



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

Caracterización fisicoquímica de jengibre (*Zingiber
officinale*) cultivado en la Sierra Norte de Puebla
durante su maduración

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADO EN QUÍMICA EN ALIMENTOS

PRESENTA

Francisco González Mesillas

DIRECTORES

Judith Jaimez Ordaz
Luis Guillermo González Olivares
Juan Ramírez Godínez



Pachuca de Soto, Hidalgo; 2016



Esta investigación se realizó en el laboratorio de Biotecnología II del Área Académica de Química de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.



M. en A. JULIO CÉSAR LEINES MEDÉCIGO,
DIRECTOR DE CONTROL ESCOLAR
DE LA U.A.E.H.,
Presente:

Por este conducto le comunico que el jurado asignado al pasante de la Licenciatura de Química en Alimentos **Francisco González Mesillas**, quienes presenta el trabajo de investigación "**Caracterización fisicoquímica de jengibre (*Zingiber officinale*) cultivado en la Sierra Norte de Puebla durante su maduración**", después de revisar el trabajo en reunión de Sinodales, estos han decidido autorizar la impresión del mismo, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación se anotan las firmas de conformidad de los integrantes del Jurado:

Presidente **Dr. Javier Añorve Morga**

Primer vocal **Dra. Judith Jaimez Ordaz**

Segundo vocal **Dr. Luis Guillermo González Olivares**

Tercer vocal **Dra. Araceli Castañeda Ovando**

Secretario **Dra. Elizabeth Contreras López**

Primer suplente **M. en C. Juan Ramírez Godínez**

Segundo suplente **Q. A. Juan Francisco Gutiérrez Rodríguez**

Sin otro particular, reitero a usted la seguridad de mi atenta consideración.

ATENTAMENTE
"Amor, Orden y Progreso"
Pachuca Hidalgo, 9 de diciembre de 2015.

Dr. Gian Arturo Álvarez Romero
Coordinador Adjunto de la Licenciatura de
Química en Alimentos

Ciudad del Conocimiento
Carretera Pachuca - Tulancingo km. 4.5
Colonia Carboneras
Mineral de la Reforma, Hidalgo, México, C.P. 42184
Tel. +52 771 7172000 exts. 2200 y 2201, Fax 6502
aaq_icbi@uaeh.edu.mx



Los resultados de este trabajo de investigación se presentaron en el VI Foro de Alimentos, realizado en el marco de las celebraciones del XV aniversario de la Licenciatura en Química de Alimentos el 23 de abril del 2015 en Ciudad del Conocimiento.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

otorgan el presente

RECONOCIMIENTO

a

Estefanía Trejo Calderón, Francisco González Mesillas, Judith Jaimez Ordaz, Luis Guillermo González Olivares, Araceli Castañeda Ovando, Elizabeth Contreras López, Javier Añorve Morga

Por efectuar la presentación del trabajo: Caracterización fisicoquímica de jengibre (Zingiber officinale) cultivado en la Sierra Norte del estado de Puebla durante su maduración, el día 23 de abril de 2015 en el Aula Magna Ing. Luis Espinosa Farías, en el marco de las celebraciones del XV aniversario de la Licenciatura en Química de Alimentos y el VI Foro de Alimentos.

Mineral de la Reforma, Hgo., a 23 de abril de 2015.

Atentamente
"Amor, Orden y Progreso"



Dr. Orlandeo Avila Pozos
Director

El presente trabajo formó parte del proyecto “Factibilidad del uso de extractos de jengibre en la elaboración de bebidas con posibles propiedades funcionales”, desarrollado por el Cuerpo Académico Propiedades y Funcionalidad de Alimentos, del Área Académica de Química y financiado por la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo en la convocatoria Programa Anual de Investigación (PAI) 2015-2016.

Agradecimientos

Primeramente doy gracias a Dios por permitirme tener tan buena experiencia dentro de mi estancia en la universidad, por darme la fuerza y fe para creer lo que parecía imposible terminar, y guiarme por el camino correcto para llegar a concluir esta etapa de mi vida.

Como no podía faltar, quiero agradecer a mi pequeña familia conformada por mi querida esposa y mi mejor amiga Ziomara quien siempre ha estado a mi lado en momentos felices y momentos complicados y a mi pequeño Santiago quien es la mejor bendición que ha llegado a mi vida.

Así mismo, dedico esta tesis a mis padres, que han sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, los cuales me han ayudado a salir adelante en los momentos más difíciles, a mis hermanos que siempre han estado junto a mí y brindándome su apoyo.

De igual forma quiero agradecer a la Dra. Judith por sus conocimientos, sus orientaciones, sus consejos, su manera de trabajar, su gran paciencia y motivación; así como su gran amistad con la que siempre puedo contar. También quiero agradecer al M. en C. Juan Ramírez y a los miembros del jurado su invaluable apoyo en la realización de este proyecto y en la revisión del presente trabajo.

Y finalmente deseo expresar mi agradecimiento a todos mis amigos y personas especiales en mi vida: Oscar, Paola, Emmanuel, Diego, Martín, Isai, Estefanía, Vincent, Julio y a todos los que estuvieron a mi lado durante este tiempo y me dieron su gran apoyo y amistad durante esta etapa.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	2
II.1 Definición, clasificación taxonómica y descripción botánica del jengibre	2
II.2 Composición química del jengibre	3
II.3 Aceites esenciales	5
II.3.1 Composición química del aceite esencial de jengibre	6
II.4 Particularidades de cultivo	7
II.4.1 Clima	7
II.4.2 Suelo	7
II.4.3 Siembra y cosecha	8
II.5 Usos de jengibre	8
II.5.1 Terapéuticos y medicinales	8
II.5.2 Culinarios e industriales	9
III. JUSTIFICACIÓN	10
IV. OBJETIVOS	11
IV.1 Objetivo general	11
IV.2 Objetivos específicos	11
V. MATERIALES Y MÉTODOS	12
V.1 Materia prima	12
V.2 Selección de muestras	12

V.3	Caracterización física	12
V.3.1	Determinación de color	13
V.4	Composición química	13
V.5	Determinación de minerales (Ca, Cu, Fe, Mn, P, Zn) por espectroscopia de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente (ICP)	13
V.5.1	Construcción de la curva de calibración	13
V.5.2	Tratamiento de la muestra	14
V.6	Identificación de compuestos químicos presentes en el aceite esencial de jengibre por Resonancia Magnética Nuclear de protón (RMN- ¹ H)	14
V.6.1	Preparación de la muestra	14
V.6.2	Extracción del aceite esencial y obtención de espectros por RMN- ¹ H	14
V.6.3	Identificación de compuestos químicos presentes en el aceite esencial	15
V.7	Utilización de jengibre como materia prima para la obtención de un producto de confitería	15
V.7.1	Materias primas	15
V.7.2	Acondicionamiento de la materia prima	15
V.7.3	Elaboración de gomitas de grenetina con extracto de jengibre	16
V.7.4	Evaluación sensorial de las gomitas elaboradas	18
V.7.4.1	Prueba utilizada	18
V.7.4.2	Jueces	18
V.7.4.3	Preparación y presentación de las muestras	18
V.8	Tratamiento estadístico de los resultados	18

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
VI.1 Caracterización física	20
VI.1.1 Tamaño y forma	20
VI.1.2 Peso	21
VI.1.3 Número de ramificaciones o brotes	22
VI.1.4 Volumen	22
VI.1.5 Color	23
VI.2 Caracterización química	23
VI.2.1 Análisis proximal	23
VI.2.2 Cuantificación de minerales	25
VI.2.3 Identificación de compuestos químicos presentes en el aceite esencial de jengibre por RMN- ¹ H	27
VI.3 Evaluación sensorial de gomitas de gretina a base de jengibre	35
VII. CONCLUSIONES	38
VIII. PERSPECTIVAS	39
IX. REFERENCIAS	40

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Clasificación taxonómica del jengibre	2
Tabla 2. Composición química de jengibre (100g)	4
Tabla 3. Composición química porcentual de los aceites esenciales del jengibre fresco y deshidratado (<i>Zingiber officinale</i> Roscoe)	6
Tabla 4. Formulaciones propuestas para la elaboración de gomitas de grenetina a base de jengibre	16
Tabla 5. Tamaño promedio de las muestras de jengibre estudiadas	20
Tabla 6. Pesos promedio de las muestras de jengibre analizadas	21
Tabla 7. Parámetros de color medidos en las muestras de jengibre analizadas	23
Tabla 8. Comparación de la composición proximal porcentual del jengibre analizado con datos de diferentes autores	24
Tabla 9. Cuantificación de minerales presentes en el jengibre (mg de mineral/100g de jengibre)	25
Tabla 10. Porcentajes seleccionados de cada uno de los atributos evaluados en las gomitas de grenetina a base de jengibre	35

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Rizoma de jengibre	3
Figura 2. Estructura química del gingerol, shogaol y compuestos relacionados	4
Figura 3. Clasificación de aceites esenciales	5
Figura 4. Diagrama de proceso utilizado para la elaboración de las gomitas de gnetina a base de jengibre	17
Figura 5. Ficha de cata utilizada para la evaluación sensorial de las gomitas de gnetina a base de jengibre	19
Figura 6. Eje mayor (EMa), eje menor (EMe) y espesor (Esp) de rizoma de jengibre	20
Figura 7. Espectro teórico de RMN- ¹ H para el zingibereno reportado en CDCl ₃	28
Figura 8. Espectro teórico de RMN- ¹ H para el curcumeno reportado en CDCl ₃	29
Figura 9. Espectro teórico de RMN- ¹ H para el bisaboleno reportado en CDCl ₃	29
Figura 10. Espectro teórico de RMN- ¹ H para el neral reportado en CDCl ₃	30
Figura 11. Espectro teórico de RMN- ¹ H para el geraniol reportado en CDCl ₃	31
Figura 12. Espectro de RMN- ¹ H (400 MHz) en CDCl ₃ de la muestra comercial	32
Figura 13. Espectro de RMN- ¹ H (400 MHz) en CDCl ₃ de la muestra de 3 meses de maduración.	33
Figura 14. Espectro de RMN- ¹ H (400 MHz) en CDCl ₃ de la muestra de 5 meses de maduración.	33
Figura 15. Espectro de RMN- ¹ H (400 MHz) en CDCl ₃ de la muestra de 8 meses de maduración.	34

I. Introducción

El jengibre, es originario de las zonas tropicales del sureste asiático, exactamente del área Indomalaya al sur de Asia y ha sido naturalizado en Jamaica, África, en las Indias occidentales, México y en la Florida. Es un rizoma que ha sido cultivado y utilizado desde tiempos muy antiguos. Es una especia muy versátil ya que puede usarse fresca, seca o molida. Dicha versatilidad es aprovechada en la mayoría de los países asiáticos donde es apreciada no solo por su aroma delicado y sabor ardiente sino también por sus propiedades medicinales.

El jengibre puede comercializarse fresco, congelado, deshidratado y procesado en diferentes formas, algunas de las más comunes son: en polvo, confituras, bebidas, aceite esencial, entre otras. A diferencia de lo que ocurre en Asia, Europa y países como Estados Unidos; en América Latina y, especialmente en México, el consumo de jengibre es escaso y su producción es baja. Sin embargo, este rizoma presenta excelentes expectativas de mercado internacional vislumbrándose como un rubro de exportación hacia países en donde la demanda del producto tanto fresco como industrializado ha sobrepasado a la oferta. Además, también representa una oportunidad para el mercado nacional en donde existe poca información sobre el jengibre producido.

En el estado de Puebla existe una agrupación de productores de jengibre que exportan toda su producción ya que actualmente, en el mercado nacional, la demanda existente de jengibre es pequeña y la oferta de productos a base de jengibre es baja debido a que se comercializa principalmente fresco y en polvo para usos tanto culinarios como medicinales. El presente trabajo pretende contribuir al estado del arte, proporcionando información sobre las características fisicoquímicas del jengibre producido en la Sierra Norte de Puebla, en distintas etapas de maduración, para su posible utilización como materia prima en el desarrollo de nuevos productos alimenticios.

II. Marco teórico

II.1 Definición, clasificación taxonómica y descripción botánica del jengibre

El jengibre es definido por la Real Academia Española (2014) como 1) Planta de la India, de la familia de las zingiberáceas, con hojas radicales, lanceoladas, casi lineales, flores en espiga, de corola purpúrea, sobre un escapo central de cuatro a seis decímetros de alto, fruto capsular bastante pulposo y con varias semillas, y rizoma del grueso de un dedo, algo aplastado, nudoso, de olor aromático y de sabor acre y picante como el de la pimienta y 2) Rizoma de esta planta.

Su nombre científico es *Zingiber officinale*, es una especia y planta medicinal utilizada desde tiempos antiguos. La familia de la que procede (Zingiberáceas), cuenta con más de 24 géneros y unas 300 especies (Acuña, 2010). De éstas, alrededor de 20, pertenecen al género *Zingiber* (Sharrif y Haddad, 2012). En la Tabla 1 se muestra la clasificación taxonómica del jengibre.

Tabla 1. Clasificación taxonómica del jengibre

Reino	Vegetal
Clase	Monocotiledóneas
Orden	Escitamineas
Familia	Zingiberaceae
Género	Zingiber
Especie	<i>officinale</i>
Nombre científico	<i>Zingiber officinale</i>
Nombre común	Zingiber, jengibre, ajengibre

Fuente: Chiluita y Ulloa, 2005

La planta del jengibre es resistente, alcanza hasta 1.8 m de altura y es similar a un lirio (Acuña, 2010). Posee tallos con hojas y tallos florales, estos últimos por lo común sin hojas, más cortos que los tallos de las hojas y conteniendo un escaso número de flores. Cada flor está rodeada por una delgada bráctea y están situadas en las axilas de grandes brácteas obtusas de color amarillo verdoso, que se encuentran estrechamente apretadas al final del tallo floral formando, en conjunto, una espiga oblongo aovada (Orellana, 2004).

La parte utilizada del jengibre son los rizomas (Figura 1), los cuales crecen horizontalmente, de color cenizo por fuera y blanco amarillento por dentro (Chiluiza y Ulloa, 2005). Son tallos monopodiales, carnosos y aromáticos que pueden llegar a medir hasta 50 cm de largo y están constituidos por tres partes esenciales: corcho, región cortical y cilindro central. Las capas de corcho son producidas en la epidermis



Figura 1. Rizoma de jengibre

y forman de cuatro a ocho estratos de células de parénquima, alargadas en sentido tangencial, que se renuevan constantemente y le dan el aspecto seco y corchoso característico, esta capa debe removerse al preparar el producto comercial (Orellana, 2004).

II.2 Composición química del jengibre

El jengibre posee numerosos compuestos químicos que varían dependiendo de su lugar de origen y de si el rizoma es fresco o seco (Ali *et al.*, 2008). La composición química (Tabla 2) del jengibre está dada por agua, proteínas, materias grasas, fibra (celulosa), aceites esenciales, vitaminas, carbohidratos y cenizas (minerales) (Chiluiza y Ulloa, 2005).

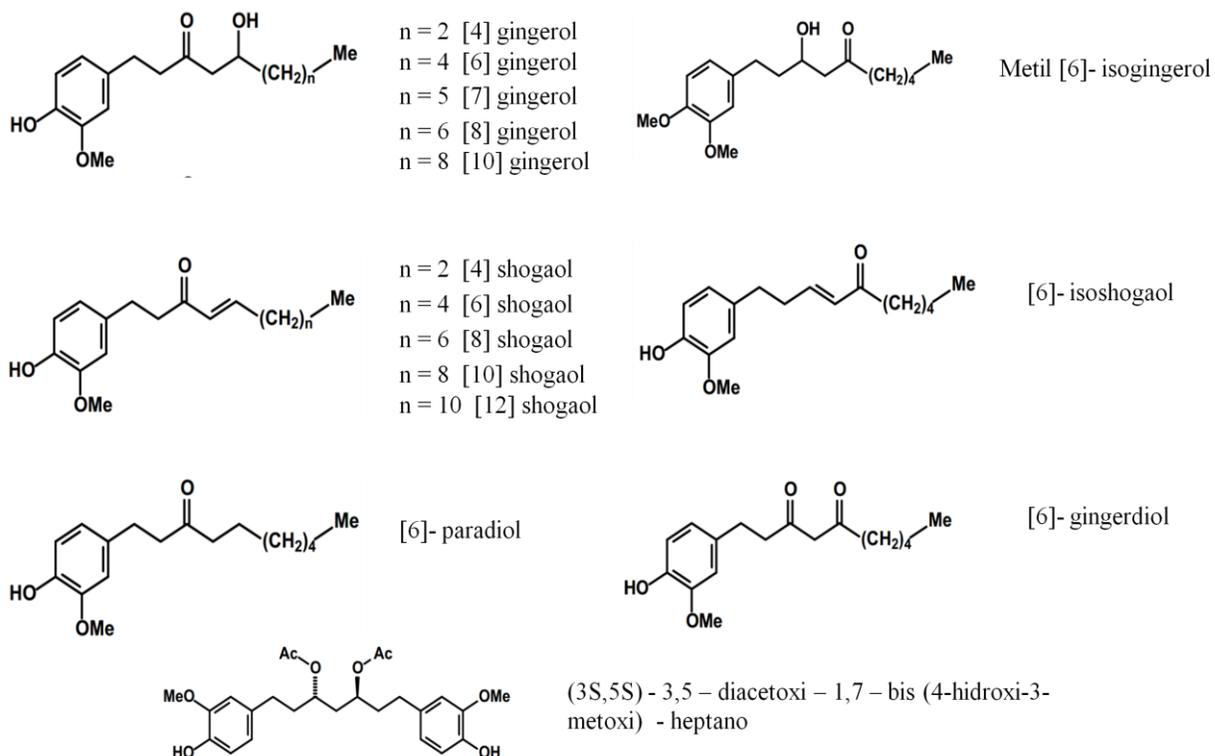
Los constituyentes responsables de la pungencia del jengibre son una serie de homólogos de cetonas fenólicas conocidas como [4]-, [6]-, [8]-, [10]- y [12]- gingeroles, de los cuales el más abundante es el [6]-gingerol. La serie de compuestos shogaoles, aún más pungentes que los gingeroles, está prácticamente ausente en el jengibre fresco y son derivados de los gingeroles, producidos durante el procesamiento térmico y almacenamiento a largo plazo (He *et al.*, 1998; Ali *et al.*, 2008).

Tabla 2. Composición química de jengibre (100g)

Composición	Rizoma (base húmeda)	Composición	Rizoma (base húmeda)
Valor energético (cal)	47	Fósforo (mg)	66
Humedad (g)	87	Hierro (mg)	1.8
Proteína (g)	1.6	Tiamina (mg)	0.02
Grasa (g)	0.8	Riboflavina (mg)	0.06
Carbohidratos (g)	9.0	Niacina (mg)	0.07
Fibra (g)	0.9	Ácido ascórbico (mg)	2
Cenizas (g)	1	Fósforo (mg)	66
Calcio (mg)	44	Hierro (mg)	1.8

Fuente: Wu, Woot-Tsuen y Flores (1961). Tabla de composición de alimentos para uso en América Latina. Guatemala, Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá. 132 p. **Citada por:** Orellana, 2004

Los shogaoles cuentan con un doble enlace en el carbono 4,5, esto como resultado de la eliminación del grupo 5-hidroxi. Las estructuras químicas del gingerol, shogaol y compuestos relacionados se muestran en la Figura 2 (He *et al.*, 1998).

**Figura 2.** Estructura química del gingerol, shogaol y compuestos relacionados

La combinación de compuestos químicos volátiles y no volátiles presentes en el jengibre le aportan sus características únicas de aroma y propiedades farmacológicas importantes (Acuña, 2010). Dichas propiedades han sido objeto de investigación en los últimos sesenta años, pero solo recientemente se han alcanzado conclusiones importantes sobre la naturaleza química de los compuestos responsables. Ahora se conoce que se deben a ciertos cetoalcoholes (gingeroles), componentes químicos relacionados con otras sustancias: shogaoles, paradoles y zingerona (Enríquez, 2008).

II.3 Aceites esenciales

Los aceites esenciales son sustancias odoríferas de naturaleza oleosa encontradas prácticamente en todos los vegetales y están ampliamente distribuidos en distintas partes del vegetal: raíces, tallos, hojas, flores y frutos. Estos se clasifican con base en diferentes criterios (Figura 3). El aceite esencial de jengibre se caracteriza por ser una sustancia de color amarillo verdoso y altamente viscoso (Chiluiza y Ulloa, 2005). Además de contener mayoritariamente compuestos de naturaleza terpénica, principalmente sesquiterpenoides (Vázquez, 2001).



Figura 3. Clasificación de aceites esenciales

Se obtiene fundamentalmente por medio de dos métodos: extracción con solventes orgánicos como la acetona y el hexano (Vázquez, 2001) y destilación al vapor. Sin embargo, aunque la destilación conserva el aroma y el sabor original del producto en el aceite esencial obtenido, no mantiene la sustancia característica de pungencia (Chiluiza y Ulloa, 2005).

II.3.1. Composición química del aceite esencial de jengibre

El jengibre posee un aceite esencial en proporción del 0.25 al 3% (aunque corrientemente es del 2%) (Orellana, 2004; Sasidharan y Menon, 2010; Giacosa *et al.*, 2015) y una oleorresina que varía entre el 4 y 7.5% (Kiran *et al.*, 2013). En el aceite, se han caracterizado más de 50 componentes químicos, algunos de los cuales se presentan en la Tabla 3 (El Ghorab *et al.*, 2010).

Tabla 3. Composición química porcentual de los aceites esenciales del jengibre fresco y deshidratado (*Zingiber officinale* Roscoe)

Componente	Jengibre (%)	
	Fresco	Deshidratado
Butanol	--	1.1
3-metil butanol	0.9	--
Hexano	--	4.0
3,7-dimetil-1,3,7-octatrieno	5.7	1.19
Canfeno	15.9	14.1
2,3-bimetileno]biciclo[3,2,1] octano	--	2.1
β -mirreno	7.7	--
α -felandreno	3.9	1.0
Limoneno	1.9	3.3
p-cineol	8.4	9.4
3,7-dimetil-1,6-octadieno-3-ol	0.9	2.6
Hidratos de canfeno	1.6	1.9
Borneol	0.4	2.8
α -terpineol	8.8	10.9
Isobutirato de geraniol	5.8	7.0
Zingibereno	7.5	8.4
Farneseno	8.8	7.5
Nerolidol	4.4	2.0
Ácido pentadecanoico	7.9	8.0
9,12-octadecadieno	4.9	2.9
9,12,15-octadecatrieno	4.6	9.1

Fuente: El-Ghorab *et al.*, 2010

Estos son principalmente monoterpenoides [β -felandreno, (+)-canfeno, cineol, geraniol, curcumeno, citral, neral, terpineol, borneol] y sesquiterpenoides [α -zingibereno (30-70%), β -

sesquifelandreno (15-20%), b-bisaboleno (10-15%), (*E - E*)- α -farneseno, *ar*-arcurcumeno, zingiberol] (Ali *et al.*, 2008; Giacosa *et al.*, 2015). La oleoresina es una mezcla de gingeroles y shogaoles, su principal componente es el [6]-gingerol (Kiran *et al.*, 2013). Se ha determinado que el β -sesquifelandreno y el α -curcumeno son los principales responsables del aroma a jengibre, mientras que el α -terpineol y el citral causan el aroma a limón (Orellana, 2004).

Aunque estos compuestos son característicos de los aceites "típicos" de jengibre, la composición del aceite es muy variable ya que depende de factores como la procedencia geográfica, el estado de madurez del rizoma, el proceso de secado, la temperatura, y la metodología analítica utilizada (Wohlmuth *et al.*, 2006).

II.4 Particularidades de cultivo

Se reconocen 6 factores que influyen en el crecimiento de las plantas que son: luz, soporte mecánico, temperatura, agua y nutrientes. El crecimiento de las plantas depende de una combinación favorable de estos factores y, cualquiera de ellos, desequilibrado respecto a los otros, puede reducir o casi impedir el crecimiento de las plantas (Orellana, 2004).

II.4.1 Clima

La planta de jengibre es de origen tropical, requiere para su cultivo de un clima tropical húmedo, con precipitaciones anuales que alcancen un mínimo de 2,000 y hasta los 4,000 mm pero es importante su distribución, que debe ser regular a lo largo del período vegetativo. Esta planta se adapta a temperaturas entre los 25 y 30°C, aunque en general, una temperatura de 24°C sin grandes fluctuaciones es favorable para el desarrollo de la misma. Temperaturas de hasta de 34°C no la perjudican, aunque no deben ser menores de 16°C, sobre todo, durante el periodo de crecimiento activo; ya que éste se detiene. La provisión de sombra favorece su producción (Orellana, 2004; Morales, 2007).

II.4.2 Suelo

El terreno óptimo para el cultivo de jengibre es el que posee una textura arenosa o arcillosa. Así mismo, deben ser de tipo humífero, que sean sueltos y de fácil drenaje (Chiluiza y Ulloa, 2005). Este rizoma prefiere suelos ricos en materia orgánica, que faciliten su libre desarrollo y eliminen toda posibilidad de pudrición. No son recomendados los suelos

arenosos muy gruesos y los arcillosos muy compactos, ya que contribuyen a que la plantación no se desarrolle bien y en consecuencia, se obtengan rizomas en cantidad y peso limitados. El jengibre es capaz de crecer a pH de 5 a 8 (Orellana, 2004; Chiluiza y Ulloa, 2005), aunque el pH óptimo es de 6.5 a 7.5 (Orellana, 2004).

II.4.3 Siembra y cosecha

El jengibre se siembra en primavera/verano a través de rizomas, ya que escasamente produce semillas. Es apropiado plantar segmentos de jengibre que tengan una profundidad de 6 a 8 cm y una distancia de un metro entre filas. En otoño las hojas se secan y esto indica la época de la cosecha, entre los siete y nueve meses a partir del momento de plantación (Chiluiza y Ulloa, 2005). La cosecha se da durante todo el año aunque el mayor volumen de producción se logra en enero, febrero y septiembre (CEI, s.f.).

Los rendimientos alcanzan los 4.5 ton/ha en plantaciones bien conducidas, lo que equivale a un rendimiento de 0.7 ton/ha de jengibre desecado y listo para su comercialización. Naturalmente los rendimientos difieren según variedades, manejo del cultivo, condiciones ambientales, etc. Los rizomas comerciales enteros tienen una longitud aproximada de 10 a 13 cm. Para su comercialización, el jengibre se clasifica por la calidad del rizoma, que resulta de factores propios y de su preparación. Para conservas se recogen los rizomas jóvenes y para especia los rizomas maduros (Orellana, 2004).

II.5 Usos del jengibre

El jengibre posee un gran significado en la medicina tradicional china e hindú desde hace más de 2500 años. Ha sido utilizado como especia y como planta medicinal muy importante en todo el mundo (Sharrif *et al.*, 2012). Se usa en diferentes presentaciones: fresco, seco, en polvo, en conserva, confitado, en bebidas y como aceite esencial (Acuña, 2010).

II.5.1 Terapéuticos y medicinales

El jengibre contiene un gran número de diferentes principios activos que, además de impartir el sabor y el aroma característicos, le confieren ciertas actividades farmacológicas y fisiológicas probadas. Como consecuencia de estos efectos benéficos para la salud, asociados también a su pronunciada actividad antioxidante (Stoilova *et al.*, 2007) ha sido ampliamente utilizado como ingrediente en diversos productos naturales comerciales que se

ofrecen en el mercado emergente de alimentos funcionales y nutracéuticos (Bailey-Shaw *et al.*, 2008).

Sus usos terapéuticos más tradicionales son para aliviar las náuseas, vómito, dolor de garganta y tos. También tiene propiedades carminativas, estimulantes del apetito, digestivas, para aliviar el dolor, antiúlceras, anticancerígenas, antiespasmódica, antipiréticas, protectora del hígado, expectorante y laxante. Se le considera también como antiinflamatorio, diaforético y útil en casos de artritis, mala circulación y calambres (Flores *et al.*, 2008; Zhao *et al.*, 2010; Giacosa *et al.*, 2015).

II.5.2 Culinarios e industriales

Una vez cosechado, el jengibre se procesa de acuerdo a su presentación final. Generalmente se limpia eliminando la tierra suelta, se lava con agua potable y se pela. El pelado debe ser cuidadoso para no destruir las células que contienen los aceites esenciales (Chiluiza y Ulloa, 2005). Los rizomas maduros son fibrosos y secos, su jugo es extremadamente picante y es utilizado para enmascarar otros aromas y sabores más fuertes mientras que los rizomas tiernos son jugosos y carnosos con un fuerte sabor (Martínez *et al.*, 2013).

Esta especia es muy utilizada en la cocina oriental, particularmente la china, japonesa e indonesia así como en la gastronomía de las islas caribeñas. China y los países asiáticos emplean frecuentemente el jengibre fresco muchas veces mezclado con ajo y combina tanto con platos dulces como salados. Se utiliza para preparar frutas escarchadas, principalmente calabaza y pepino, también en sopas, salsas y arroz. El jengibre es uno de los ingredientes del polvo de curry. En la cocina occidental puede emplearse en guisos de carne y aves, sopas y platos de pescado, el jugo que se extrae cuando se le ralla realza el sabor del marisco. Se utiliza igualmente en la preparación de tartas, panes, bizcochos y galletas. La cerveza y el vino de jengibre son bebidas populares así como la clásica bebida "Ginger Ale" (CEI, s.f.; Martínez *et al.*, 2013).

De los diferentes productos que se obtienen a partir de la industrialización del jengibre, se pueden mencionar el aceite esencial, jengibre deshidratado, oleorresinas, jengibre fresco preservado y productos de confitería (Chiluiza y Ulloa, 2005).

III. Justificación

El jengibre es un ingrediente esencial en la gastronomía oriental y se utiliza ampliamente como especia en todo el mundo. Desde tiempos antiguos se utiliza en la medicina tradicional, principalmente en China y en la India. Sus propiedades medicinales y su capacidad antioxidante, han propiciado un aumento en el desarrollo, a nivel mundial, de productos alimenticios derivados de este rizoma. Los principales países productores de jengibre son India, China, Tailandia e Indonesia encontrándose México como un productor minoritario. En la Sierra Norte de Puebla existe una agrupación de pequeños productores de jengibre orgánico, los cuales exportan la totalidad de su producción. Su principal destino es la Unión Europea, especialmente Alemania. El jengibre cultivado se exporta entero (en fresco) y triturado (congelado). El mercado del jengibre se encuentra en crecimiento y representa una oportunidad comercial que debe ser aprovechada y maximizada. Existe muy poca información acerca de la composición química del jengibre cultivado en nuestro país, así como de su evolución durante la maduración. Con el desarrollo de la presente investigación, se pretende contribuir al aumento de la información sobre el jengibre producido en México, puesto que el principal objetivo es determinar las características físicas, la composición química del rizoma y los principales compuestos químicos presentes en el aceite esencial de jengibre producido en la Sierra Norte de Puebla, en distintos estados de maduración. También se pretende elaborar un producto de confitería utilizando dicho jengibre como materia prima. Lo anterior contribuirá a diversificar los usos de este rizoma.

IV. Objetivos

IV.1 Objetivo general

Caracterizar fisicoquímicamente jengibre producido en la Sierra Norte de Puebla, en distintas etapas de maduración, mediante técnicas oficiales para su utilización como materia prima en el desarrollo de un producto de confitería.

IV.2 Objetivos específicos

- Evaluar las características físicas del jengibre analizado para determinar su calidad de acuerdo a las especificaciones establecidas en el *Codex Alimentarius*.
- Analizar la composición química de las muestras bajo estudio mediante técnicas oficiales internacionales para determinar posibles variaciones asociadas al estado de madurez
- Extraer el aceite esencial de jengibre en las distintas etapas de madurez mediante el uso de solventes orgánicos para la posterior identificación de los principales compuestos químicos presentes
- Identificar los principales compuestos químicos presentes en las muestras de aceite esencial, mediante Resonancia Magnética Nuclear, para determinar su evolución durante la maduración
- Proponer una formulación para la elaboración de un producto de confitería a base de jengibre con la finalidad de diversificar su uso

V. Materiales y métodos

V.1 Materia prima

Se analizaron rizomas de jengibre orgánico, frescos, recién cosechados en tres estados de maduración: 3 meses (3M), 5 meses (5M) y 8 meses (8M), provenientes de parcelas ubicadas en el municipio de Xicotepec, Puebla. La materia prima fue proporcionada por la empresa Productores Orgánicos de Black Berry de la Sierra Norte de Puebla, S.C. de R.L. Los rizomas recién cosechados se transportaron en costales de malla de polietileno, posteriormente se almacenaron en bolsas de polietileno en un congelador vertical a aproximadamente -4°C hasta su análisis. Cabe mencionar que las muestras 3M y 8M fueron proporcionadas lavadas y limpias por parte de la empresa, mientras que la muestra 5M fue suministrada directamente de la parcela y esta contenía tierra, por lo que se le realizó un lavado y cepillado dentro del laboratorio.

El extracto de jengibre utilizado en la elaboración de las gomitas de grenetina, se obtuvo a partir de rizomas frescos y de jengibre triturado congelado (pasta congelada de jengibre), ambos de al menos 8 meses de maduración (edad de comercialización) proporcionados por la empresa.

V.2 Selección de muestras

Los rizomas de jengibre se esparcieron en una superficie plana y se seleccionaron aleatoriamente por cuarteo para la obtención de una muestra representativa de cada uno de los lotes analizados (3M, 5M, 8M).

V.3 Caracterización física

Para la caracterización física de los rizomas de jengibre analizados se tomaron en cuenta cuatro parámetros: dimensión, peso, volumen y número de ramificaciones. Para medir las dimensiones (espesor, eje mayor y menor) se utilizó un vernier. El peso de los rizomas enteros se determinó con una balanza granataria, estos se clasificaron según su peso en 3 calibres: "A" grande ($\geq 300\text{g}$), "B" mediano (200-299g), "C" pequeño (151-199g) según la norma del *Codex Alimentarius* para el jengibre (CODEX STAN 218-1999). Para fines de esta investigación se agregó el calibre "D" ($\geq 150\text{g}$), debido a que algunas muestras, en

especial las de etapas tempranas de maduración, se encontraban fuera de las establecidas por la norma mencionada. El volumen se determinó mediante la inmersión de los rizomas en vasos de precipitados (1000mL), donde la cantidad de agua desplazada constituyó el volumen de los rizomas. Por último se determinó el número de ramificaciones presentes en cada una de las muestras.

V.3.1 Determinación de color

El color externo de los rizomas de jengibre fresco se midió instrumentalmente, utilizando un colorímetro HunterLab y determinando los parámetros CIE L* (luminosidad), a* (coordenada rojo-verde) y b* (coordenada amarillo-azul) usando un iluminante D65 y un observador patrón CIE 1964 (10°).

V.4 Composición química

La composición química del jengibre bajo estudio se realizó utilizando los métodos oficiales de la AOAC: humedad AOAC 925.19 (2005), proteína AOAC 920.165 (1999), extracto etéreo AOAC 920.39 (2005), cenizas AOAC 941.12 (2005) y fibra cruda AOAC 962.09 (1990). El porcentaje de carbohidratos se determinó por diferencia de peso.

V.5 Determinación de minerales (Ca, Cu, Fe, Mn, P, Zn) por espectroscopia de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente (ICP)

Esta determinación se realizó de acuerdo al método 3052, de la Agencia de Protección Ambiental (EPA: Environmental Protection Agency, 1996), con algunas modificaciones del procedimiento debidas a la naturaleza de la muestra.

V.5.1 Construcción de la curva de calibración

La curva de calibración multielemental utilizada para cuantificar la concentración de los minerales analizados se realizó secando diferentes sales (CaCO_3 , CuSO_4 , $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$, KMnO_4 , KH_2PO_4) y Zn puro, a 105°C durante dos horas.

Posteriormente, se pesó la cantidad correspondiente de cada una, aforando a un volumen final de 100mL. Las concentraciones utilizadas fueron de 0.2–1 mg/L. Cada uno de los estándares fue introducido a un espectrofotómetro de emisión atómica con fuente de plasma (Perkin

Elmer modelo Optima 8300), a diferentes longitudes de onda de emisión (317.9 nm para Ca, 327.4 nm para Cu, 238.2 nm para Fe, 257.6 nm para Mn, 213.6 nm para P y 206.2 nm para Zn), utilizando un flujo de argón de 8 L/min.

V.5.2 Tratamiento de la muestra

Cada una de las muestras de jengibre (3M, 5M y 8M) se cortó en trozos de aproximadamente 2 cm de grosor, los cuales fueron secados en una estufa a 105°C durante 6 horas. De cada muestra, se pesaron alrededor de 0.5000g, a los cuales se le adicionaron 10mL de HNO₃ concentrado para su posterior digestión.

Las muestras 3M y 5M se digitaron en parrilla de calentamiento (en campana de extracción) durante el tiempo necesario hasta que ya no se observaran partículas en suspensión y la solución estuviera transparente. La muestra 8M se digestó en un equipo de sistema de reacción acelerada por microondas modelo MARS S, de CEM, equipado con un rotor para 14 recipientes de reacción de alta presión, y sensores de presión y temperatura. La rampa de temperatura utilizada para la digestión fue desde temperatura ambiente hasta 175°C durante 5.5 min y de 175°C a 180°C durante 4.5 min; el límite de presión fue de 110psi. Los vasos utilizados para las digestiones fueron del modelo HP500 de CEM, los cuales soportan 500psi de presión y 220°C de temperatura.

Una vez completada la digestión de la muestra, se llevó a un volumen final de 100mL. La caracterización de cada una de las muestra se realizó por medio de un espectrofotómetro de emisión atómica con fuente de plasma utilizando un flujo de argón de 8 L/min.

V.6 Identificación de compuestos químicos presentes en el aceite esencial de jengibre por Resonancia Magnética Nuclear (RMN)

V.6.1 Preparación de la muestra

Cada una de las muestras de jengibre (3M, 5M, 8M) bajo estudio se cortó en trozos pequeños de aproximadamente 2 mm de grosor los cuales se extendieron en una charola de plástico y se secaron a la sombra a temperatura ambiente durante 15 días o hasta adquirir una textura crujiente. Una vez secas, se molieron utilizando un molino (KRUPS, GX4100011V) hasta obtener un polvo fino (Natta, Orapin, Krittica y Pantip, 2008).

V.6.2 Extracción del aceite esencial y obtención de espectros por RMN

Para la extracción del aceite esencial se utilizó la técnica de maceración (Natta, Orapin, Krittica y Pantip, 2008) en donde 500g de cada muestra seca y molida se maceraron en 400mL de hexano durante 24 horas a temperatura ambiente (23°C). Una vez transcurrido este tiempo, el macerado se filtró a vacío y se recuperó el solvente en rotavapor (HAHNVAPOR, modelo HS-2000NS) a 80 rpm a 40°C.

El aceite esencial obtenido de cada muestra se colocó en viales de vidrio para su posterior análisis en un equipo de Resonancia Magnética Nuclear de ^1H , 400 MHz, en CDCl_3 .

V.6.3 Identificación de compuestos químicos presentes en el aceite esencial

Una vez obtenidos los espectros de RMN, la identificación de las señales se realizó por comparación con los espectros teóricos de los compuestos mayoritarios presentes en el aceite esencial de jengibre de acuerdo a lo reportado en la literatura. Los espectros teóricos se obtuvieron a través del programa Chemoffice versión 12.0.

V.7 Utilización de jengibre como materia prima para la obtención de un producto de confitería

A petición de los productores de jengibre, en esta investigación se usaron los rizomas para la elaboración de un producto de confitería (gomitas) con la finalidad de proponer una formulación viable para su producción en pequeña escala y así diversificar los productos de jengibre que comercializan.

V.7.1 Materias primas

Para la elaboración de las gomitas de grenetina a base de jengibre se utilizó pasta de jengibre molido congelado la cual es producida y fue proporcionada por la empresa Productores Orgánicos de Black Berry de la Sierra Norte de Puebla S.C de R.L. También se utilizó azúcar refinada comercial marca Zulka, jarabe de maíz de 42 dextrinas, ácido cítrico comercial y grenetina marca Ducke de 290 Bloom.

V.7.2 Acondicionamiento de la materia prima

La preparación de las gomitas inició con la obtención de un extracto de jengibre el cual se utilizó posteriormente para reemplazar el agua requerida en la formulación. Para la elaboración del extracto la pasta de jengibre se coció en agua durante 1 hora, en una olla de acero inoxidable. Por cada 600g de pasta de jengibre utilizada se agregaron 200mL de agua (Ramírez, 2013). Los extractos obtenidos se colocaron en botellas de plástico y se mantuvieron en refrigeración hasta su uso.

V.7.3 Elaboración de gomitas de grenetina a base de jengibre

Para la elaboración de las gomitas de grenetina a base de jengibre se propusieron 4 formulaciones (Tabla 4) a partir de una formulación base proporcionada por la empresa NÉKUITIC “Confitando sueños”.

Tabla 4. Formulaciones propuestas para la elaboración de gomitas de grenetina a base de jengibre

Ingredientes	FG1	FG2	FG3	FG4
Parte 1				
Extracto (%)	9.5	20.0	35.0	40.0
Azúcar refinada (%)	35.0	34.0	23.0	20.0
Jarabe de maíz (42 DE) (%)	33.0	30.0	25.0	20.0
Parte 2				
Extracto (%)	15.0	10.0	11.5	14.0
Grenetina (290 Bloom) (%)	6.0	4.5	4.0	4.5
Parte 3				
Ácido cítrico (acuoso 1:1)	1.5	1.5	1.5	1.5

En la Figura 4 se muestra el proceso utilizado para la elaboración de las gomitas de grenetina a base de jengibre.

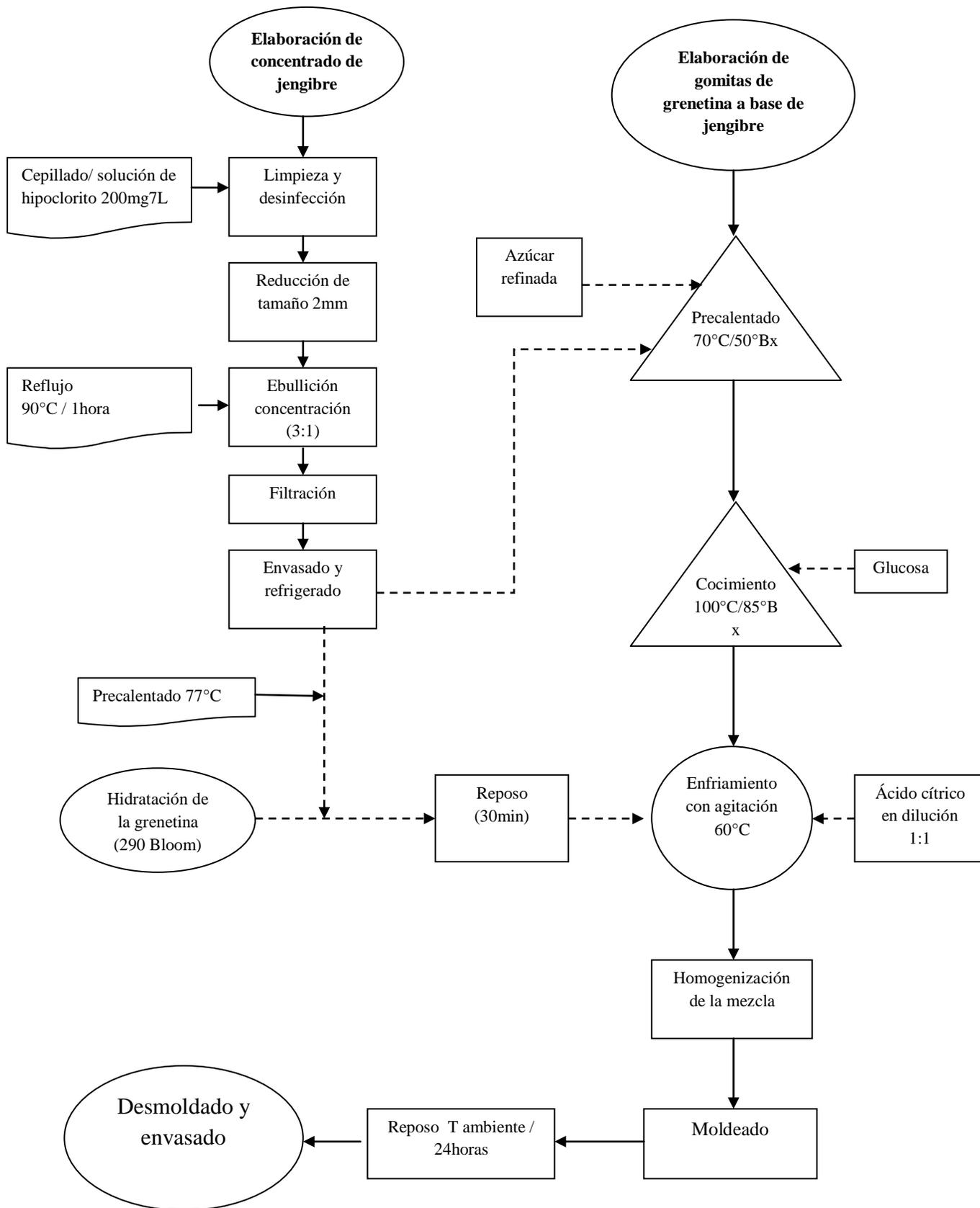


Figura 4. Diagrama de proceso utilizado para la elaboración de las gominas de gretina a base de jengibre

V.7.4 Evaluación sensorial de las gomitas elaboradas

V.7.4.1 Prueba utilizada

Se realizó una prueba afectiva para medir el nivel de agrado o desagrado producido por las gomitas a base de jengibre, utilizando una escala hedónica de 7 puntos (Anzaldúa-Morales, 1994; Stone & Sidel, 2004). Los atributos analizados fueron el color, sabor, textura y calidad global, así como la intención de comprar el producto.

V.7.4.2 Jueces

Se eligieron un total de 25 jueces, hombres y mujeres, entre 20 y 47 años de edad, consumidores habituales y potenciales de jengibre, interesados en probar este nuevo producto.

V.7.4.3 Preparación y presentación de las muestras

Las gomitas se prepararon con 24 horas de anticipación y se mantuvieron a temperatura ambiente (20°C) previo a su análisis. Para la evaluación, se proporcionó 1 pieza (1 gomita) al consumidor junto con la ficha de cata utilizada (Figura 5).

V.8 Tratamiento estadístico de los resultados

Para fines de análisis estadístico, todas las determinaciones se realizaron por triplicado. Con la finalidad de determinar si existían diferencias significativas entre los resultados de los parámetros analizados de cada una de las muestras de jengibre bajo estudio se utilizó un análisis de varianza de un factor mediante el programa Excel 2010.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA



Prueba sensorial

Fecha _____ Edad _____ Género: (M) (F)

Muestra: Gomita a base de jengibre

Prueba la muestra que se te presenta y responde las siguientes preguntas (marca con una X tu respuesta)

1. ¿Qué tanto te agrada o desagrada la apariencia o el color de esta gomita?

Me agrada mucho	Me agrada	Me agrada ligeramente	Ni me agrada ni me desagrada	Me desagrada ligeramente	Me desagrada	Me desagrada mucho
-----------------	-----------	-----------------------	------------------------------	--------------------------	--------------	--------------------

Comentarios _____

2. ¿Qué tanto te agrada o desagrada el sabor de esta gomita?

Me agrada mucho	Me agrada	Me agrada ligeramente	Ni me agrada ni me desagrada	Me desagrada ligeramente	Me desagrada	Me desagrada mucho
-----------------	-----------	-----------------------	------------------------------	--------------------------	--------------	--------------------

Comentarios _____

3. ¿Qué tanto te agrada o desagrada la textura de esta gomita?

Me agrada mucho	Me agrada	Me agrada ligeramente	Ni me agrada ni me desagrada	Me desagrada ligeramente	Me desagrada	Me desagrada mucho
-----------------	-----------	-----------------------	------------------------------	--------------------------	--------------	--------------------

Comentarios _____

4. Considerando el sabor, la textura y la apariencia, ¿Qué tanto te agrada o desagrada esta gomita?

Me agrada mucho	Me agrada	Me agrada ligeramente	Ni me agrada ni me desagrada	Me desagrada ligeramente	Me desagrada	Me desagrada mucho
-----------------	-----------	-----------------------	------------------------------	--------------------------	--------------	--------------------

Comentarios _____

5. Si esta gomita estuviera en el mercado tú:

Definitivamente si la compraría	Si la compraría	Quizás si la compraría	Quizás si o quizás no la compraría	Quizás no la compraría	No la compraría	Definitivamente no la compraría
---------------------------------	-----------------	------------------------	------------------------------------	------------------------	-----------------	---------------------------------

Comentarios _____

¡Muchas gracias por tu participación!

Figura 5. Ficha de cata utilizada para la evaluación sensorial de las gomitas de grenetina a base de jengibre

VI. Resultados y discusión

VI.1 Caracterización física

VI.1.1 Tamaño y forma

Los resultados promedio del tamaño y forma, determinados a través de la medición del espesor, eje mayor y eje menor (Figura 6) de cada una de las muestras de jengibre analizadas (3M, 5M, 8M) se muestran en la Tabla 5.

Solo los resultados de las muestras de 8 meses son similares a los datos de eje mayor y menor reportados por Torres (2011) para muestras de jengibre ecuatoriano (*Zingiber officinale*) analizadas (13.81 y 7.72 cm, respectivamente).

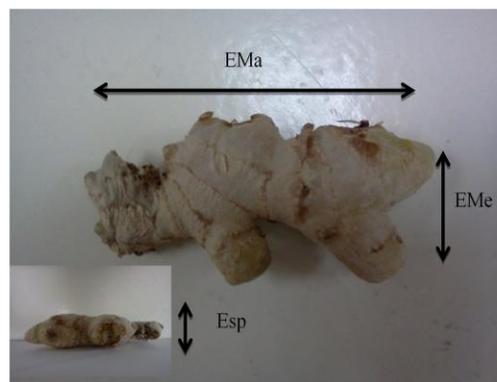


Figura 6. Eje mayor (EMa), eje menor (EMe) y espesor (Esp) de rizoma de jengibre

Tabla 5. Tamaño promedio de las muestras de jengibre estudiadas

Dimensiones	3M	5M	8M
Eje mayor (cm)	6.11 ± 0.06 ^a	13.45 ± 0.1 ^b	13.85 ± 0.09 ^c
Eje menor (cm)	3.08 ± 0.08 ^a	6.59 ± 0.15 ^b	7.48 ± 0.12 ^c
Espesor (cm)	1.52 ± 0.05 ^a	3.67 ± 0.04 ^c	2.88 ± 0.07 ^b

Superíndices diferentes dentro de la misma fila, denotan diferencia significativa a un nivel de significación del 95%
Media ± SD: desviación estándar de 3 réplicas

Por su parte, Akhtar, Kumar y Mannan (2013) reportaron datos de eje mayor (4.7-10.44 cm), eje menor (1.58-4.6 cm) y espesor (1.96-4.44 cm) para 10 muestras de germoplasmas de jengibre maduro cultivado en Bangladesh mientras que Onu y Okafor (2002) determinaron los mismos parámetros (eje mayor, eje menor y espesor) en jengibre nigeriano (*Zingiber officinale* Rose) obteniendo valores de 3-13.3, 1.8-7.3 y 0.9 - 3.6 cm, respectivamente. Comparando los resultados obtenidos en el presente trabajo, las muestras eran, en general, de tamaño similar o más grande que las muestras de jengibre cultivadas en Nigeria mientras que las muestras 3M y 5M eran más pequeñas comparadas con el jengibre de Ecuador.

Distintos factores como el estado de madurez, la especie y variedad, las condiciones de cultivo y condiciones climáticas ejercen gran influencia en la forma y el tamaño de los rizomas (Orellana, 2004).

VI.1.2 Peso

La Tabla 6 muestra el peso promedio de los rizomas analizados. Ninguna de las muestras analizadas alcanzó el calibre “A” establecido por la norma CODEX STAN 218-1999, que es para muestras con pesos mayores a 300g. Alrededor del 18% de las muestras 5M y 8M se encontraron dentro del calibre “B” (200-299g) mientras que 21% de las muestras 8M y sólo 8% de las muestras 5M alcanzaron el calibre “C” (151-199g). Todas las muestras 3M y la mayoría de las muestras 5M y 8M presentaron pesos inferiores a 150g lo que las coloca en el calibre “D”.

Tabla 6. Pesos promedio de las muestras de jengibre analizadas

Muestra	Peso total de lote (g)	No. Total de muestras (pza.)	Peso promedio por muestra (g)	Código de calibre			
				% A	% B	% C	% D
3 M	1469.07	134	10.96	0	0	0	100
5 M	3759.47	32	117.48	0	18.83	8.76	72.41
8M	3739.05	37	101.05	0	17.94	21.94	60.22

Las muestras de 3 meses de maduración analizadas en este trabajo se pueden catalogar como jengibre “baby” ya que eran rizomas muy jóvenes. Es conocido que tanto el tamaño como el peso del rizoma aumenta conforme avanza el estado de madurez, el jengibre “baby” es más pequeño y suave mientras que el jengibre maduro es más grande y fibroso (Alieva, 2012). Por su parte, los pesos promedio mostrados por las muestras 5M y 8M fueron similares aunque debido al estado de maduración, un mayor número de muestras 8M alcanzaron pesos de entre 151 y 199g. La empresa que proporcionó las muestras para su análisis generalmente comercializa los rizomas al alcanzar, al menos, los 8 meses de edad. En este estado de madurez las muestras ya presentan pesos superiores a los 100g (Flores, 2012).

Los resultados obtenidos son similares a los reportados en otros estudios sobre jengibre procedente de Nigeria, Ecuador y Bangladesh donde determinaron algunos parámetros físicos de las muestras, entre ellos el peso (Onu y Okafor 2002; Torres, 2011 y Akhtar, Kumar y Mannan,

2013). Al igual que en este trabajo, todas las muestras de jengibre analizadas por los autores mencionados, se encontraron fuera de la clasificación por calibres establecidas por el *Codex Alimentarius* ya que el peso promedio mínimo determinado fue de 10.8g y el máximo fue de 122.06g. Sin embargo, en el caso de los estudios citados previamente, no se menciona el estado de maduración del jengibre utilizado por lo que no es posible correlacionar la edad con los parámetros físicos analizados.

VI.1.3 Número de ramificaciones o brotes

Los rizomas analizados presentaron formas irregulares debido a las ramificaciones que se desprenden de su cuerpo central. Las muestras 3M mostraron 2 ramificaciones en promedio y los rizomas de 5M y 8M presentaron 6. Los rizomas más jóvenes (3M) eran más uniformes debido a que sus ramificaciones eran menos pronunciadas en comparación a los rizomas más maduros (5M y 8M) cuyas ramificaciones eran más alargadas y carnosas. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Acuña y Torres (2010), quienes determinaron ramificaciones pronunciadas, alargadas y de estructura carnosa en las muestras de jengibre analizadas. Sin embargo, el número promedio de ramificaciones presentes por rizoma reportado por dichos autores fue de 3 ± 1 .

VI.1.4 Volumen

Los resultados de la determinación del volumen obtenidos fueron 21 cm^3 , 210 cm^3 y 245 cm^3 como valores promedio para las muestras 3M, 5M y 8M, respectivamente. Estos valores son superiores a los datos ($7.43\text{-}133 \text{ cm}^3$) reportados por Torres (2011) y Onu y Okafor (2002).

La información acerca del peso, tamaño, forma, número de ramificaciones y volumen de muestras de jengibre es muy escasa en la literatura ya que no suelen ser incluidos como medidas durante su análisis. Sin embargo, cuando el jengibre va a ser procesado es importante determinar dichos parámetros ya que el tamaño, peso y el área de la superficie de los rizomas de jengibre, tienen gran influencia en la eficiencia del rebanado (Onu y Okafor, 2002) y en su utilización para la elaboración de productos tales como condimento en polvo, infusión filtrante y aromatizantes (Acuña y Torres, 2010).

VI.1.5 Color

Las lecturas promedio de los parámetros L^* (luminosidad), a^* (rojo-verde) y b^* (azul-amarillo) de cada una de las muestras de jengibre, se muestra en la Tabla 7. El análisis estadístico realizado indicó que existen diferencias significativas entre estos parámetros para todas las muestras aunque a simple vista, la muestra 3M se percibió de un color amarillo claro brillante mientras que las muestras 5 y 8M presentaron un color amarillo más oscuro y opaco. Estos resultados difieren de los presentados por Okafor y Okafor (2007) quienes midieron los parámetros $L= 59.8$, $a^*=3.7$ y $b^*= 16.9$ en jengibre nigeriano fresco.

El color del jengibre fresco varía del dorado al café pálido dependiendo de su origen, por ejemplo, el jengibre jamaicano es dorado brillante, el africano es de color más oscuro y el chino es de color más blanco. Este parámetro también depende de las condiciones de cosecha, almacenamiento y procesado (Uhl, 2000).

Tabla 7. Parámetros de color medidos en las muestras de jengibre analizadas

Parámetros	Muestras		
	3M	5M	8M
L^*	22.92 ± 0.057^a	18.20 ± 0.300^c	19.95 ± 0.131^b
a^*	2.40 ± 0.026^c	4.55 ± 0.062^a	2.63 ± 0.087^b
b^*	16.84 ± 0.060^a	14.51 ± 0.097^b	7.78 ± 0.070^c

Superíndices diferentes dentro de la misma fila, denotan diferencia significativa a un nivel de significación del 95%
Media \pm SD: desviación estándar de 3 réplicas

VI.2 Caracterización química

VI.2.1 Análisis proximal

En este estudio, los rizomas analizados (3M, 5M y 8M) solo varían en cuanto a su estado de madurez, pues pertenecen a la misma variedad y fueron cultivados en el mismo tipo de suelo y clima. La Tabla 8 presenta los resultados obtenidos en la caracterización química de las muestras analizadas, indicando diferencias significativas entre los distintos estados de madurez en cuanto a humedad, cenizas, fibra y carbohidratos. Por su parte, las muestras 3M y 8M presentan contenidos similares de grasa y las muestras 5M y 8M, de proteína.

Se observó que el estado de madurez influyó de manera directa sobre el porcentaje de cenizas, puesto que al inicio de su crecimiento necesita de estos elementos para su adecuado desarrollo. Con lo que respecta al contenido de fibra, la diferencia se debe a que los rizomas maduros son fibrosos y secos, en comparación con los rizomas frescos que son jugosos y carnosos (Martínez *et al.*, 2013) atribuyéndose dicho cambio a las variaciones que ocurren en el contenido de humedad, concentración y tipo de carbohidratos y grasa.

En la Tabla 8 también se presenta una comparación de los resultados obtenidos en este trabajo con lo reportado por distintos autores. Se observa que, en general, son similares a los obtenidos por la mayoría de los autores consultados a excepción de lo encontrado por Odebunmi y colaboradores (2009) y Tanveer y colaboradores (2014) quienes determinaron valores inferiores de humedad (75-76%) y superiores de grasa (5%) y proteína (8%). Cabe destacar que el contenido de fibra observado en el presente estudio es significativamente superior a los valores obtenidos por los autores citados mientras que el porcentaje de cenizas y carbohidratos determinados por Otunola y colaboradores (2010) es significativamente superior que todos valores reportados incluidos los de la presente investigación debido a que dichos resultados se reportaron en base seca.

Tabla 8. Comparación de la composición proximal porcentual del jengibre analizado con datos de diferentes autores.

Parámetro / Muestra	3M	5M	8M	Odebunmi <i>et al.</i> , 2009	Acuña <i>et al.</i> , 2010	El-Ghorab <i>et al.</i> , 2010	Otunola <i>et al.</i> , 2010	Tanveer <i>et al.</i> , 2014
% Humedad	88.98±0.85 ^a	86.95±1.12 ^b	85.28±0.41 ^c	76.86	86.6	88.5	6.37	74.14
% Cenizas	1.19±0.02 ^a	0.63±0.06 ^c	0.74±0.02 ^b	2.54	1.18	1.5	6.30	2.60
% Grasa	0.12±0.01 ^b	0.24±0.02 ^a	0.14±0.01 ^b	5.62	2.2	0.2	5.35	5.35
% Proteína	1.84±0.14 ^a	1.33±0.14 ^b	1.37±0.12 ^b	8.75	1.82	1.2	8.58	8.43
% Fibra	4.26±0.42 ^c	8.91±0.81 ^b	9.96±0.07 ^a	2.93	0.8	1.1	3.25	3.14
% CHOS	3.61±0.08 ^a	1.94±0.25 ^c	2.51±0.33 ^b	NR	8.3	7.5	68.15	5.37

Superíndices diferentes dentro de la misma fila, denotan diferencia significativa a un nivel de significación del 95% Media ± SD: desviación estándar de 3 réplicas

VI.2.2 Cuantificación de minerales

En la Tabla 9, se presenta una comparación del contenido de minerales (Ca, Zn, P, Mn, Fe y Cu) de las muestras de jengibre analizadas con lo obtenido en la literatura por diferentes autores.

Tabla 9. Cuantificación de minerales presentes en el jengibre (mg de mineral/100g de jengibre)

Minerales	Muestras			Famurewa <i>et al.,</i> (2010)	Otunola <i>et al.,</i> (2010)	Shirin <i>et al.,</i> (2010)	Latona <i>et al.,</i> (2012)	Tanveer <i>et al.,</i> (2014)
	3M	5M	8M					
Ca	153.71±3.23 ^b	220.34±26.09 ^a	218.24±12.46 ^a	110	5.0	88.4	280.0	15.76
Cu	39.78±4.58 ^a	37.30±9.24 ^a	0.20±0.01 ^b	NR	0.001	0.55	8.80	0.58
Fe	24.14±3.10 ^c	38.41±2.71 ^b	96.18±12.74 ^a	0.05	3.46	8.0	279.7	0.54
P	7.34±0.18 ^a	3.88±0.62 ^b	0.01±0.002 ^c	NR	12.56	174	8068.0	32.56
Mn	18.46±0.42 ^b	17.89±1.49 ^b	176.05±48.89 ^a	60	0.002	9.13	5.90	0.70
Zn	5.17±0.24 ^b	32.24±7.38 ^a	≥LOD	0.62	0.04	0.92	64.0	0.33

LOD de Zn = 0.01075, NR= no reportado

Superíndices diferentes dentro de la misma fila, denotan diferencia significativa a un nivel de significación del 95% Media ± SD: desviación estándar de 3 réplicas

Se observa que el Ca, Fe, Mn y Zn aumentan conforme el estado de madurez del jengibre también lo hace. El contenido de Ca fue diferente significativamente entre la muestra 3M y las muestras 5M y 8M las cuales presentan un contenido similar. Este mineral es un elemento requerido por todas las plantas para su desarrollo; se absorbe bajo la forma de ion Ca^{2+} y se encuentra en abundantes cantidades en las hojas de las plantas. Participa en la fotosíntesis, en la regulación hormonal, y en la respiración, fija nitrógeno y promueve la formación de vitamina A (Orellana, 2004).

En cuanto al Fe, Mn y Zn, su contenido fue significativamente diferente entre los estados de madurez analizados. El Fe es un elemento absorbido por las raíces de las plantas en forma iónica o como sales orgánicas complejas, tiene funciones específicas en la activación de varios sistemas meristemáticos: hidrogenasa fumárica, catalasa (Manual de Fertilidad de los Suelos, 1988; Orellana, 2004, Ali *et al.*, 2008). El Mn cuando está presente en el suelo en grandes cantidades en un estado de oxidación Mn^{2+} es frecuentemente tóxico, por su parte, el Zn es un elemento que se absorbe por las raíces de las plantas en forma de ion Zn^{2+}

y también es tóxico para las plantas aun en pequeñas cantidades (Manual de Fertilidad de los Suelos, 1988). Ambos minerales, cuando exceden las concentraciones necesarias para el óptimo desarrollo y crecimiento de la planta ($<50\text{mg/kg}$), afectan algunas de sus funciones y la calidad tanto de la planta como de sus frutos (Casierra-Posada y Poveda, 2005, NOM-021-RECNAT-2000).

En el presente estudio se observó que la concentración de Mn aumentó significativamente después de los 5 meses de maduración de los rizomas de jengibre analizados mientras que el contenido de Zn en las muestras 8M estuvo fuera del límite de detección del equipo utilizado. Podría pensarse que la concentración de este mineral en esta etapa de madurez es mayor que el observado en las muestras 3M y 5M ya que en estas dos muestras se observó un aumento significativo del mismo.

Por su parte, el contenido de P y Cu disminuyó conforme el estado de madurez del jengibre analizado aumentaba. El fósforo generalmente es absorbido en forma del ion primario ortofosfato (H_2PO_4^-) y se ha asociado con la pronta madurez de los cultivos. Una mayor asimilación de este mineral se acompaña del incremento de la proliferación de raíces por lo que podría inferirse que el fósforo aumenta el crecimiento de las mismas (Manual de fertilidad de los suelos, 1988). Con respecto al cobre, se observó una disminución notable en el contenido de los rizomas de 8 meses de maduración. Este mineral se absorbe a través de las hojas, actúa como cofactor de enzimas y sus deficiencias provocan una acumulación de hierro en algunos cultivos (Orellana, 2004, Ali *et al.*, 2008).

Comparando los resultados del contenido de minerales del jengibre analizado con lo reportado por diferentes autores, se observa que difieren con lo encontrado por Famurewa (2010) y Otunola (2010); ya que el contenido de hierro y zinc son inferiores a los determinados en el presente trabajo. En cuanto al contenido de Ca, Cu, Fe, Mn y Zn obtenido por Shirin (2010) y Tanveer (2014), este es superior que el encontrado en las diferentes etapas de maduración del jengibre. Sin embargo, el contenido de P es inferior a lo reportado por estos autores. Cabe destacar que los autores citados no mencionan el estado de maduración del jengibre analizado.

Otra variación importante es la reportada por Latona y colaboradores (2012) para Fe y P; ya que el contenido de dichos minerales es notablemente superior con respecto a los determinados en los 3 estados de madurez de los rizomas de jengibre analizados.

Las variaciones observadas tanto entre las distintas etapas de maduración como en los resultados reportados en la literatura podrían atribuirse a diferentes factores. Uno de ellos podría ser el método de digestión utilizado, ya que el procedimiento de digestión de las muestras de 3 y 5 meses se llevó a cabo en una parrilla de calentamiento dentro de una campana de extracción, mientras que el proceso de digestión de la muestra de 8 meses se llevó a cabo en un equipo digestor automatizado mencionado anteriormente. Además, la composición química del jengibre varía dependiendo del lugar de origen, composición del suelo, condiciones de cultivo, estado de madurez y de la presentación del rizoma (si es fresco o seco). Cabe mencionar que las muestras analizadas provenían del mismo lugar de origen (Sierra Norte de Puebla) aunque de parcelas diferentes por lo que pudo haber variación en la composición del suelo. Las condiciones de cultivo aparentemente son las mismas ya que se utiliza la modalidad de cultivo orgánico y los rizomas se analizaron en estado fresco.

Se ha reportado que una fuente de variación en el contenido de minerales es la fertilización de los cultivos aunque en este caso, las muestras de jengibre utilizadas provienen de parcelas libres de fertilizantes dado que la empresa Productores Orgánicos de Black Berry de la Sierra Norte de Puebla S.C. de R.L. se dedica a la producción, empaque y comercialización de zarzamora y jengibre orgánico.

VI.2.3 Identificación de compuestos químicos presentes en el aceite esencial de jengibre por RMN-¹H

Para llevar a cabo el estudio espectroscópico de los componentes del aceite esencial de jengibre se tomaron como referencia espectros teóricos calculados de algunos de los principales compuestos reportados en el jengibre: zingibereno, curcumeno, bisaboleno, neral y geraniol (Figuras 7, 8, 9, 10 y 11, respectivamente). Estos espectros permitieron realizar una comparación con los espectros experimentales obtenidos del aceite esencial de jengibre en diferentes estados de madurez analizados.

Los compuestos presentes en el aceite esencial del jengibre son, en su mayoría, de naturaleza terpénica. Por ello, los desplazamientos químicos de cada uno de los núcleos atómicos de hidrógeno en la molécula dependerán del grupo funcional al que se encuentren unidos, así como el ambiente químico que los rodea, presentando espectros muy similares. En la Figura 7 se presenta el espectro obtenido para el zingibereno.

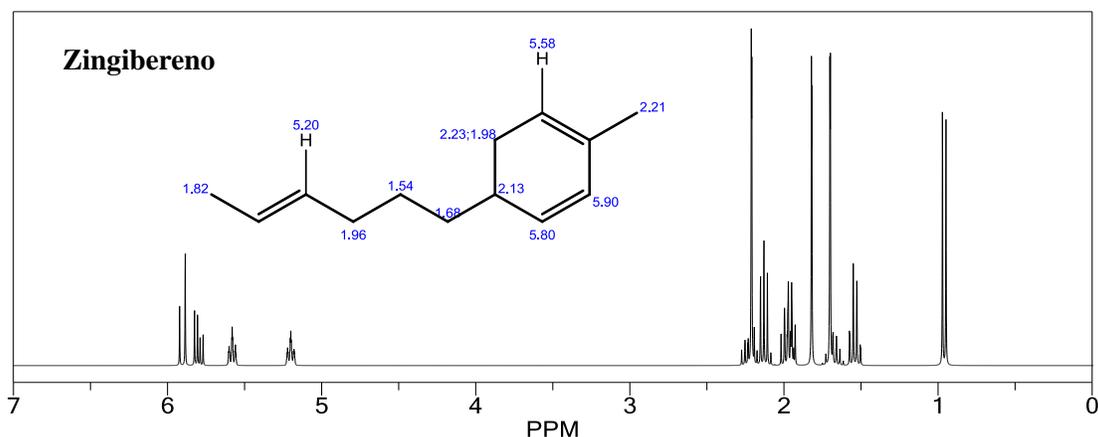


Figura 7. Espectro teórico de RMN de ^1H (400 MHz) para el zingibereno reportado en CDCl_3

Se observan cuatro grupos alquilo ($-\text{CH}_3$) ya que presentan un ambiente químico muy parecido. Este tipo de sustituyentes se presentan en el espectro de RMN de ^1H a frecuencias bajas y/o campo magnéticos altos, particularmente en la región de entre 0.96-2.21 ppm, siendo un desplazamiento químico normal. Los grupos metilénicos ($-\text{CH}_2$) también presentan desplazamientos químicos entre 1-2 ppm ya que son considerados como sustituyentes alquílicos. La presencia de H a frecuencias altas (5-6 ppm) corresponden a aquellos que conforman el ciclohexadieno; usual para fragmentos alquénlicos del tipo $-\text{C}=\text{CHR}$, mientras que la señal obtenida en 5.2 ppm se refiere al H que forma parte del etileno.

El espectro correspondiente al curcumeno se muestra en la Figura 8. Los protones concernientes a la parte aromática de la estructura se presentan a frecuencias altas (7.15-7.18 ppm). El protón en 5.20 ppm presenta un desplazamiento químico usual para fragmentos alquénlicos

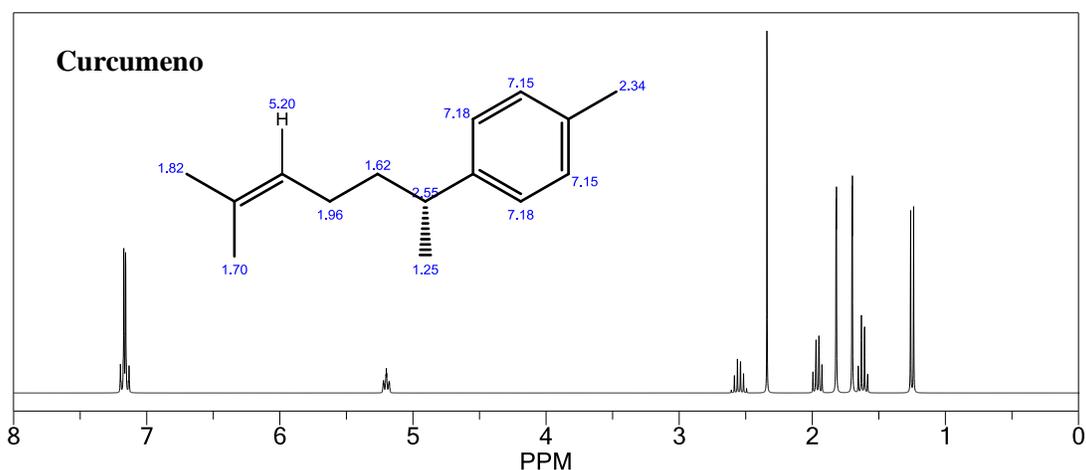


Figura 8. Espectro teórico de RMN de ^1H (400 MHz) para el curcumeno reportado en CDCl_3

del tipo-C=CHR. Los grupos alquilo (-CH₃) y los grupos metilénicos (-CH₂) se observan a frecuencias bajas en la región de entre 1-2 ppm, siendo un desplazamiento químico normal.

En el espectro obtenido para el bisaboleno (Figura 9). Al igual que en el curcumeno, se observa una señal a 5.2 ppm, correspondiente a fragmentos alquénlicos del tipo-C=CHR. Del mismo modo, los fragmentos -CH₂ y -CH₃ se observan a frecuencias bajas en la región de entre 0.8-2.6 ppm, siendo un desplazamiento químico normal. Algunos de los fragmentos -CH₂ se encuentran unidos directamente al ciclohexano.

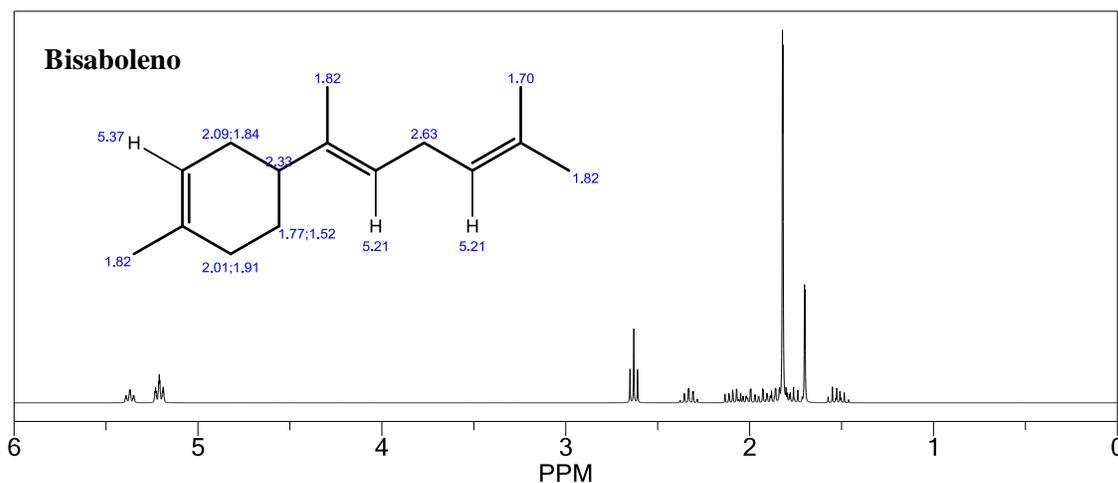


Figura 9. Espectro teórico de RMN de ¹H (400 MHz) para el bisaboleno reportado en CDCl₃

En la Figura 10 se presenta el espectro de RMN-¹H para el neral. El hidrógeno del grupo aldehído, se muestra a campo magnético bajo y/o frecuencias altas, aproximadamente 9.6 ppm, siendo esta una señal característica para este tipo de compuestos. En 5.77 ppm se muestra la señal correspondiente al protón alquénlico vecino al carbonilo del aldehído. Respecto a los tres grupos alquilo y los grupos metilénicos, estos se presentan entre 1 y 2 ppm. Por último, al igual que para los compuestos descritos anteriormente, el protón en 5.20 ppm corresponde a un desplazamiento químico usual para fragmentos alquénlicos del tipo-C=CHR. Finalmente y como dato importante se reporta que la molécula de neral se presenta como el isómero Z, en donde los sustituyentes de mayor prioridad se encuentran en el mismo lado. Con base en las asignaciones teóricas, el neral presenta desplazamientos químicos análogos al citral, solo existe una pequeña diferencia en el desplazamiento químico de los protones alquénlicos de (5.77 ppm para citral y 5.20 ppm para neral) esto

podría deberse a la disposición en el espacio de los sustituyentes con respecto al doble enlace.

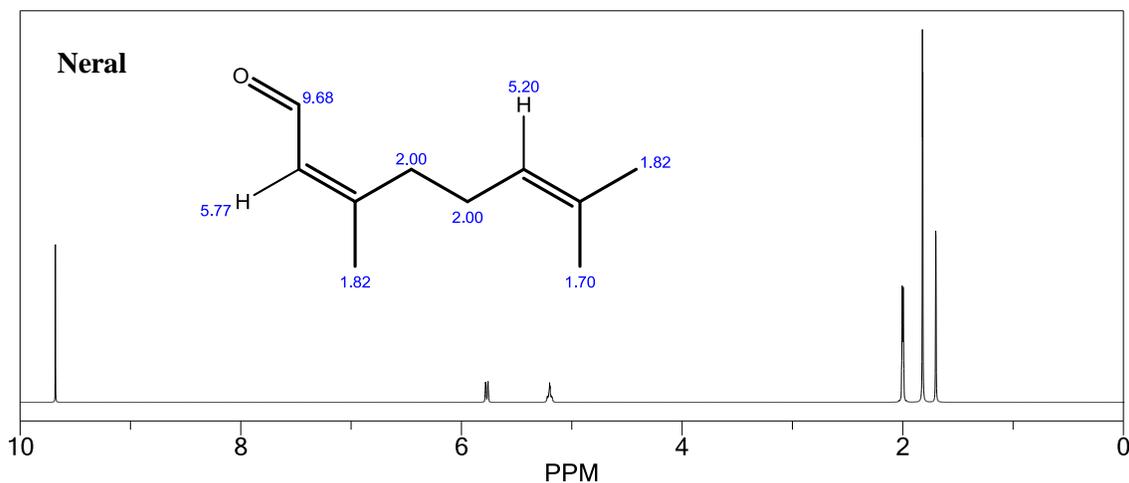


Figura 10. Espectro teórico de RMN de ^1H (400 MHz) para el neral reportado en CDCl_3

El espectro de RMN- ^1H para el geraniol se muestra en la Figura 11. A diferencia de los compuestos anteriores, el geraniol presenta una estructura lineal donde se observa un desplazamientos químicos normales para los protones que corresponden a los grupos $-\text{CH}_3$ (1.70 y 1.82 ppm) y $-\text{CH}_2$ (2 y 4.2 ppm). En 5.39 ppm se observa la presencia de un protón del etileno; mientras que en 3.65 ppm se encuentra el protón del grupo funcional OH.

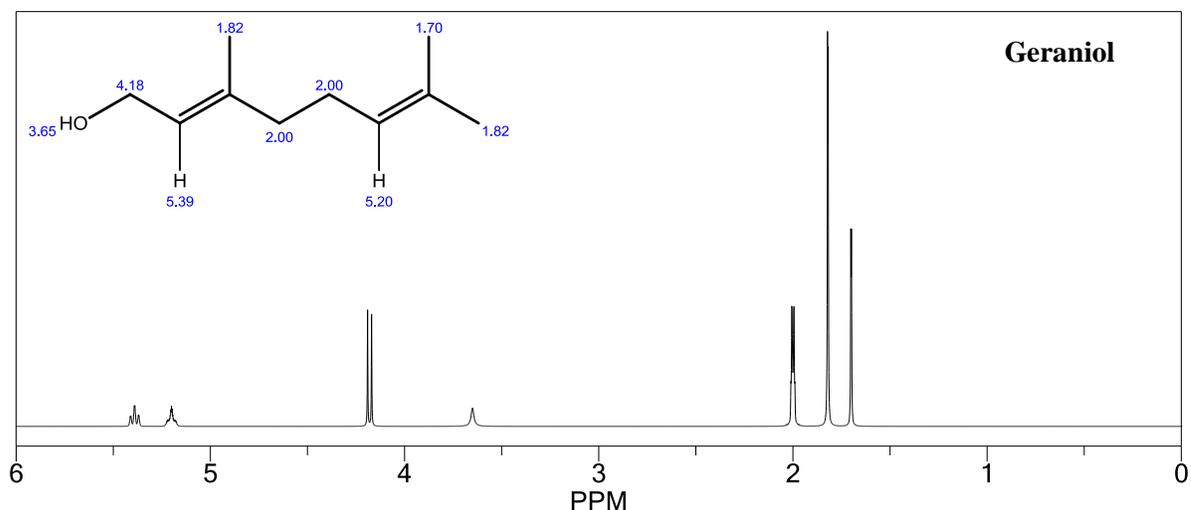


Figura 11. Espectro teórico de RMN de ^1H para el Geraniol reportado en CDCl_3

A continuación, se muestran los espectros de RMN- ^1H obtenido en CDCl_3 a 400 MHz para una muestra de aceite comercial de jengibre (Figura 12) y para las muestras de aceite esencial extraído de jengibre de 3, 5 y 8 meses de maduración (Figuras 13, 14 y 15 respectivamente).

Realizando la comparación con los desplazamientos químicos teóricos mostrados anteriormente, en el aceite comercial, es posible que las señales observadas correspondan a la presencia de los 5 compuestos mayoritarios reportados para el jengibre. Sin embargo, cabe mencionar que se desconoce el método de extracción utilizado para la obtención de esta muestra.

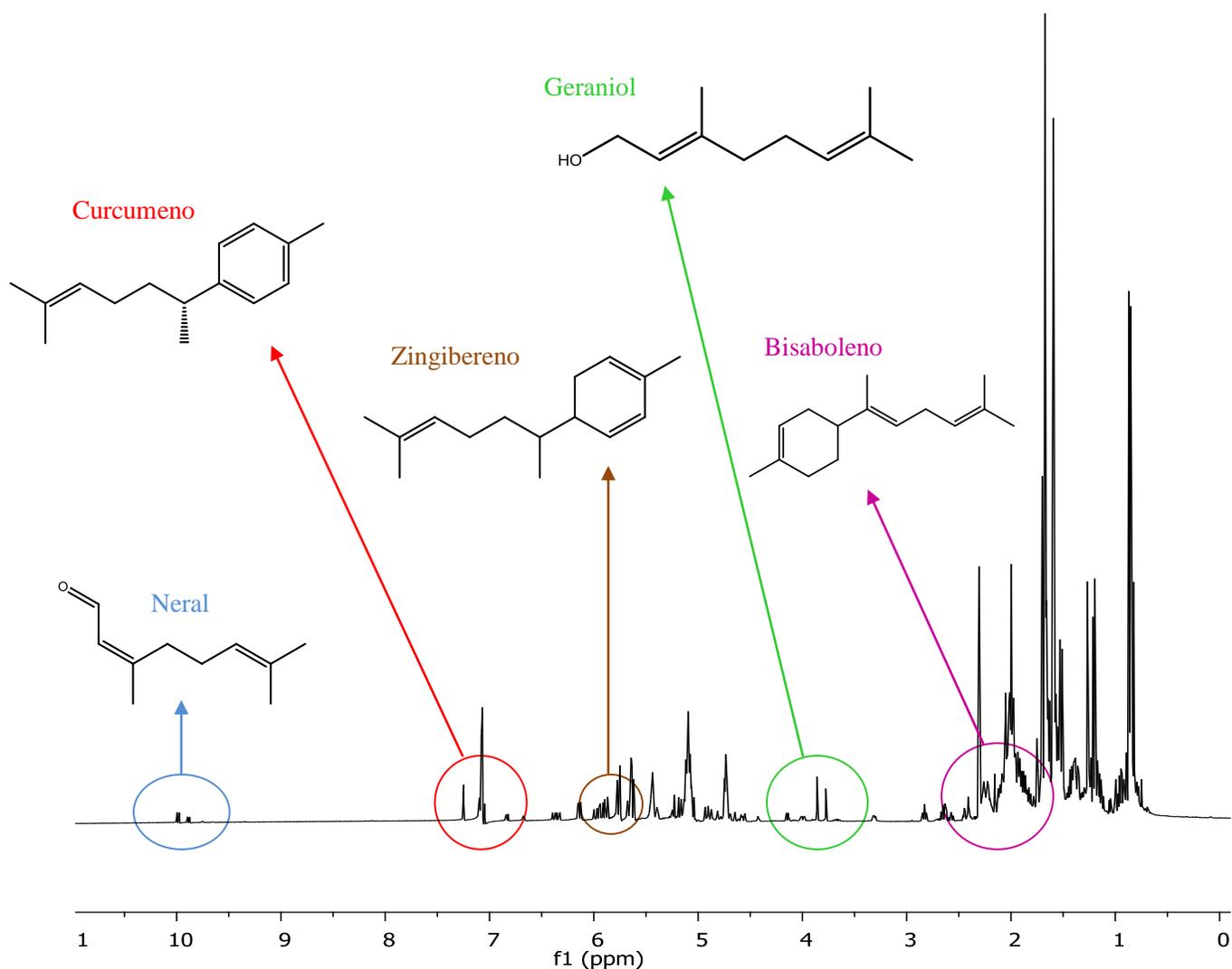


Figura 12. Espectro de RMN de ^1H (400 MHz) en CDCl_3 de la muestra comercial

En cuanto a las muestras de aceite extraído del jengibre analizado, en la correspondiente a 3 y 5 meses de maduración es posible inferir la presencia de zingibereno, bisaboleno, curcumeno y geraniol, ya que las fracciones analizadas presentan señales similares a las observadas en los espectros teóricos para estos compuestos, además de las semejanzas observadas con el espectro de la muestra comercial.

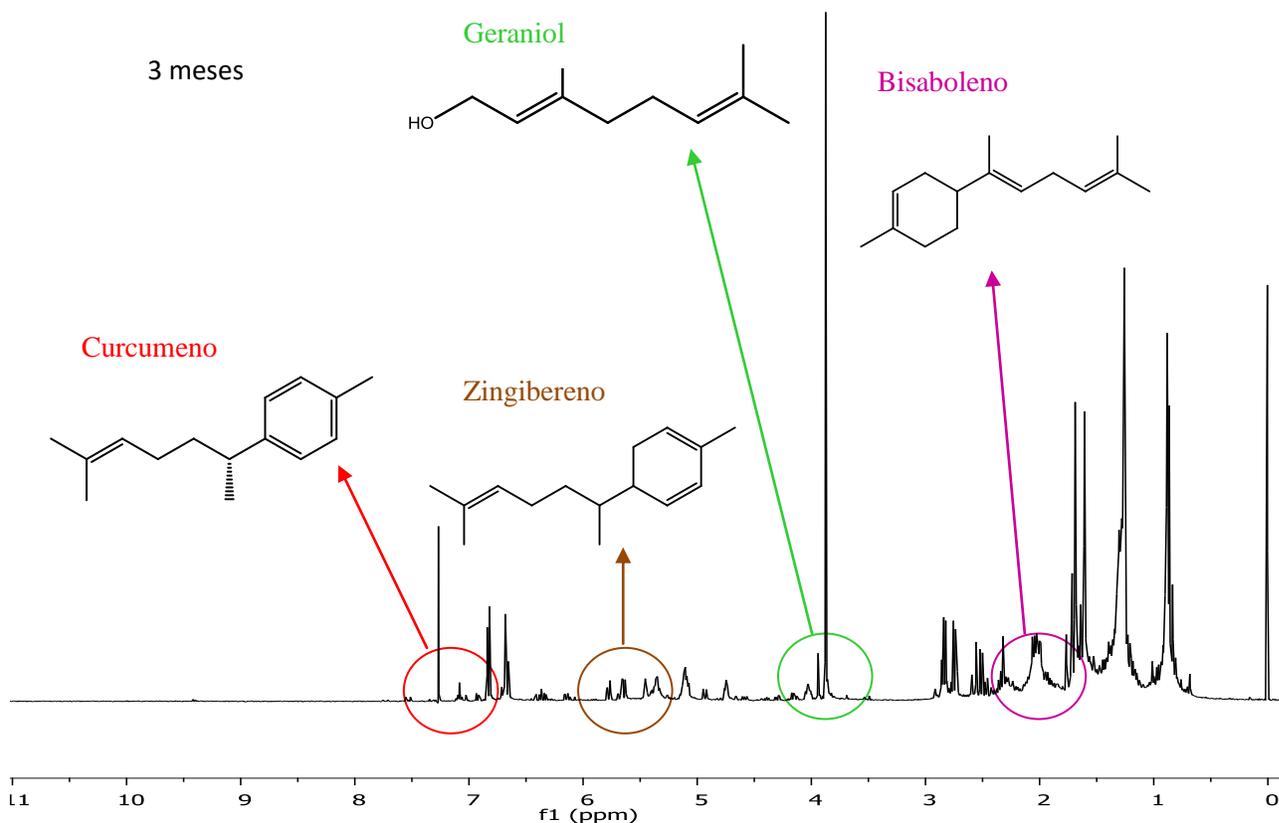


Figura 13. Espectro de RMN de ^1H (400 MHz) en CDCl_3 de la muestra de 3 meses de maduración

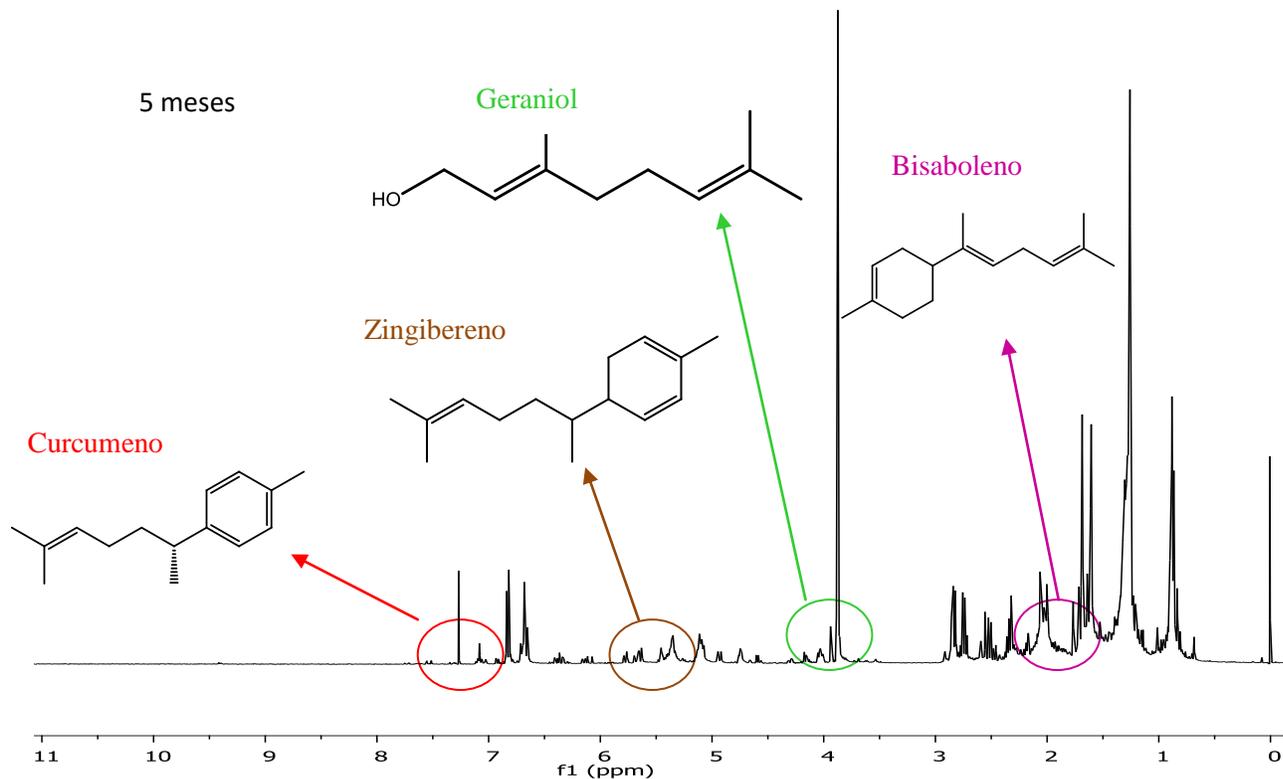


Figura 14. Espectro de RMN de ^1H (400 MHz) en CDCl_3 de la muestra de 5 meses de maduración

En el caso del aceite extraído de la muestra de jengibre de 8 meses de maduración, se observa la aparición de señales en 10 ppm que no estaban presentes en las muestras de 3 y 5 meses. Estas señales pueden ser atribuidas a la presencia de neral y citral que podrían sintetizarse en etapas tardías de maduración puesto que son contribuyentes del aroma y el jengibre presenta sabor y aroma más intenso conforme el estado de maduración aumenta.

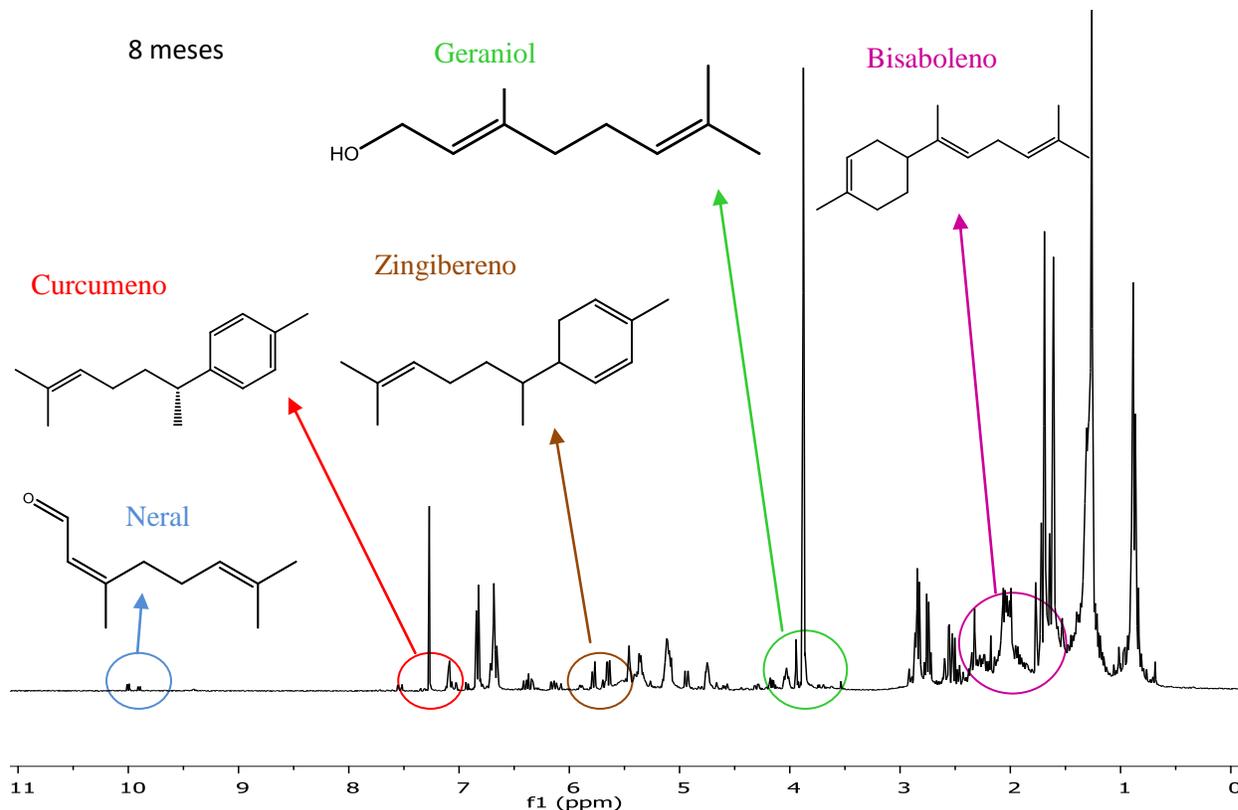


Figura 15. Espectro de RMN de ^1H (400 MHz) en CDCl_3 de la muestra de 8 meses de maduración

En los espectros de las 3 muestras de aceite analizadas (obtenidas de jengibre de 3, 5 y 8 meses) se observa una señal de alta intensidad en aproximadamente 4 ppm. Esta señal puede deberse a la presencia de agua en la muestra ya que el método de secado utilizado fue exposición al aire libre por lo que se infiere que la temperatura no fue suficiente para eliminar toda el agua presente en la muestra.

Cabe mencionar que la elucidación de las estructuras mencionadas anteriormente no es absoluta, ya que se trabajó con aceites no purificados lo que podría explicar la presencia de señales que no corresponden a los compuestos buscados. Así mismo, la extracción se realizó con hexano, el cual puede contener impurezas como el tereftalato de sodio, generando señales que causen error al momento de elucidar las estructuras.

VI.3 Evaluación sensorial de gomitas de grenetina a base de jengibre

Para la elaboración de las gomitas a base de jengibre se utilizó una pasta de jengibre obtenida de rizomas en una etapa de maduración mayor a 8 meses ya que corresponde al tiempo en el cual los productores normalmente cosechan y comercializan el jengibre y la que a su juicio, proporcionaría condiciones adecuadas para la producción de las gomitas evitando la reducción de tamaño que implicaría si se usara el jengibre en fresco. La elaboración del extracto de jengibre se llevó a cabo utilizando 1250g de pasta molida de jengibre en 416mL de agua; obteniendo 400mL de extracto concentrado final. A partir de este extracto se procedió a realizar las gomitas a partir de la formulación 4 (FG4) presentada anteriormente, obteniendo 600g de gomitas.

La prueba sensorial fue realizada a un total de 25 jueces de los cuales el 60% fueron mujeres y el 40% hombres, entre 25 y 47 años de edad, a quienes previamente se preguntó si conocían o consumían productos a base de jengibre. Las personas que respondieron negativamente no fueron consideradas en la prueba para evitar sesgo en las respuestas debidas a desconocimiento o aversión hacia el producto (Wittig, 2001; Espinosa, 2007). En la tabla 10 se muestran los resultados (en porcentaje) de las respuestas obtenidas en la prueba de nivel de agrado realizada por cada uno de los jueces para los atributos evaluados.

Tabla 10. Porcentajes seleccionados de cada uno de los atributos evaluados en las gomitas de grenetina a base de jengibre

Parámetro	Color	Sabor	Textura	Calidad global
Me agrada mucho	8%	4%	20%	4%
Me agrada	40%	28%	48%	32%
Me agrada ligeramente	36%	36%	28%	36%
Ni me agrada ni me desagrada	8%	4%	4%	8%
Me desagrada ligeramente	8%	24%	0%	20%
Me desagrada	0%	4%	0%	0%
Me desagrada mucho	0%	0%	0%	0%

Durante la realización de la prueba de nivel de agrado, la opción “Me desagrada mucho” no fue seleccionada por ninguno de los jueces participantes para ninguno de los atributos

analizados. En cuanto al color de las gomitas (proporcionado por el extracto de jengibre utilizado) fue del agrado de los consumidores puesto que obtuvo un 84% de respuestas positivas o de agrado (suma de respuestas “Me agrada”, “Me agrada mucho” y “Me agrada ligeramente”), solo un 8% de respuestas de desagrado (“Me desagrada ligeramente”) y únicamente un 8% de los consumidores encuestados opinaron que el color ni les agradaba ni les desagradaba (punto de indecisión o indiferencia). Aunque los resultados obtenidos para el atributo de color son positivos, este podría mejorarse tomando en consideración los comentarios proporcionados por los participantes en la prueba quienes opinaron que sería más atractivo si fuera más llamativo, claro y brillante.

Con respecto al sabor, este fue el atributo que obtuvo el porcentaje de agrado más bajo (68%). Este atributo le fue indiferente al 4% de la población encuestada y el 28% mostró algún tipo de desagrado. Los consumidores a quienes el producto no les agradó comentaron que el sabor era muy pungente, lo anterior puede explicarse por el hecho de que aunque en México se consumen productos picantes, la pungencia resultante es diferente a la otorgada por especias tales como la pimienta o el jengibre y dichas sensación no es muy familiar para los paladares de los consumidores. Algunos de los jueces encuestados también mencionaron que las gomitas sabían a “jabón o detergente”. Esto puede ser debido a que algunos compuestos químicos característicos del jengibre, tales como el citral y el limoneno, cuando se encuentran presentes a ciertas concentraciones, en productos alimenticios otorgan notas florales y cítricas que pueden ser asociadas con aromas a jabón, a limpio y a productos de limpieza o aseo personal (Díaz, 2007)

Contrario a lo observado para el sabor, la textura fue el atributo que más gustó. Los jueces mencionaron era suave y fácil de masticar. Esta característica de las gomitas obtuvo un 96% de respuestas positivas, de las cuales, 20% correspondió a “Me gusta mucho”, y el 46% a “Me gusta” y el 4% de respuestas de indecisión o indiferencia.

Teniendo en cuenta estos tres parámetros la calidad global de la gomita fue aceptada por la mayoría de los jueces. Sin embargo, existe un 20% en contra debido a parámetros como la pungencia y que 12% de los jueces percataron un olor desagradable en el producto. Por último de los 25 jueces que realizaron la prueba el 68% comprarían la gomita si existiera en el mercado debido a las propiedades que aportan los productos a base de jengibre, el 24% les es indiferente y el 8% no compraría el producto debido a que el sabor que presenta no es típico de este tipo de productos.

VII. Conclusiones

- ❖ La variedad de jengibre cultivada en la Sierra Norte de Puebla es pequeña en comparación con los estándares por calibre establecidos en la Norma del *Codex Alimentarius* y aunque cumple con los requisitos mínimos de calidad establecidos, el peso podría ser una limitante para su exportación en fresco.
- ❖ Es importante considerar el estado de madurez del jengibre a utilizar para la elaboración de diversos productos derivados de este rizoma ya que la composición química varía con la maduración y algunos componentes pueden llegar a modificar atributos sensoriales de los productos finales, como la textura y el sabor.
- ❖ Las muestras de aceite extraídas del jengibre analizado, presentan en su composición una mezcla de compuestos de tipo terpénico comparable a los que se encuentran en una muestra comercial de aceite de jengibre lo que representa una alternativa de uso del jengibre producido en la Sierra Norte de Puebla.
- ❖ El estado de madurez parece no tener influencia en los componentes del aceite esencial extraído ya que los compuestos elucidados teóricamente son muy similares en las 3 etapas estudiadas.
- ❖ La elaboración de gomitas a base de jengibre es viable debido a que el proceso es sencillo, presenta un alto rendimiento y no es costoso.

VIII. Perspectivas

- ❖ Resultaría útil determinar la variedad de jengibre analizado así como estudiar la composición del suelo donde se cultiva para determinar su influencia en factores como el tamaño, peso y composición química tanto del rizoma como del aceite extraído.
- ❖ Sería recomendable realizar una separación en columna y purificación de las muestras de aceite esencial de jengibre utilizando diferentes solventes para identificar los compuestos presentes en cada fracción por medio del análisis de RMN de ^1H y ^{13}C en una y dos dimensiones.
- ❖ Los resultados de las pruebas sensoriales preliminares realizadas a las gomitas indican que fue del agrado de los consumidores; sin embargo, sería pertinente ampliar el número de participantes así como realizar una prueba de aceptación de las mismas.
- ❖ Es preciso seguir trabajando en la afinación del proceso para la elaboración de las gomitas con la finalidad de reducir tiempos y costos y llevarlo a un nivel planta piloto.

IX. Referencias

- Acuña, O.; Torres, A. (2010). Aprovechamiento de las propiedades funcionales del jengibre (*Zingiber officinale* R.) en la elaboración de condimento en polvo, infusión filtrante y aromatizante para quema directa. *Revista Politécnica*, 29(1), 60–69.
- Akhtar A. A., Kumar D. P. and Mannan, A. (2013). Physico-chemical characterization and product development from ginger (*Zingiber officinale*) germoplasm available in South Western Region of Bangladesh. *Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 5(6), 53-62.
- Ali B. H.; Blunden, G.; Tamira, O. M.; Nemmar, A. (2008). Some phytochemical, pharmacological and toxicological properties of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe): A review of recent research. *Food and Chemical Toxicology*, 46, 409–420.
- Alieva, A. (2012). Jengibre: un ingrediente saludable con gran potencial. Extraída el 5/05/2015 desde: <http://www.industriaalimentaria.com>.
- AOAC. (2005). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist. (18th ed). Washington:USA
- Bailey-Shaw, Y. A.; Williams, L. A. D.; Junor, G. A. O.; Green, C. E.; Hibbert, S. L.; Salmon, C. N. A. and Smith, A. M. (2008). Changes in the contents of oleoresins and pungent bioactive principles of Jamaican ginger (*Zingiber officinale* Roscoe.) during maturation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 5564-5571.
- Centro de Exportaciones e Inversiones Nicaragua (CEI) (S/F). Mercados para Jengibre Japón, EE.UU, Canadá y Suiza. Extraído el 20/09/14 desde: www.cei.org.ni/images/file/Mercados_%20Jengibre.pdf
- CODEX STAN 128-1999. Norma del Codex para el jengibre. Extraída el 20/10/13 desde: <http://www.codexalimentarius.org>
- Chiluiza C. J. W., Ulloa C. P. V. (2005). *Proyecto de extracción de aceite esencial de jengibre como alternativa de exportación*. [Tesis de Ingeniería]. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador

- Días, F. O. L. (2007). *Estudio comparativo de la composición química y evaluación de la actividad antioxidante del aceite esencial de Aloysia triphylla (L'Her) Britton, cultivada en tres regiones de Colombia*. [Tesis de Licenciatura] Universidad Industrial de Santander, Colombia.
- El-Ghorab, H. A.; Nauman, M.; Anjum, M. F.; Hussain, S. and Nadeem, M. (2010). A Comparative Study on Chemical Composition and Antioxidant Activity of Ginger (*Zingiber officinale*) and Cumin (*Cuminum cyminum*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, 8231–8237.
- Enríquez, A., Prieto, E., De Los Ríos, E., Ruíz, S. (2008). Estudio farmacognóstico y fitoquímico del rizoma de *Zingiber officinale* Roscoe “Jengibre” de la ciudad de Chanchamayo - Región Junín. Perú. *Revista Médica Vallejana*, 5 (1) 50-64.
- Environmental Protection Agency (EPA). (1996). Method 3052. Microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices.
- Espinosa, M. J. (2007). *Evaluación sensorial de alimentos*. Cuba: Editorial Universitaria.
- Famurewa, A.V., Emuekele, P.O. and Jaiyeoba. K.F. (2011). Effect of drying and size reduction on the chemical and volatile oil contents of ginger (*Zingiber officinale*). *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(14), 2941-2944.
- Flores, K. (2012). Baby ginger: Easy and extraordinary niche crop. Rodale Institute. Accesado el 8 de mayo del 2015. Extraído de: <http://rodaleinstitute.org>
- Giacosa, A., Morazzoni, P., Bombardelli, E., Riva, A., Bianchi, G. and Rondanelli, M. (2015). Can nausea and vomiting be treated with ginger extract?. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*, 19(7), 1291-6
- He, X.; Bernart, M. W, Lian, L. and Lin, L. (1998) High-performance liquid chromatography–electrospray massspectrometric analysis of pungent constituents of ginger. *Journal of Chromatography A*, 796, 327–334
- Kiran C., Chakka A., Amma K., Menon A., Kumar M., and Venugopalan V. (2013). Influence of cultivar and maturity at harvest on the essential oil composition, oleoresin and [6]-gingerol

contents in fresh ginger from northeast India. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61 (17), 4145-4154.

- Latona, D. F., Oyeleke, G. O. and Olayiwola, O. A. (2012). Chemical Analysis of Ginger Root. *Journal of Applied Chemistry*, 1(1), 47-49.
- Foundation for Agronomic Research (FAR), Potash and Phosphate-Institute (PP); Potash and Phosphate Institute of Canada (PPC). (1988). Manual de fertilidad de los suelos. Extraída el 18/08/2015 desde: <http://hdl.handle.net/11348/4910>.
- Martínez, A. (2001). “Aceites esenciales”. Extraída el 30/08/2013 desde <http://farmacia.udea.edu.co/~ff/esencias2001b.pdf>
- Martínez, A. O. L., Ardila, C. M., García, B. Y., Restrepo, C. S. (2013). Identificación y selección de descriptores de jengibre (*Zingiber officinalis*) con jueces entrenados para establecer un perfil sensorial por aproximación multidimensional según NTC 3932; Universidad de Antioquia. Medellín-Colombia.
- Morales, M. A. (2007). El cultivo del jengibre *Zingiber officinale*. Ministerio de Agricultura y Ganadería. San Isidro, Costa Rica.
- Natta, L., Orapin, K., Krittika, N. and Pantip, B. (2008). Essential oil from five Zingiberaceae for anti-food-borne bacteria. University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand.
- NORMA Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Extraída el 07/12/2015 desde: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=717582&fecha=31/12/2002.
- Odebunmi, E.O., Oluwaniyi, O.O. & Bashiru, M.O. (2009). Comparative Proximate analysis of some food condiments. *Journal of Applied Sciences Research*, 6(3), 1-3.
- Okafor, G. I. and Okafor, J. N. C. (2002). Effects of pricking, sun-drying and sieving on Ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) colour and powder. University of Nigeria, Lagos, Nigeria.

- Onu, L. I. and Okafor, G. I. (2002). Effect of physical and chemical factor variations on the efficiency of mechanical slicing of Nigerian ginger (*Zingiber Officinale* Rose). Federal Institute of Industrial Research, Lagos, Nigeria.
- Orellana, A. R. (2004). *Evaluacion del efecto de dos fuentes de fertilizantes en el rendimiento de jengibre (Zingiber officinale R.), en la finca bulbuxya, San Miguel Panan, Suchitepequez* [Tesis de licenciatura]. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Otunola, G., Oloyede, B. Oladiji, T. and Afolayan, A. (2010). Comparative analysis of the chemical composition of three spices – *Allium sativum* L. *Zingiber officinale* Rosc. and *Capsicum frutescens* L. commonly consumed in Nigeria. University of Ilorin, Kwara State, Nigeria.
- Ramírez, R. E. (2003). *Caracterización fisicoquímica y desarrollo de nuevos productos de jengibre (Zingiber officinale) producido en la Sierra Norte de Puebla.* [Memoria de estadía]. Universidad Tecnológica del Valle del Mezquital. Hidalgo
- Real Academia Española (2014), 23^a Edición. Extraída el 19/03/2014 desde: <http://lema.rae.es/drae/?val=jengibre>.
- Sasidharan, I. and Menon, A. (2010). Comparative chemical and antimicrobial activity fresh & dry ginger oils (*Zingiber Officinale* Roscoe). National Institute for Interdisciplinary Science & Technology (CSIR), Industrial Estate.
- Sharrif, M. M. and Haddad, K. H. (2012); Ginger (*Zingiber officinale*): A review. *Journal of Medicinal Plants Research*, 6(26), 4255-4258.
- Shirin, A. and Prakash, J. (2010). Chemical composition and antioxidant properties of ginger root (*Zingiber officinale*). University of Mysore, India
- Stoilova, I., Krastanov, A., Stoyanova, A., Denev, P. and Gargova, S. (2007). Antioxidant activity of a ginger extracts (*Zingiber officinale*). University of Food Technology, Plovdiv, Bulgaria.
- Tanveer, S.; Shahzad, A. and Ahmed, W. (2014). Compositional and mineral profiling of *Zingiber Officinale*. *Pakistan Journal of Food Sciences*. 24(1), 21-26.

- Torres, M. A. (2011). *Aprovechamiento de las propiedades funcionales del jengibre (Zingiber officinale) en la elaboración de un condimento en polvo, infusión filtrante y aromatizante para quema directa* [Tesis de ingeniería]. Escuela Politécnica Nacional. Ecuador.
- Uhl, R. S. (2000). *Handbook of spices seasonings flavourings*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Vázquez, O.; Alenguer, A. y Marreros, J. (2001). “Extracción y caracterización del aceite esencial de jengibre (*Zingiber officinale*)”. *Revista Amazónica de Investigación Alimentaria*, 1 (1), 38 – 42.
- Wittig, R. E. (2001). Evaluación sensorial: Una metodología actual para tecnología de alimentos. Extraída de <http://www.captura.uchile.cl/handle/2250/5556> o en http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias_quimicas_y_farmaceuticas/wittinge01
- Wohlmuth, H.; Smith, M. K.; Brooks, L. O.; Myers, S. P. and Leach D. N. (2006). Essential Oil Composition of Diploid and Tetraploid Clones of Ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) Grown in Australia. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, 1414-1419
- Zhaoa, X.; Aob, Q.; Dua, F.; Zhua, J. and Liuc, J. (2012). Surface characterization of ginger powder examined by X-ray photoelectron spectroscopy and scanning electron microscopy. *Colloids Sur B Biointerfaces*, 79(2), 494-500.