormente, una vez deshidratado el alimento puede rehidratarse. En la rehidratación el agua es absorbida más rápidamente al inicio del proceso y luego disminuye gradualmente la absorción hasta que el contenido de humedad alcanza un equilibrio, es decir, que todos los espacios inter o intracelulares queden saturados con agua (Marín et al., 2006).

Durante el proceso de deshidratación del presente estudio, se observó que los pesos oscilaban, lo cual indica que las hojas se rehidrataban entre un 6 y 8%; esto

debido a la alta humedad relativa en la comunidad de Conca la cual puede llegar hasta cerca de 91%. En una deshidratación solar, es muy importante considerar la humedad relativa, ya que esto se relaciona directamente con la pérdida de agua en el producto.

### 6.3 Capacidad antioxidante y contenido de fenoles de las bebidas

El término compuestos fenólicos engloba a todas aquellas sustancias que poseen varias funciones fenol, que se encuentran casi en todos aquellos alimentos de origen vegetal. Estas sustancias influyen en la calidad, aceptabilidad y estabilidad de los alimentos, ya que actúan como colorantes y proporcionan sabor; aunque lo más destacable de los compuestos fenólicos son sus propiedades antioxidantes, por lo que son de gran interés. Por otro lado, la concentración de estos compuestos en cualquier alimento varía, ya que depende de muchos factores como la variedad, el grado de maduración e incluso el manejo y procesamiento de los vegetales (Creus, 2004). En este estudio se evaluó la concentración de compuestos fenólicos totales en las bebidas, así como la capacidad antioxidante mediante la técnica de ABTS y DPPH. Se observó que tanto el contenido de fenoles, como la capacidad antioxidante, es mayor en la hierbabuena que en el té limón. Los resultados se muestran en la **Tabla 5**.

**Tabla 5.** Contenido de fenoles y capacidad antioxidante para té limón y hierbabuena

	<b>Contenido de fenoles (mg AG/L)</b>	<b>Capacidad antioxidante ABTS (mg equivalentes trolox/L)</b>	<b>Capacidad antioxidante DPPH (% de inhibición)</b>
<b>Hierbabuena</b>	3.95±0.02	14.86±0.09	82.065±0.04
<b>Té limón</b>	1.01±0.07	10.72±0.04	50.074±0.04

Los resultados se presentan como la media ±DE.

Ordoñez et al. (2013) reportaron para té limón un contenido fenólico de 86.84 mg AG/L y Alvis et al. (2012) reportaron 404.4 mg AG/L. Además, Muñoz et al. (2018) reportaron para la hierbabuena un contenido de 0.231 mg AG/L mientras que Gutierrez Bedmar et al. (2015) reportaron 43.14 mg AG/L y Muñoz-Velázquez et al. (2012) reportaron valores de 201.93 a 231.85 mg AG/L. Estos valores no coinciden

con los obtenidos en el presente estudio y además son muy diferentes entre sí. Esta diferencia entre los valores está relacionada con muchos factores como las condiciones del cultivo, el lugar de producción, tiempo de cosecha, la calidad de la hoja, la exposición de la luz solar al momento de la deshidratación y el procesamiento y almacenamiento de estas plantas (Pacheco et al., 2020).

Por otro lado, Ordoñez et al. (2018) reportaron que el té limón presentaba una actividad antioxidante de 2.12 mg trolox/L mientras que Alvis et al., (2012) reportaron 1477 mg trolox/L, así mismo Muñoz-Velázquez et al., (2012) reportaron 1.72 a 2.04 mg equivalentes trolox/L para hierbabuena. De manera similar al contenido de fenoles, la capacidad antioxidante depende de muchos factores como las condiciones del cultivo, el lugar de producción, tiempo de cosecha, calidad de la hoja y manejo y procesamiento de la planta, esto explica las muchas diferencias entre los distintos estudios (Carrasco & Zelada, 2008).

#### 6.4 Rendimiento en la microencapsulación

Se define como rendimiento de encapsulación a la cantidad de polvo obtenido al final del secado por aspersion respecto a la cantidad de material colocado en la solución alimentada (Hernández, et al., 2020). En la presente investigación se obtuvo un rendimiento de  $30.60 \pm 2.19\%$  (Tratamiento 1: 14 % de Inulina + 6 % WPI) y  $32.27 \pm 0.06\%$  (Tratamiento 2: 14 % WPI + 6 % Inulina) para ambos tratamientos (**Tabla 4**) y no se detectó diferencia significativa entre ellos, así mismo una actividad de agua en las microcápsulas de  $0.17 \pm 0.3$  y  $0.30 \pm 0.2$  para ambos tratamiento. Coronel (2015), realizó una investigación donde evaluó las condiciones del proceso de secado por aspersion para obtener curcumina en polvo a partir de extracto de cúrcuma mezclado con maltodextrina, obteniendo un rendimiento de 80.45%. La suspensión de secado se formuló con glicerina y concentrado de cúrcuma (13.86%), maltodextrina (28.14%) y agua (58%), la emulsión formulada fue secada a una temperatura de entrada de 140-160°C y a 75-95°C de salida. Además, Fabela et al. (2016), reportaron un rendimiento de encapsulación de 73%. Estos autores encapsularon oleorresina de cúrcuma utilizando una mezcla de goma arábica, inulina y concentrado de proteína de suero de leche. El rendimiento más alto

obtenido en estos estudios puede deberse al material de pared que utilizaron, algunos autores han reportado que la goma arábica y la maltodextrina poseen alta solubilidad, baja viscosidad y alta eficiencia a la hora de encapsular (Burin et al., 2011; Aksoylu & Günç, 2020). Esto coincide con Ríos & Gil (2021), puesto a que mencionan que al utilizar maltodextrina como agente encapsulante normalmente se espera una eficiencia que oscila 88% y 98%, por lo que es probable que se pueda obtener un mayor rendimiento al microencapsular la curcumina solamente en inulina o en otros carbohidratos como la maltodextrina y la goma arábica.

Por otro lado, de acuerdo a Hernández (2020), el equipo Mini Spray Dryer B-290 (Büchi, Switzerland), utilizado en este trabajo, tiene ventajas que lo ha hecho uno de los secadores por aspersion más utilizados a nivel laboratorio. Sin embargo, una de sus desventajas es que presenta un rendimiento medio o bajo; esto puede deberse a que las gotas que emergen de la boquilla de doble flujo del equipo entran a la cámara de secado proyectadas hacia las paredes verticales de la misma. Lo que significa que las gotas asperjadas no se han secado lo suficiente antes de impactar las paredes, de manera que pueden adherirse a la mismas disminuyendo el rendimiento. La cámara de secado de dicho equipo es estrecha por lo que este fenómeno se ha reportado ampliamente (Keshani et al., 2015)

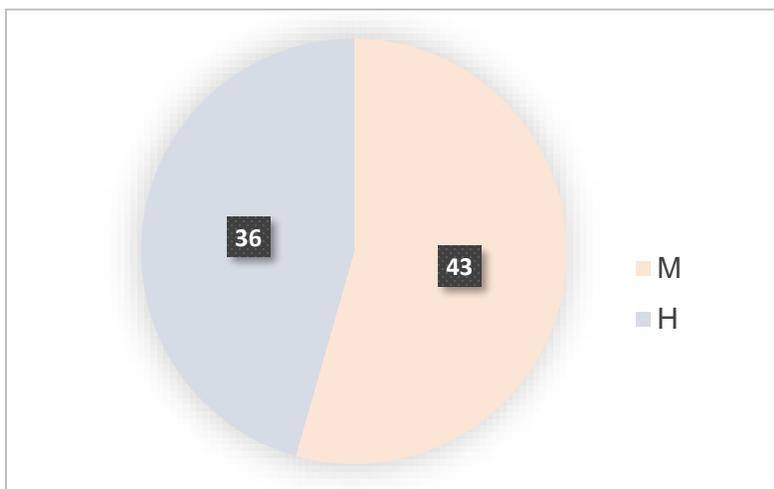
Finalmente, a pesar de que no se encontró diferencia estadística entre los tratamientos, es probable que en la práctica, ese 2% si represente un diferencia ya que la encapsulación mediante secado por aspersion, además de demandar tiempo también es costosa (Tangarife et al., 2021) (Hernández, 2020). En este sentido el tratamiento con un mejor resultado es con 14 % WPI + 6 % Inulina como materiales de pared.

## 6.5 Evaluación sensorial

De acuerdo a los resultados obtenidos en los análisis microbiológicos realizados a las bebidas de hierbabuena y té limón, se encontró que la bebida de té limón y hierbabuena adicionadas con 14 % de Inulina + 6 % WPI superaba el rango en bacterias mesófilas aerobias permitidas de acuerdo a la norma oficial mexicana NOM-218-SSA1-2011, (Productos y servicios. Bebidas saborizadas no alcohólicas,

sus congelados, productos concentrados para prepararlas y bebidas adicionadas con cafeína. Especificaciones y disposiciones sanitarias. Métodos de prueba.), donde el rango máximo establecido es de 50 UFC/g o mL. Por tal razón se desecharon estas bebidas y únicamente se evaluaron sensorialmente las bebidas de té limón y hierbabuena adicionadas con microcápsulas de curcumina en 14 % de WPI y 6 % de inulina es decir el T1 (**Tabla 4**), tratamiento que además resultó con el mejor rendimiento de encapsulación.

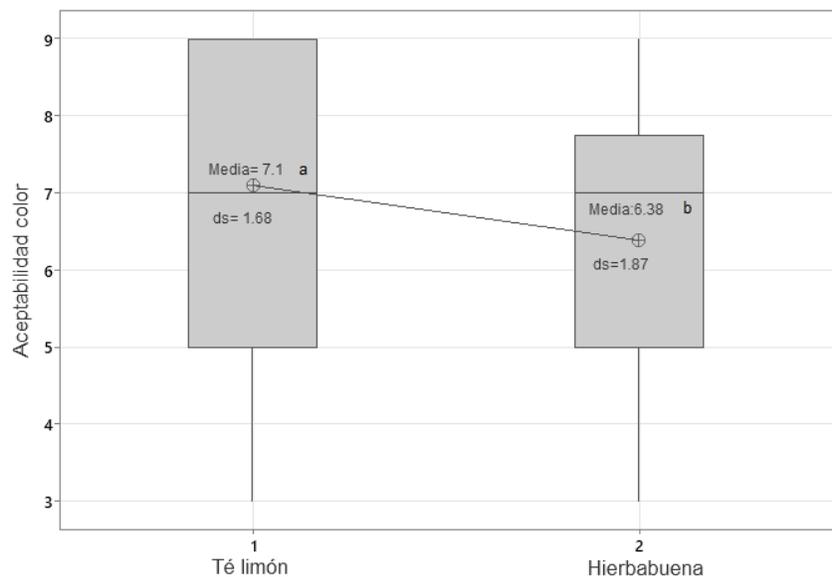
Se realizó una evaluación sensorial con un panel no entrenado de 80 personas (43 mujeres; 36 hombres; 1 sin definir) (**Figura 20**). Se les pidió que dieran su opinión respecto a la aceptabilidad general de la bebida de acuerdo al sabor, aroma y color de cada formulación en una escala hedónica de 9 puntos; en donde 1 fue la calificación más baja y representó “me disgusta mucho”, y 9 la más alta y representa “me gusta mucho”.



**Figura 20.** Sexo de los participantes. M: mujeres; H: hombres.

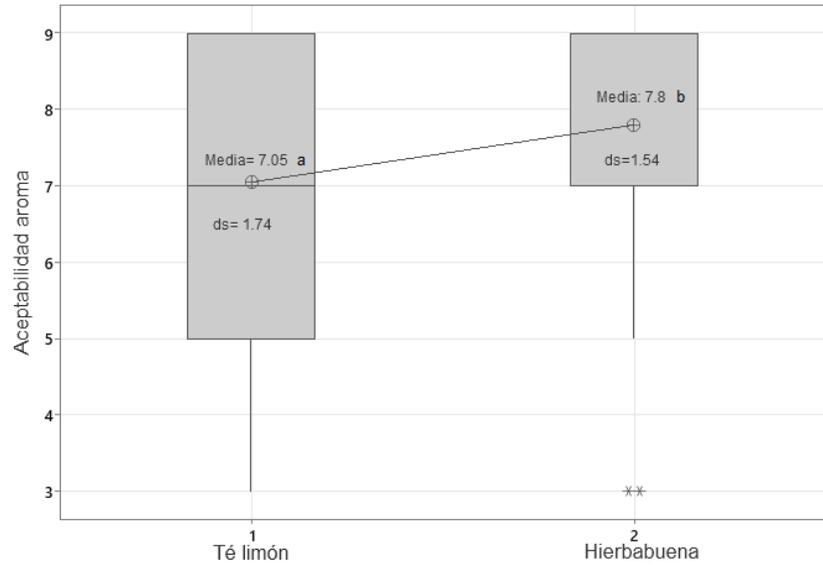
Como se observa en la **Figura 21**, la aceptabilidad del color de las bebidas fue diferente entre las formulaciones ( $p \leq 0.05$ ). La preferencia de los evaluadores fue por la formulación de té limón, la cual obtuvo una calificación promedio de  $7.1 \pm 1.68$ , mientras que la hierbabuena presentó una evaluación promedio de  $6.38 \pm 1.87$ . De acuerdo a los comentarios por los participantes, el color de la bebida de hierbabuena

era diferente al de las infusiones que normalmente consumen. Esto probablemente se debió, a la adición de las microcápsulas ya que adquirió un color amarillo ámbar, un color totalmente diferente al que comúnmente conocemos en una infusión de hierbabuena.



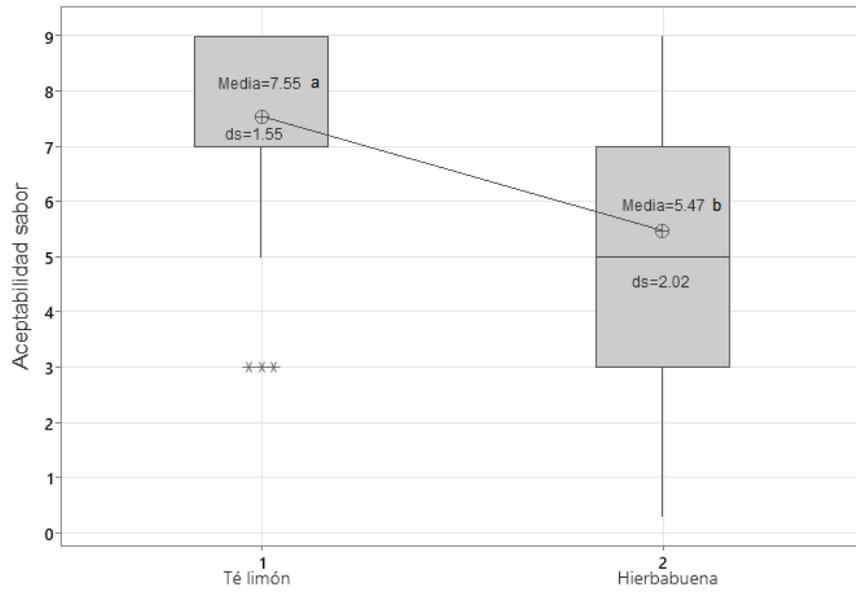
**Figura 21.** Aceptabilidad del color.

En cuanto al aroma de la bebida (**Figura 22**), también se encontró diferencia significativa en la aceptabilidad de las dos formulaciones ( $p \leq 0.05$ ). La aceptabilidad por parte de los evaluadores fue mayor por la formulación de hierbabuena, con una calificación promedio de  $7.8 \pm 1.54$ . Probablemente la hierbabuena poseía un aroma intenso y fresco, por su componente mentol, (Alaşalvar & Çam, 2020).



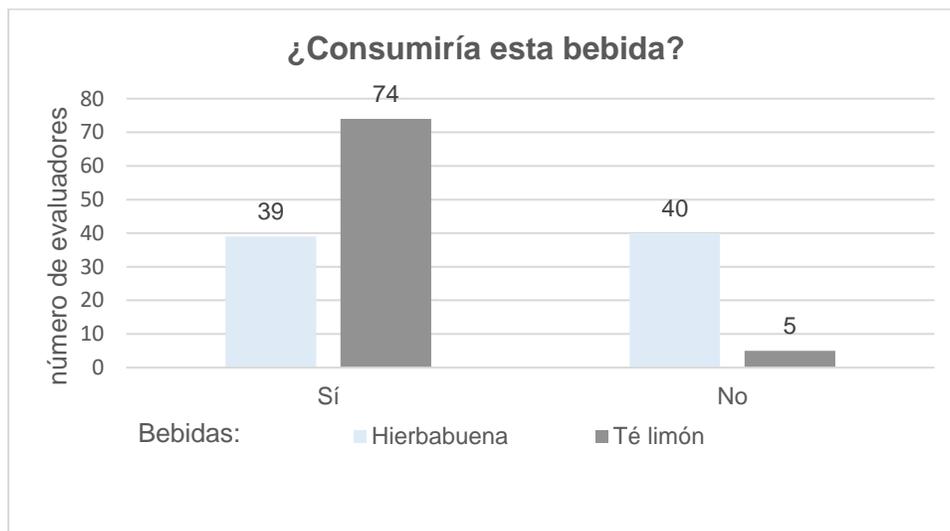
**Figura 22.** Aceptabilidad de aroma por parte de los evaluadores.

Así mismo la aceptabilidad del sabor de las bebidas fue significativamente diferente entre las formulaciones ( $p \leq 0.05$ ) (**Figura 23**). La bebida de té limón obtuvo una calificación promedio de  $7.55 \pm 1.55$  que en la escala hedónica representa “me gusta un poco”, mientras que la de hierbabuena obtuvo 5.51 que en la escala representa “ni me gusta, ni me disgusta”. De acuerdo a los comentarios de los evaluadores, a las bebidas les faltaba un sabor más intenso y característico a hierbabuena y té limón y en especial la de hierbabuena, dejaba un sabor amargo en el paladar.



**Figura 23.** Aceptabilidad del sabor.

Finalmente, el 92.5% de los evaluadores indicaron que sí consumirían la formulación de té limón; mientras que solo el 48.75%, expresaron que consumirían la de hierbabuena (**Figura 24**).



**Figura 24.** Aceptabilidad general de las bebidas.

A pesar de que ninguna de las formulaciones obtuvo la calificación más alta que corresponde a “Me gusta mucho”, un porcentaje alto de evaluadores consumiría la bebida de té limón. La infusión de té limón es una bebida conocida a nivel mundial, por sus beneficios medicinales debido a sus propiedades, así mismo por su sabor y aroma que la caracteriza (Olivo, 2020). El principal ingrediente activo del té limón es el citral, el cual es el responsable de su intenso aroma. De acuerdo a Morales et al. (2009) el gusto de los alimentos y la interpretación de los sabores se ven influenciados de manera directa por la percepción olfativa, por lo que pudo haber sido este una de los factores que determinaron la mayor aceptación de la bebida té limón por parte de los evaluadores.

Por el contrario, la baja aceptabilidad de la bebida de hierbabuena puede deberse principalmente al cambio de color y turbidez que le proporcionaron las microcápsulas de curcumina, en particular por los materiales de pared. Esto último, coincide con lo reportado por Hernández (2019) quien sugiere que las bebidas podrían almacenarse en un contenedor y así evitar que el consumidor vea el color.

Por otro lado, en la mayoría de los estudios de microencapsulación, se evalúan el rendimiento, la actividad de agua, el pH, el color, tamaño de partícula (Alašalvar & Çam, 2020; Battista et al., 2018; Fabela et al., 2016; Guerin et al., 2017 y Tangarife et al., 2021), pero no las propiedades sensoriales. Las propiedades sensoriales son muy importantes para la aceptación de los productos ya que se detectan por medio de los sentidos por parte de los consumidores (Molina, 2011), por lo que además de evaluar diferentes materiales de pared para la encapsulación de curcumina, es recomendable evaluarlos en un análisis sensorial.

En el desarrollo de productos de alimentación humana, existen múltiples etapas que contemplan la reformulación de acuerdo a los resultados de una evaluación sensorial, con la finalidad de ir mejorando los aspectos que al evaluador/ consumidor no le agradan y conseguir una formulación con buena aceptabilidad. En este sentido, para mejorar el atributo sensorial de color vale la pena explorar otros materiales de pared como la maltodextrina y/o goma arábica para encontrar un material encapsulante que no provoque ese aspecto lechoso que otorgan la proteína

de suero de leche, ya que al consumidor le desagradó de acuerdo a lo indicado con la evaluación sensorial. Es así como, después de analizar los resultados obtenidos en una evaluación sensorial se llega a la formulación “ideal”, en la que posteriormente se podrá trabajar en su caracterización, vida de anaquel, y diseño de envase y etiqueta.

## VII CONCLUSIONES

- Debido a la baja producción de las plantas cosechadas en este trabajo, se concluye que podría haber mejores resultados en el desarrollo de plantas de hierbabuena y té limón en la comunidad de Concá, en Arroyo Seco, Querétaro, si la plantación se llevara a cabo en el mes de julio o agosto, en donde la temperatura desciende por la temporada de lluvias y los siguientes meses por el invierno.
- El tratamiento que mostro tener mejores resultados para la encapsulación fue con 70% de WPI + 30% de Inulina como materiales de pared, esto al producir un 2% más de rendimiento que el tratamiento de 70% de Inulina + 30% de WPI. Este resultado no representa una diferencia estadística, pero es posible que en la práctica sí.
- Es necesario evaluar otros carbohidratos como maltodextrina, goma arábica o sólo inulina como materiales de pared, debido a que la proteína de suero de leche le proporciona un aspecto lechoso a la bebida.
- La bebida elaborada a partir de té limón (*Cymbopogon citratus*) adicionada con 1% de microcápsulas tiene un 93% de aceptabilidad general, por otra parte, la bebida elaborada con hierbabuena (*Mentha spicata*) mostro tener mayor cantidad de fenoles totales y capacidad antioxidante, pero esto no fue suficiente para obtener una aceptabilidad general por parte del panel evaluador como lo obtuvo el té limón.

## VIII REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adolfo, R., & Huertas, P. (2011). *Revisión: Microencapsulación de Alimentos*. 63(2), 5669–5684.
- Akhavan, S., Assadpour, E., Katouzian, I., & Jafari, S. M. (2018). Lipid nano scale cargos for the protection and delivery of food bioactive ingredients and nutraceuticals. *Trends in Food Science & Technology*, 74(August 2017), 132–146. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.02.001>
- Aksoylu Özbek, Z., & Günç Ergönül, P. (2020). Optimisation of wall material composition of freeze–dried pumpkin seed oil microcapsules: Interaction effects of whey protein, maltodextrin, and gum Arabic by D–optimal mixture design approach. *Food Hydrocolloids*, 107, 105909. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105909>
- Alaşalvar, H., & Çam, M. (2020). Ready to drink iced teas from microencapsulated spearmint (*Mentha spicata* L.) and peppermint (*Mentha piperita* L.) extracts: physicochemical, bioactive and sensory characterization. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14(3), 1366–1375. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00386-4>
- Alvis, A., Martínez, W., & Arrazola, G. (2012). Obtención de extractos hidroalcohólicos de limoncillo (*Cymbopogon citratus*) como antioxidante natural. *Informacion Tecnologica*, 23(2), 3–10. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642012000200002>
- Andrade-González, (2021). Microencapsulación por secado por aspersión de compuestos bioactivos en diversas matrices: una revisión. *Tecnológicas*, 24(51), e1836. <https://doi.org/10.22430/22565337.1836>
- Ariyaratna, I. R., & D. Nedra Karunaratne. (2016). Microencapsulation stabilizes curcumin for efficient delivery in food applications. *Food Packaging and Shelf Life*, 10, 79–86. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2016.10.005>

- Assadpour, E., & Jafari, S. M. (2019). Advances in Spray-Drying Encapsulation of Food Bioactive Ingredients: From Microcapsules to Nanocapsules. *Annual Review of Food Science and Technology*, 10(1), 103–131.  
<https://doi.org/10.1146/annurev-food-032818-121641>
- Bucurescu, A., Blaga, A. C., Estevinho, B. N., & Rocha, F. (2018). Microencapsulation of Curcumin by a Spray-Drying Technique Using Gum Arabic as Encapsulating Agent and Release Studies. *Food and Bioprocess Technology*, 11(10), 1795–1806. <https://doi.org/10.1007/s11947-018-2140-3>
- Burin, V. M., Rossa, P. N., Ferreira-Lima, N. E., Hillmann, M. C. R., & Boirdignon-Luiz, M. T. (2011). Anthocyanins: optimisation of extraction from Cabernet Sauvignon grapes, microcapsulation and stability in soft drink. *International Journal of Food Science & Technology*, 46(1), 186–193.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02486.x>
- Bustamante, B. F. (2015). Universidad nacional José Faustino Sánchez Carrión.
- Cabanillas, L. R. V. (2016). Escuela Profesional De Farmacia Y. *Tesis*, 1–105.  
[http://repositorio.uladech.edu.pe/bitstream/handle/123456789/206/Vargas\\_cabanillas\\_liseth\\_roxana\\_uso\\_antiinflamatorios\\_no\\_esteroideos.pdf?sequence=1&isallowed=y](http://repositorio.uladech.edu.pe/bitstream/handle/123456789/206/Vargas_cabanillas_liseth_roxana_uso_antiinflamatorios_no_esteroideos.pdf?sequence=1&isallowed=y)
- Carrasco, R. R. de, & Zelada, C. R. E. (2008). Determinación De La Capacidad Antioxidante Y Compuestos Bioactivos De Frutas Nativas Peruanas. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 2, 108–124. Retrieved from  
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=371937609004>
- Castillo-Téllez, M., Castillo-Téllez, B., Ovando-Sierra, J. C., & Hernández-Cruz, L. M. (2019). Influencia de las condiciones de secado solar en la coloración de plantas medicinales. *Revista de Energías Renovables*, 3(9), 28–34.  
<https://doi.org/10.35429/jre.2019.9.3.28.34>
- Chacón Gurrola et al. (2017). Relación con la salud y bioactividades.
- Coronel Delgado, A. Y. (2015). *Efecto de las condiciones de secado por asperción*

en la obtención de un colorante natural a partir de extractos líquidos de curcuma ( *Curcuma longa L* ). 1–83.

Creus, E. V. A. G. (2004). *Compuestos fenólicos*. 23, 80–84.

Degot, P., Huber, V., Hofmann, E., Hahn, M., Touraud, D., & Kunz, W. (2021). Solubilization and extraction of curcumin from *Curcuma Longa* using green, sustainable, and food-approved surfactant-free microemulsions. *Food Chemistry*, 336, 127660. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127660>

Di Battista, C. A., Ramírez-Rigo, M. V., & Piña, J. (2018). Microencapsulation of Phytosterols by Spray Drying. In *Studies in Natural Products Chemistry* (Vol. 56). <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64058-1.00011-X>

Fabela-Morón M. F., Perea-Flores M. J., & y Bellettini M. B. (2016). Microencapsulación de oleorresina de Cúrcuma a partir de una emulsión aceite en agua (O/W) mediante secado por aspersion. *Revista de Ingeniería y Tecnologías Para El Desarrollo Sustentable*, Vol. 1, 48-52 pp. <https://doi.org/ISSN: 2448-7198>

Faridi Esfanjani, A., Assadpour, E., & Jafari, S. M. (2018). Improving the bioavailability of phenolic compounds by loading them within lipid-based nanocarriers. *Trends in Food Science & Technology*, 76, 56–66. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.04.002>

Gokalp, I., Nese, K., & Mine, K. (2002). Antimicrobial screening of *Mentha piperita* essential oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 3943–3946.

González-Albadalejo, J., Sanz, D., Claramunt, R. M., Lavandera, J. L., Alkorta, I., & Elguero, J. (2015). Curcuminay curcuminoides: Química, estudios estructurales y propiedades biológicas. *Anales de La Real Academia Nacional de Farmacia*, 81(4), 278–310.

González, J. C. A., De Colmenares, N. G., Usubillaga, A., Darghan, E., & Linares, S. (2008). Evaluación de variables agronómicas en el cultivo de limonaria (*Cymbopogon citratus Stapf*) para la producción de aceite esencial.

*Interciencia*, 33(9), 693–699.

Guerin, J., Petit, J., Burgain, J., Borges, F., Bhandari, B., Perroud, C., ... Gaiani, C. (2017). Lactobacillus rhamnosus GG encapsulation by spray-drying: Milk proteins clotting control to produce innovative matrices. *Journal of Food Engineering*, 193, 10–19. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.08.008>

Gutierrez Bedmar, M., Barón López, F., Gea Izquierdo, E., Nogareda Cuixart, C., Montalban Peregrin, F., Orell Cabrera, J. (2015). *Referencia\_1.Pdf*.

Gutiérrez, M., & Mayorga, D. J. (2019). *Comportamiento del desarrollo vegetativo de la hierbabuena ( Mentha spicata L .) empleando tres diferentes sustratos a nivel de vivero AUTOR : Br . Ronald Geovanny Membreño Gutiérrez.*

Hernandez-Barrueta. (2019). Desarrollo de una bebida de té verde adicionada con probióticos microencapsulados en almidón modificado de huauzontle (*Chenopodium berlandieri*) y proteína de suero de leche (tesis de maestría). Univerisdad Autónoma de Querétaro, México.

Hernández-Barrueta, T., Martínez-Bustos, F., Castaño-Tostado, E., Lee, Y., Miller, M. J., & Amaya-Llano, S. L. (2020). Encapsulation of probiotics in whey protein isolate and modified huauzontle's starch: An approach to avoid fermentation and stabilize polyphenol compounds in a ready-to-drink probiotic green tea. *Lwt*, 124(November 2019), 109131. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109131>

Hernandez Huesca Karina. (2016). *Caracterizacion y digestion gastrointestinal de capsulas de curcuma*. Retrieved from <https://www.uv.mx/mca/files/2018/01/TESIS-I.-en-A.-KARINA-HERNANDEZ-HUESCA.pdf>

Huanca, J., Jaimes, P., & José, Á. (2018). Efecto antifungico in vitro del extracto etanólico de las hojas de la *Mentha spicata* (hierba buena) contra cultivos de *Candida albicans*. *Universidad Interamericana Para El Desarrollo*, 1–41. Retrieved from <http://repositorio.unid.edu.pe/handle/unid/29>

- Jafari, S. M., Assadpoor, E., He, Y., & Bhandari, B. (2008). Encapsulation Efficiency of Food Flavours and Oils during Spray Drying. *Drying Technology*, 26(7), 816–835. <https://doi.org/10.1080/07373930802135972>
- Jantzen, M., Göpel, A., & Beermann, C. (2013). Direct spray drying and microencapsulation of probiotic *Lactobacillus reuteri* from slurry fermentation with whey. *Journal of Applied Microbiology*, 115(4), 1029–1036. <https://doi.org/10.1111/jam.12293>
- Juárez, C. (2020, 07 de Mayo). Mercado de té e infusiones. *The Food Tech*. <https://thefoodtech.com/tendencias-de-consumo/mercado-de-te-e-infusiones-ha-crecido-48-en-los-ultimos-cinco-anos/>
- Kedia, A., Prakash, B., Mishra, P. K., Chanotiya, C. S., & Dubey, N. K. (2014). Antifungal, antiaflatoxicogenic, and insecticidal efficacy of spearmint (*Mentha spicata* L.) essential oil. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 89, 29–36. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2013.10.027>
- Keshani, S., Daud, W. R. W., Nourouzi, M. M., Namvar, F., & Ghasemi, M. (2015). Spray drying: An overview on wall deposition, process and modeling. *Journal of Food Engineering*, 146, 152–162. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.09.004>
- López Córdova, P. (2017). Química e industria de la curcumina. *Universidad Nacional Mayor de San Marcos*, 206.
- Luna Guevara, J. J., López Fuentes, J. M., Jiménez González, O., & Luna Guevara, L. (2016). Microencapsulación de algunos compuestos bioactivos mediante secado por aspersion / Microencapsulation of some bioactive compounds through spray drying. *CIBA Revista Iberoamericana de Las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 5(10), 39. <https://doi.org/10.23913/ciba.v5i10.56>
- Toro Suarez Luz Yolanda, Duri Kartika, C., RI, kementrian kesehatan, Studi, P., Dokter, P., Kedokteran, F., ... Luz Yolanda Toro Suarez. (2015). "EFECTIVIDAD DE LA HIERBA BUENA (*Mentha spicata*) EN TRATAMIENTO

DE NEMATODIASIS GASTROINTESTINAL EN *Canis familiaris* PROVINCIA PIURA, 16(1994), 1–27. Retrieved from [http://eprints.ums.ac.id/37501/6/BAB II.pdf](http://eprints.ums.ac.id/37501/6/BAB%20II.pdf)

- Madrigal Lorena. (2007). *La inulina y derivados como ingredientes claves en alimentos funcionales*. 57(2), 387–397.
- Mahboubi, M. (2017a). *Mentha spicata* as natural analgesia for treatment of pain in osteoarthritis patients. *Complementary Therapies in Clinical Practice*, 26(2), 1–4. <https://doi.org/10.1016/j.ctcp.2016.11.001>
- Mahboubi, M. (2017b). *Mentha spicata* as natural analgesia for treatment of pain in osteoarthritis patients. *Complementary Therapies in Clinical Practice*, 26, 1–4. <https://doi.org/10.1016/j.ctcp.2016.11.001>
- Mahdavee Khazaei, K., Jafari, S. M., Ghorbani, M., & Hemmati Kakhki, A. (2014). Application of maltodextrin and gum Arabic in microencapsulation of saffron petal's anthocyanins and evaluating their storage stability and color. *Carbohydrate Polymers*, 105(1), 57–62. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.01.042>
- Maldonado, C., Paniagua-Zambrana, N., Bussmann, R., Zenteno-Ruiz, F., y F. A. (2020). La importancia de las plantas medicinales, su taxonomía y la búsqueda de la cura a la enfermedad que causa el coronavirus (COVID-19). *Ecología En Bolivia*, 55(1), 1–5. Retrieved from [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1605-25282020000100001&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1605-25282020000100001&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Marín, E. B., Lemus, R. M., Flores, V. M., & Vega, A. G. (2006). Revista Chilena de Nutrición La rehidratación de alimentos deshidratados the rehydration of dehydrated foods. *Revista Chilena de Nutrición*, 33(33). Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46914636009>
- Martín Ortega, A. M., & Segura Campos, M. R. (2019). Bioactive Compounds as Therapeutic Alternatives. In *Bioactive Compounds* (pp. 247–264). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814774-0.00013-X>

- Mishra, J., Bhardwaj, A., & Misra, K. (2018). Curcuma sp.: The Nature's Souvenir for High-Altitude Illness. In *Management of High Altitude Pathophysiology* (pp. 153–169). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813999-8.00008-2>
- Molina, 2011. (2011). Curso de Análisis Sensorial De Alimentos. *Csic*, 1, 79.
- Morales, J. M., Mingo, E. M., & Caro, M. Á. (2009). Cavidad Oral, Faringe, Esófago: Fisiología del Gusto. *Libro Virtual de Formación En ORL, Capítulo 6*, 1–8.
- Morón Rodríguez, F., Furones Mourelle, J. A., & Pineda Gutiérrez, Z. (2014). *Cymbopogon citratus*. In *Revista Cubana de Plantas Medicinales* (Vol. 1). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809286-6/00018-2>
- Muñoz-Velázquez, E. E., Rivas-Díaz, K., Loarca-Piña, M. G. F., Mendoza-Díaz, S., Reynoso-Camacho, R., & Ramos-Gómez, M. (2018). Comparación del contenido fenólico, capacidad antioxidante y actividad antiinflamatoria de infusiones herbales comerciales. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(3), 481–495. <https://doi.org/10.29312/remexca.v3i3.1443>
- Narváez, L. J. P. (2022). Evaluación del potencial antioxidante del extracto de *Margyricarpus pinnatus* (Lam.) Kuntze microencapsulado mediante secado por aspersión y su uso en la formulación de una bebida instantánea. In *הארץ*. Retrieved from <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/autism-spectrum-disorders>
- Neves, M. I. L., Desobry-Banon, S., Perrone, I. T., Desobry, S., & Petit, J. (2019). Encapsulation of curcumin in milk powders by spray-drying: Physicochemistry, rehydration properties, and stability during storage. *Powder Technology*, 345, 601–607. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.01.049>
- Ordoñez, E., López, A., & Reátegui, D. (2013). *Agroindustrial Science*. 2(3), 147–154.
- Ordoñez, E., Villanueva, J., & Reátegui, D. (2018). Actividad antioxidante y polifenoles totales de infusiones herbarias fresca, seca y comerciales.

*Investigación y Amazonía*, 8(5), 26–39. Retrieved from  
<https://revistas.unas.edu.pe/index.php/revia/article/view/203/186>

Pacheco-Coello, F., Peraza-Marrero, M., Orosco-Vargas, C., Ramirez-Azuaje, D., & Pinto-Catari, I. (2020). Determinación De Compuestos Fenólicos Totales Y Evaluación De La Actividad Antioxidante De Té Verde Comercial Y Artesanal Comercializados En Maracay, Venezuela. *Revista Boliviana de Química*, 37(1), 28–33. <https://doi.org/10.34098/2078-3949.37.1.4>

Pérez Sánchez Christian Fabián. (2019). Microencapsulación de compuestos fenólicos de la planta de sunfo (*Clionopodium nubigenum* Kunth Kuntze), mediante secado por aspersión. *Sistema Biodigestor*. Retrieved from <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/6265>

Rafiee, Z., & Jafari, S. M. (2018). *Application of Lipid Nanocarriers for the Food Industry*. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-54528-8\\_93-1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-54528-8_93-1)

Ramos Flores, G. (2009). A-

Ray, S., Raychaudhuri, U., & Chakraborty, R. (2016). An overview of encapsulation of active compounds used in food products by drying technology. *Food Bioscience*, 13, 76–83. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2015.12.009>

Rita, I., Pereira, C., Barros, L., Santos-Buelga, C., & Ferreira, I. C. F. R. (2016). *Mentha spicata* L. infusions as sources of antioxidant phenolic compounds: Emerging reserve lots with special harvest requirements. *Food and Function*, 7(10), 4188–4192. <https://doi.org/10.1039/c6fo00841k>

Rojas, J., Trávez, A., Castellano, Zambrano, Z., Iglesias, L., & Pichucho, P. (2022). Microencapsulación del extracto acuoso de cedrón ( *Aloysia citrodora* ) mediante secado por aspersión Microencapsulation of the aqueous extract of cedron. *UTCiencia*, 9(2), 99–112.

Saiz de Cos, P. (2014). Cúrcuma I (*Curcuma longa* L.). *REDUCA (Biología)*, 7(2), 84–99.

Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. (2015). Manual De Deshidratación.

2019, 3, 57. Retrieved from [http://www.canunite.org/wp-content/uploads/2015/09/3\\_ModuleFoodSecurity.pdf](http://www.canunite.org/wp-content/uploads/2015/09/3_ModuleFoodSecurity.pdf)

Shishir, M. R. I., Xie, L., Sun, C., Zheng, X., & Chen, W. (2018). Advances in micro and nano-encapsulation of bioactive compounds using biopolymer and lipid-based transporters. *Trends in Food Science & Technology*, 78, 34–60.

<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.05.018>

Soto Vásquez, M., Alvarado García, P., Rosales Cerquín, L., & Cerna Castillo, J. (2017). *E. com E. c.* 8(1), 2010–2011.

Tangarife, D. P. C., Arias, L. P. P., & Zapata, A. M. O. (2021). Technological aspects of the microencapsulation bioactive food compounds by spray-drying. *Ciencia Tecnología Agropecuaria*, 22(1), 1–21.

[https://doi.org/10.21930/RCTA.VOL22\\_NUM1\\_ART:1899](https://doi.org/10.21930/RCTA.VOL22_NUM1_ART:1899)

Velásquez, A. G. (2009). Manual técnico de diseño y evaluación económica de secadores ambientales para hierbas aromáticas.