

CAPÍTULO 3

GOMAS Y ACEITES NATURALES UTILIZADOS EN LA MICROENCAPSULACIÓN: EFECTO DE LA RADIACIÓN GAMMA

Gonzalo Martínez Barrera, César Pérez Alonso,**
Jesús Ortiz Espinoza* y Luis Avilés Benítez**

INTRODUCCIÓN

En la última década, el interés, tanto académico como científico, en el área de materiales compuestos, también denominados compositos, ha ido en aumento, más si en estos se incluyen materiales orgánicos. Se ha trabajado con materiales con alto contenido energético, como el aceite de chía, cuyo contenido son aceites (32-39%), proteínas (20%), calcio, hierro, fibra dietética y antioxidantes; o también como la goma arábiga, la cual se considera un emulsificante efectivo que tiene características de baja viscosidad, buena actividad de superficie y habilidad para formar una película protectora en una emulsión.

En algunos de estos compositos es necesario el estudio de propiedades fisicoquímicas y organolépticas, tanto del composito como de sus componentes; por ejemplo, los ácidos grasos omega-3, de naturaleza antioxidante, que proporcionan beneficios al ser humano por los altos contenidos energéticos. Otro, es la semilla de chía, cuya composición presenta hasta dos terceras partes de ácidos grasos omega-3. Más aun, este tipo de semilla posee ventajas sobre otras fuentes de origen marino y terrestre, pero presenta ciertas limitantes, como la susceptibilidad a la degradación tanto oxidativa como térmica.

* Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Materiales Avanzados (LIDMA), Facultad de Química, Universidad Autónoma del Estado de México, Km.12 de la carretera Toluca-Atlaconulco, San Cayetano 50200, México.

** Unidad El Cerrillo, Facultad de Química, Universidad Autónoma del Estado de México. Correo electrónico <gonzomartinez02@yahoo.com.mx>.

El uso de radiación ionizante ha tomado auge en las últimas décadas en diferentes áreas de aplicación, en materiales, medicamentos y alimentos, entre otros. Su aplicación en alimentos se realiza en dosis controladas, con la finalidad de mejorar las características funcionales y la susceptibilidad a la degradación, tanto oxidativa como térmica. Los cambios químicos que causa incluyen la fragmentación, el entrecruzamiento entre las moléculas, la agregación y la oxidación.

En el presente capítulo se hace referencia a dos tipos de gomas naturales (arábiga y mezquite) y dos tipos de aceites (chía y ajonjolí), con los cuales se elaboran microencapsulados. Posteriormente, se discuten los efectos provocados a éstos por la radiación gamma.

1. GOMAS UTILIZADAS PARA ENCAPSULAMIENTO

La microencapsulación es el revestimiento de una sustancia con un material encapsulante, que puede ser una proteína, un carbohidrato, una goma, un lípido o una mezcla de éstos. Los materiales usados como encapsulantes son, generalmente, formadores de película, flexibles, inodoros, insípidos y no higroscópicos. Usualmente, se emplean proteínas, carbohidratos, lípidos y gomas, como se mencionan a continuación.

Las proteínas tienen la capacidad de crear interfases y películas, debido a su naturaleza anfifílica. El tipo y la solidez de una interface dependen de las proteínas utilizadas para formar la emulsión. Ésta se ve influida por su composición de aminoácidos, así como por su temperatura de desnaturalización. Además, la buena solubilidad de las proteínas en agua es deseable cuando se utiliza un proceso en base acuosa.

Los carbohidratos son considerados buenos agentes de encapsulación debido a que presentan bajas viscosidades a alto contenido de sólidos, además de buena solubilidad. Pero como la mayoría de ellos carecen de propiedades tensoactivas necesarias para encapsular aceites, generalmente se los asocia con otros materiales, como proteínas o gomas.

Las grasas se han utilizado, principalmente, como un revestimiento secundario para mejorar las propiedades de barrera contra el agua, debido a su naturaleza hidrofóbica.

En la Tabla 1 se muestra los agentes encapsulantes más comúnmente empleados en diversos procesos industriales.

Tabla 1
Materiales para encapsulación

<i>Clase</i>	<i>Tipo de material</i>
Proteínas	Gluten, caseína, gelatina, albúmina, hemoglobina, péptidos.
Carbohidratos	Almidón, maltodextrinas, sólidos de jarabe de maíz, coclodextrinas, almidón modificado, sacarosa.
Lípidos	Cera, parafina, cera de abeja, diacilgliceroles, aceites o grasas.
Gomas	Goma de acacia, goma de mezquite, agar, alginato de sódico, carragenato.

Los hidrocoloides o gomas, generalmente, se utilizan como agentes texturizantes, por su efecto espesante y creador de viscosidad, pero entre sus efectos secundarios figura la encapsulación, la estabilización de emulsiones y formación de películas. Las propiedades emulsificantes se le atribuyen a la fracción de proteína presente en la goma.

1.1 Goma arábica

La goma arábica es definida por el Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA, por sus siglas en inglés) como: material seco exudado obtenido de los tallos y ramas de los árboles *Acacia Senegal* y *Acacia Seyal*. Esta goma es un polisacárido natural, complejo, ramificado, neutro o ligeramente ácido, en cuya estructura prevalecen sales de calcio, magnesio y potasio (Cui *et al.*, 2006: 1524).

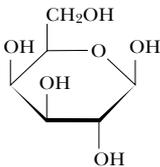
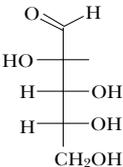
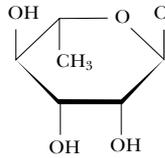
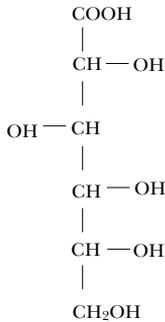
La goma arábica se emplea comúnmente en hidrocoloides alimenticios; sirve como emulsificante muy eficiente y estabilizador a largo plazo en los alimentos y algunos productos con interfaces agua-aceite.

El principal componente de la goma arábica es un polisacárido altamente ramificado, constituido estructuralmente por β -(1, 3) galactosa unido con arabinosa y ramnosa, con terminaciones en ácido glucurónico (véase Figura 1). Una pequeña fracción es un complejo de alto peso molecular denominado arabinogalactona (GAGP) interconectada mediante enlaces covalentes a través de serina y grupos de hidroxiprolina. La fracción más pequeña es una glicoproteína (Kiefer *et al.*, 2010: 121).

La goma arábica presenta estructuras en forma de *lágrimas* esferoidales de hasta 32 mm de diámetro o fragmentos angulosos de diversas tonalidades (blanco, blanco-amarillento, translúcido u opaco), formas que son por lo regular quebradizas.

La goma arábiga presenta pH de entre 4.5 y 5.0, baja viscosidad y alta solubilidad en agua (hasta 50%), pero es insoluble en aceites y en la mayoría de disolventes orgánicos. A diferencia de otras gomas, sus soluciones tienen un comportamiento newtoniano en concentraciones de hasta 40% y uno pseudoplástico, a mayores concentraciones. Su peso molecular varía entre 250 mil y un millón, además de tener una temperatura de fusión mayor a 250°C.

Figura 1
Principales monosacáridos de la goma arábiga

<i>Galactosa</i>	<i>D-Arabinose</i>	<i>Ramnosa</i>	<i>Ácido Glucónico</i>
			

Como parte de sus ventajas está su poder de emulsificación, la capacidad para formar tanto películas protectoras con propiedades hidrocoloidales como emulsiones con la mayoría de los aceites (Dror *et al.*, 2006: 3265).

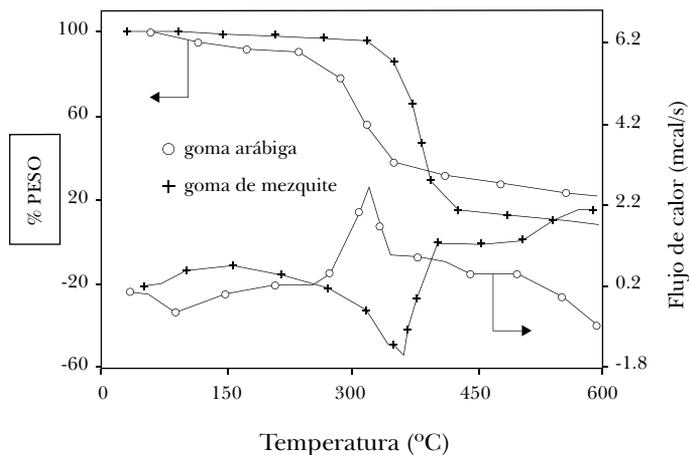
Estudios recientes se han enfocado, principalmente, a evaluar el peso molecular de la goma arábiga, así como el reconocimiento de sus principales constituyentes orgánicos mediante espectroscopia infrarroja. En la Tabla 2 se señalan las bandas características de la goma arábiga.

En investigaciones en torno a la goma arábiga se han realizado análisis químicos de carbohidratos, ácidos grasos y compuestos elementales (Madhav *et al.*, 2007: 297). Mediante calorimetría diferencial de barrido se encontró una temperatura de descomposición alrededor de los 300°C para la goma arábiga (Zohuriaan *et al.*, 2004: 575) (Figura 2).

Tabla 2
Bandas de infrarrojo características de goma arábica

Banda	Asignación
3350	ν OH
2900	ν CH
1600	ν_{as} COO
1400	ν_s COO
1380	δ CH
1000	ν C=O
830	ν_s CCO

Figura 2
Termogramas DSC y TGA de goma arábica y goma de mezquite



1.2 Goma de mezquite

La goma de mezquite es un exudado en forma de lagrima producida por el árbol de mezquite (*Prosopis spp*) (véase figura 3), el cual es una leguminosa fijadora de nitrógeno que generalmente alcanza tamaños de 5 a 12 metros. Existen cerca de 50 especies de mezquite en el mundo, las cuales están distribuidas en regiones áridas y semiáridas, particularmente en México.

Figura 3
Exudado de mezquite



El mezquite puede crecer en regiones donde el agua superficial es escasa. Juega un papel valioso en la conservación de la fauna silvestre del desierto, debido a que ésta depende de la planta como recurso alimenticio o como hábitat.

La goma de mezquite ha sido utilizada en la industria alimentaria principalmente como agente microencapsulante de saborizantes y aceites esenciales y surfactante de emulsiones agua/aceite (p. ej. bebidas cítricas carbonatadas, estabilizante en aderezos, mayonesas, cerveza, vino, etc.). También es ampliamente usada como material estructural de películas comestibles, ya que retarda la emisión de etileno y mejora la textura de la fruta, como la guayaba y el limón.

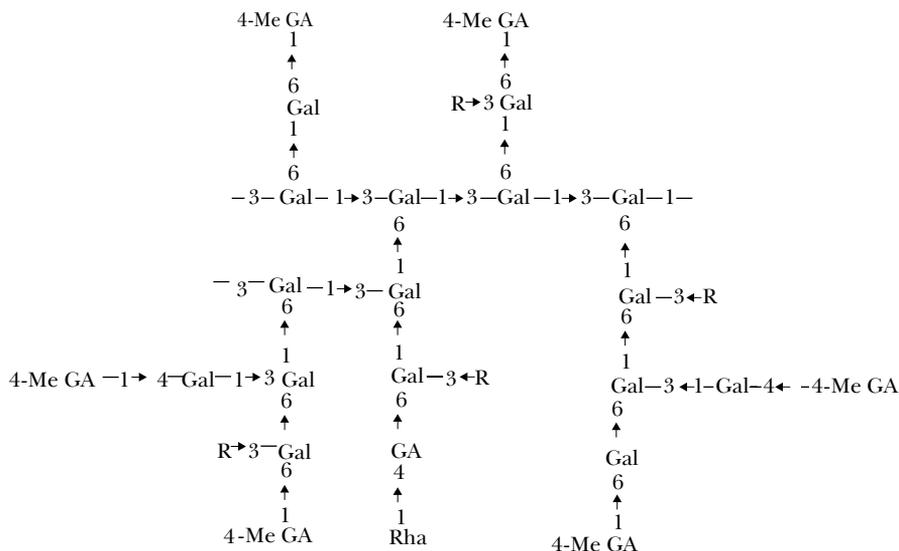
Las ventajas de la goma arábica son su disolución más rápida, acelera la dispersión de los ingredientes y atrapa de mejor forma los compuestos aceitosos, además de que los productos obtenidos son más estables en color y sabor.

Químicamente, la goma de mezquite es una sal neutra de un polisacárido, aniónico, ramificado; es considerada una arabino-galactano-proteína (AGP, polisacárido unido covalentemente a una proteína) (véase Figura 4). El componente polisacárido se ha descrito como una cadena central de unidades de D-galactosa, enlazada por uniones (1→3) y β (1→6), a la cual se unen cadenas laterales en el oxígeno 6, algunos de los residuos de D-galactosa (Aspinall *et al.*, 1970: 3840).

Las ramificaciones consisten en mono u oligosacáridos de D-galactosa, L-arabinosa, ácido D-glucurónico y ácido 4-O-metil-glucurónico. Esta estructura

ramificada genera una conformación molecular con alta solubilidad en agua (Goycoolea *et al.*, 2000: 245; Orozco-Villafuerte *et al.*, 2003: 327). Se han encontrado porcentajes de arabinosa (71%), galactosa (26%) y ácidos urónicos (3%) para los componentes de la goma de mezquite (López, 2009: 53).

Figura 4
Estructura primaria para el componente polisacárido de la goma de mezquite



R= Ara-(1→2)-Ara-(1→2)-Ara-(1→2)-Ara-(1→2)-Ara-(1→4)-Ara-(1→3)-Ara-(1 y

Ara-(1→6)-Gal-(1→3)-Ara-(1→3)-Ara-(1

Además de los componentes polisacáridos, la goma de mezquite tiene una fracción proteica que oscila entre 2 y 4.8%, la cual se encuentra relacionada con sus propiedades funcionales permitiéndole tener una buena actividad superficial. La masa molecular del componente polisacárido le provee a los sistemas dispersos una estabilidad a largo plazo, debido a factores estéricos (Vemon-Carter *et al.*, 2000: 217).

Las arabino-galactanas proteicas (AGP) son proteoglicanas extracelulares encontradas en la mayoría de los tejidos de las plantas superiores, incluyendo hojas, tallos, raíces, flores, semillas y troncos de algunos angiospermas y gimnosper-

mas. Estas macromoléculas están relacionadas directamente con los procesos de desarrollo y crecimiento. Debido a su complejidad molecular, la función de las AGP no es bien conocida, lo que genera la necesidad de elucidar la estructura de sus unidades de hidratos de carbono y proteína.

La goma de mezquite presenta estructuras en forma de lágrimas esferoidales de hasta 32 mm de diámetro o fragmentos angulosos de diversas tonalidades (amarillento, rojizo), formas que son, por lo regular, quebradizas. La goma de mezquite es insoluble en aceites y solventes orgánicos; presenta alta solubilidad en agua en concentraciones de hasta 50%; en soluciones al 20% presenta comportamiento newtoniano y en soluciones al 50% un no-newtoniano (López, 2009: 53). Muestra baja viscosidad en altas concentraciones; más aún, dependiendo del pH, la viscosidad aumenta a 6 pH o disminuye a 9 pH. El pH de la goma de mezquite está entre 4.5 y 5.5. Las emulsiones formuladas con goma de mezquite se estabilizan a través de la formación de una membrana interfacial gruesa (interacciones estéricas) y con carga negativa (interacciones electrostáticas) (Pérez-Orozco *et al.*, 2004: 45).

La goma de mezquite presenta una capacidad emulsificante debido a su fracción proteica, de entre 2 y 4.8%, la cual permite formar y estabilizar emulsiones aceite en agua. En soluciones con relación 3:2 de goma de mezquite y maltodextrinas se puede retener hasta 84.6% de aceite de naranja.

Las culturas indígenas Seri y Yaqui, en Sonora, recolectaban algunos frutos (péchita y chucata) de la planta de mezquite, los cuales eran utilizados como alimento y medicina. El estado de Sonora tiene, aproximadamente, 50% del área de mezquital del país.

La disponibilidad de goma de mezquite en cantidades suficientes para asegurar una producción tal que pueda satisfacer la demanda actual y poder competir por el mercado de la goma arábiga es el principal obstáculo para impulsar la inversión de capital en esta actividad. En 1999 se evaluó la disponibilidad de la goma de mezquite de *P. velutina* en cuatro poblaciones silvestres de la zona del estado de Sonora, con densidad de árboles de 80/ha. De éstos, sólo 10% produjeron goma, por lo que se estimó un rendimiento de 23,2 g de goma por árbol (Goycoolea *et al.*, 2000: 245). El tiempo de producción es de 5 semanas, en el cual es posible colectar hasta tres veces. Estas cifras han permitido estimar una producción total de goma de 800 ton/año (López *et al.*, 2006: 183).

2. ACEITES SUSCEPTIBLES DE ENCAPSULAMIENTO

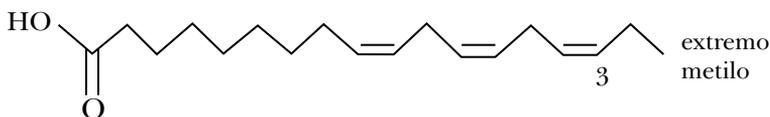
2.1 Aceite de chía

La chía es una planta nativa de las áreas montañosas, que van desde la parte central de México hasta el norte de Guatemala. Contiene entre 32 y 39% de aceites y 20% de proteínas. Los aceites de chía son de bajo contenido en ácidos grasos saturados (mirístico, palmítico y esteárico), pero de alto contenido en ácido linoléico (17-26%) y alfa-linolénico (60%), este último actúa como sustrato para la formación de ácidos grasos omega-3.

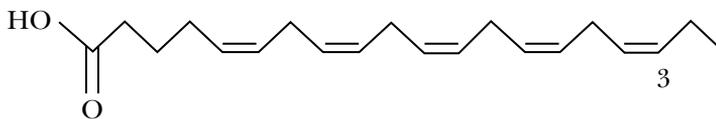
Los antioxidantes más importantes son el ácido clorogénico, el ácido cafeico, miricetina, quercetina, kaempferol y flavonoles. La chía es también una buena fuente de riboflavina, niacina, tiamina, calcio, fósforo, potasio, zinc y cobre (Zohuriana *et al.*, 2004: 575). En este tipo de aceites se encontró que la oxidación del ácido linoléico se presenta en un intervalo de temperatura de 131 a 153 °C dependiendo de las tasas de calentamiento (Ulkowski *et al.* 2005: 9073).

Los principales ácidos grasos omega-3 son: ácido alfa-linolénico (ALA) (22%), ácido eicosapentaenóico (EPA) (15%) y ácido docosahexanóico (DHA) (10%) (véase Figura 5).

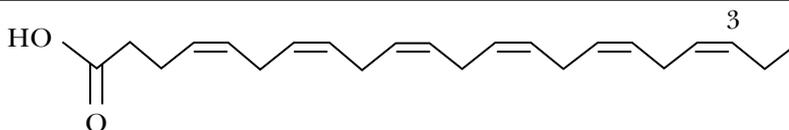
Figura 5
Principales ácidos grasos omega-3



Ácido alfa-linolénico (ALA, C18:3, omega-3)



Ácido eicosapentaenóico (EPA, C20:5, omega-3)



Ácido docosahexanóico (DHA, C22:6, omega-3)

Las semillas de chía son de color blanco o gris y con superficies irregulares; de formas planas y ovaladas, en las cuales se consideran las dimensiones: largo (L), ancho (A) y espesor (E) (véase figura 6).

Respecto al tamaño, hay tres categorías: pequeño ($L < 2.00$ mm), medio ($2.00 < L < 2.25$ mm) y grande ($L > 2.25$ mm) (Bautista *et al.*, 2007: 78).

La caracterización de los constituyentes del aceite de chía ha sido de mucho interés para investigadores. La asignación de sus bandas se muestra en la Tabla 3.

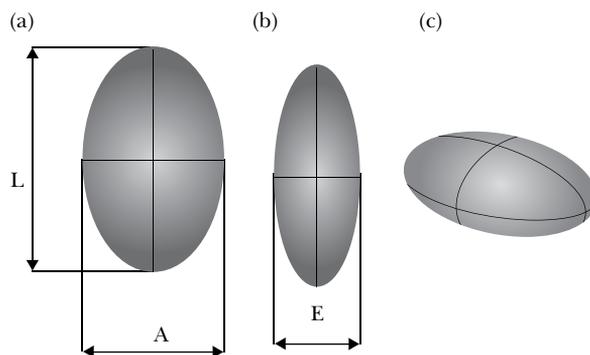


Figura 6. Características dimensionales de semillas de chía: (a) vista frontal, (b) vista lateral y (c) vista tridimensional.

Tabla 3
Bandas Raman e infrarrojas del espectro de aceite de chía

Número de onda (cm^{-1})	Raman	Asignación infrarroja
3013	-	ν CH
2964	-	ν_{as} CH ₃
2874	-	ν_{s} CH ₃
1708	-	ν C=O
1675	ν C=C	-
1456	-	δ CH ₂
1450	δ C-H	-
1313	-	CO vibración
1280	δ CH ₂	-
925	-	ν OH
880	C-C vibración	-

Los ácidos grasos son cadenas hidrocarbonadas con un grupo metilo y uno carboxilo en sus terminales. Éstos se clasifican según su grado de saturación: *saturados* son aquellos que están desprovistos de dobles enlaces en su cadena; *monoinsaturados*, los que contienen un doble enlace, y *poliinsaturados* (PUFA), los que presentan más de un doble enlace (Ureña *et al.*, 2008: 191). Entre las fuentes de ácidos grasos saturados se encuentran las grasas de animales terrestres, aceite de coco y de palma; de monoinsaturados, el aceite de oliva; de poliinsaturados ω -3, los pescados marinos, el aceite de colza y la soja; y de poliinsaturados ω -6, el aceite de maíz, girasol y germen de trigo (Ureña *et al.*, 2008: 191).

2.2 Aceite de ajonjolí

El ajonjolí o sésamo (*Sesamum indicum*) es probablemente el cultivo más antiguo de semillas oleaginosas conocido por la humanidad y ha sido cultivado en Asia y África durante 2 mil años. El aceite de sésamo es un aceite vegetal comestible (véase Figura 7) que se utiliza como aceite potenciador de sabor en la cocina del sur de India, China, la coreana y, en general, en todo el sureste asiático.

Figura 7
Semilla y aceite de ajonjolí

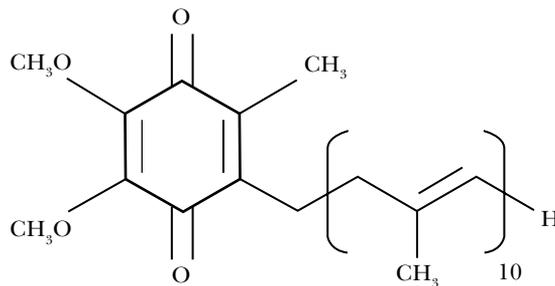


Debido a su alto contenido de aceite de excelente calidad (42-54%) y proteínas (22-25%), las semillas de ajonjolí y su aceite son ampliamente utilizados en la cocina y como ingrediente en alimentos de confitería, así como condimento. Es considerado un alimento saludable (Orruno *et al.*, 2007: 926).

Existen estudios clínicos y epidemiológicos que indican que la ingesta de compuestos fitoquímicos dietéticos y no dietéticos son benéficos para la salud; el ajonjolí, desde esta perspectiva, es una fuente rica en compuestos de lignano (1034 ppm), como sesamol y sesamolina, así como tocoferoles (44 ppm), que tienen reportadas propiedades antioxidantes (Lee *et al.*, 2006: 430).

El aceite de ajonjolí contiene CoQ10 (véase Figura 8), que ayuda, junto con los tocoferoles, en la protección de la función de las membranas biológicas y lipoproteínas que proporcionan mayor resistencia a la oxidación (Pyo *et al.*, 2010: 837).

Figura 8
Estructura química de la CoQ10

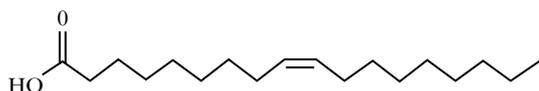
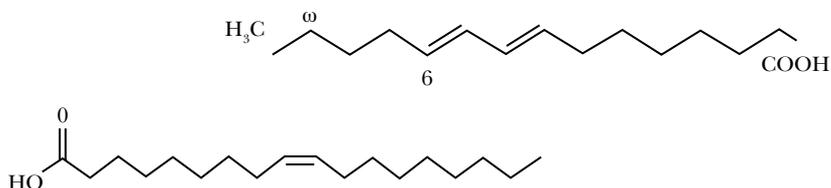


La composición de ácidos grasos del aceite de ajonjolí incluyen oleico y linoleico (43%), ácido palmítico (9%) y ácido estereático (4%) (véase Figura 9) que, en conjunto con el contenido de lecitina, contribuyen a reducir los niveles de colesterol sanguíneo.

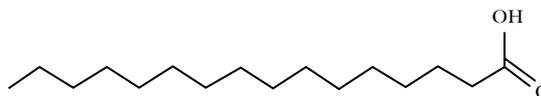
En la Tabla 4 se muestran algunas propiedades químicas y físicas de los principales ácidos grasos del ajonjolí.

Figura 9
Ácidos grasos del aceite de ajonjolí

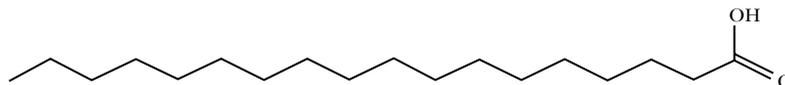
Ácido linoleico (C18:2)



Ácido oleico



Ácido palmítico o ácido hexadecanoico, se representa con la fórmula $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$



Ácido estereático

En la Tabla 4 se muestran algunas propiedades químicas y físicas de los principales ácidos grasos del ajonjolí.

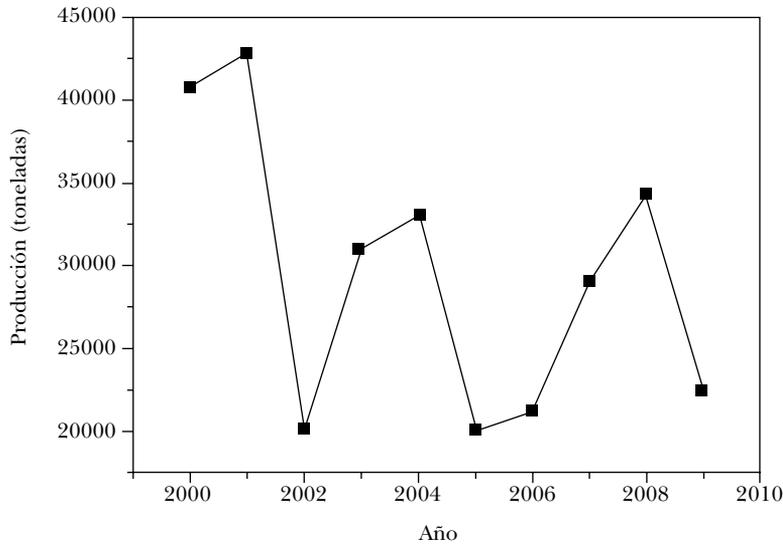
Tabla 4
Propiedades químicas y físicas de los ácidos grasos del ajonjolí

	Ácido <i>linoleico</i>	Ácido <i>oleico</i>	Ácido <i>palmítico</i>	Ácido <i>estereático</i>
	$\text{C}_{18}\text{H}_{32}\text{O}_2$	$\text{C}_{18}\text{H}_{34}\text{O}_2$	$\text{C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2$	$\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2$
Masa molar (g/mol)	280,4	282,0	256,4	284,4
Punto de fusión (°C)	- 5	15	63	69
Punto de ebullición (°C)	229	360	351	361

Las semillas de ajonjolí son de color blanco, rojo, negro o marrones, con superficies irregulares; de formas planas y ovaladas, en las cuales se consideran las

dimensiones: largo (L), ancho (A) y espesor (E). Respecto al tamaño se tienen tres categorías: pequeño ($L < 2.00$ mm), medio ($2.00 < L < 2.25$ mm) y grande ($L > 5$ mm).

Figura 10
Producción de ajonjolí en México



En México, en 2000, la producción nacional de ajonjolí alcanzó las 40 mil 773 toneladas, mientras que en 2009 se obtuvieron sólo 404 toneladas (Sagarpa) (véase Figura 10).

3. MICROENCAPSULACIÓN

La microencapsulación es definida como la tecnología de empaquetar sólidos, líquidos o materiales gaseosos en miniatura. Se obtienen cápsulas selladas que pueden liberar su contenido a velocidades controladas bajo condiciones específicas (Pyo *et al.*, 2010: 837).

Una microcápsula posee una estructura morfológica relativamente simple, ya que está compuesta por dos elementos claramente diferenciados: el núcleo activo y una cubierta polimérica (armazón) que lo envuelve. Sin embargo, el procedimiento de obtención es complejo.

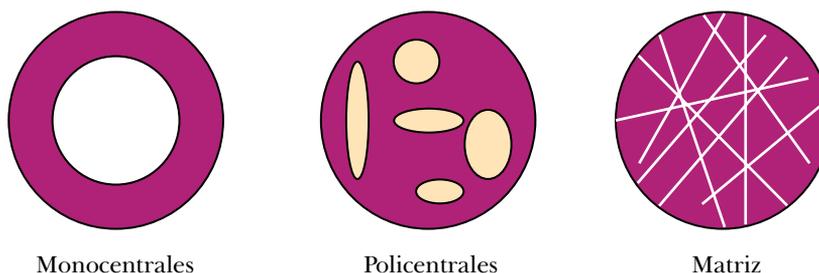
Ciertas sustancias activas son introducidas en el polímero (pared que envuelve) para lograr su liberación gradual. La inserción se lleva a cabo en función de los requerimientos de aplicación del sustrato en el que se depositen las microcápsulas. Los materiales más comunes que forman el armazón son carbohidratos, proteínas y algunas gomas (Franco *et al.*, 2004: 395).

El núcleo puede estar compuesto por sustancias tanto de naturaleza líquida como sólida. En el primer caso se trata de una pequeña gota que contiene a un agente activo de naturaleza soluble. Si, por el contrario, el agente es insoluble, el núcleo estará compuesto por una suspensión, ya sea por emulsión o por dispersión del mismo en el líquido portador. Esta suspensión puede modificarse o formularse en función de su uso final.

El contenido de las microcápsulas puede liberarse por diversos mecanismos: mecánicos, por cambios de pH, por acción enzimática y por liberación térmica, todo ello en función del tipo de agente encapsulante y del sistema en el cual se utilizará el microencapsulado.

Las microcápsulas se clasifican en función de su tamaño o morfología. Respecto al tamaño, éstos varían entre 0.2 y 5000 μm ; respecto a la morfología, se dividen en tres categorías: microcápsulas de un solo centro, microcápsulas policentrales y microcápsulas matriz, en las cuales los ingredientes activos se encuentran dentro de ella (véase Figura 11).

Figura 11
Diferentes tipos de microcápsulas



Existen diferentes métodos para microencapsular, que se agrupan conforme a los procesos físicos y químicos, los cuales se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5
Técnicas para la obtención de microencapsulados

<i>Proceso físicos</i>	<i>Procesos químicos</i>	<i>Procesos físico-químicos</i>
Secado por aspersión	Coacervación simple	Polimerización interfacial
Extrusión	Coacervación compleja	Inclusión molecular
Recubrimiento por aspersión	Atrapamiento en liposomas	

Algunas industrias, como la alimentaria, química o farmacéutica, aplican la microencapsulación, por un gran número de razones (Franco *et al.*, 2004: 395), entre las que destacan:

- Reducción de la actividad del núcleo en relación con el ambiente exterior (luz, oxígeno, agua, disolventes).
- Disminución de evaporación o la velocidad de transferencia del material del núcleo hacia el ambiente.
- Facilidad en el manejo del material del núcleo, evitando apelmazamientos.
- Control de la liberación del material del núcleo.
- Enmascarar o preservar sabores y aromas.

La microencapsulación se ha implementado en diversos materiales, entre los que destacan los aceites, debido a la capacidad de disminución en la oxidación y evaporación de ciertos componentes.

Los procesos de encapsulación fueron desarrollados entre 1930 y 1940 por la National Cash Register para la aplicación comercial de un tinte, a partir de gelatina como agente encapsulante, mediante un proceso de coacervación (Zuidam *et al.*, 2010: 287).

La microencapsulación es un proceso mediante el cual ciertas sustancias bioactivas (sabores, vitaminas o aceites esenciales) son introducidas en una matriz (o sistema pared) para impedir su pérdida y protegerlos de la reacción con otros compuestos presentes en el alimento o impedir que sufran reacciones de oxidación debido a la luz o al oxígeno (Yañes *et al.*, 2008: 313).

Algunas sustancias activas son introducidas en el polímero (pared que envuelve) para lograr su liberación gradual. La inserción se lleva a cabo en función de los requerimientos de aplicación del sustrato en el que se depositen las microcápsulas. Los materiales más comunes que forman el armazón son carbohidratos, proteínas y algunas gomas (Tan *et al.*, 2005: 253).

El contenido de las microcápsulas puede liberarse por diversos mecanismos: mecánicos, por cambios de pH, acción enzimática y liberación térmica, todo ello en función del tipo de agente encapsulante y del sistema en el cual se utilizará el microencapsulado. Se obtienen productos alimenticios con mejores características sensoriales y nutricionales.

La selección del material de encapsulación para una aplicación considera: el tamaño medio de la partícula requerida; las propiedades fisicoquímicas del agente encapsulante y de la sustancia a encapsular; las aplicaciones para el material microencapsulado; el mecanismo de liberación deseado; el método de encapsulación y el costo.

La microencapsulación protege a los materiales encapsulados de factores como el calor y la humedad, permitiendo mantener su estabilidad y viabilidad; también se ha utilizado para mejorar el sabor y la estabilidad de medicamentos y como barrera contra malos olores y sabores. Ayuda, además, a que los materiales frágiles resistan las condiciones de procesamiento y empaquetado mejorando sabor, aroma, estabilidad, valor nutritivo y apariencia.

En el caso de fármacos cuya liberación se lleve a cabo en el estómago o en el intestino, permite máxima absorción de los compuestos con un mínimo de reacciones adversas. Además, la microencapsulación protege a los probióticos de los bacteriófagos y de los ambientes adversos, como la congelación y las soluciones gástricas, y facilita la manufacturación de productos fermentados (Villena *et al.*, 2005: 43).

Diversos métodos han sido propuestos para la microencapsulación. Éstos se dividen en:

- a. Procesos físicos: secado por aspersión, extrusión y recubrimiento por aspersión.
- b. Procesos fisicoquímicos: coacervación simple o compleja y atrapamiento en liposomas.
- c. Procesos químicos: polimerización interfacial e inclusión molecular.

El secado por aspersión, pulverización o *spray drying* se utiliza desde principios del siglo XX. La atomización industrial de alimentos se implementó en 1913 en un proceso desarrollado para leche. El primer equipo rotativo lo desarrolló el alemán Kraus, en 1912, pero comercialmente se conoció gracias al danés Nyro, en 1913.

El principio de este sistema es la obtención de un producto en polvo a partir de un material líquido concentrado, que se pulveriza finamente formando una

niebla que entra en contacto con una corriente de aire caliente (entre 200 y 300 °C para alimentos) que actúa como medio calefactor y fluido de transporte.

El secado por aspersión se utiliza en diversas aplicaciones, desde productos farmacéuticos hasta alimentos y detergentes. Los materiales se encuentran, por lo general, en solución acuosa, los cuales pueden ser atomizados o dispersados como gotitas finas que se ponen en contacto inmediato con un flujo de aire caliente. Estas gotitas proporcionan una extensa área superficial para la transferencia de calor y masa. Debido al enfriamiento por evaporación y al tiempo de residencia corto, se mantienen una temperatura relativamente baja. Esto hace al secado por aspersión ideal para secar sustancias termo-lábiles, como enzimas, plasma sanguíneo y algunas proteínas (Oakley, 2004: 1371).

Es muy importante seleccionar el material encapsulante adecuado, el cual debe tener las siguientes características:

- Buenas propiedades reológicas a altas concentraciones y facilidad de manipulación durante el proceso de encapsulación.
- Capacidad de formar películas.
- Capacidad para dispersar o emulsificar el material activo.
- No reaccionar con el material que será encapsulado.
- Liberación completa del disolvente u otros materiales.
- Capacidad para proporcionar máxima protección al material activo contra condiciones ambientales.

4. LA RADIACIÓN GAMMA EN ALIMENTOS

El tratamiento mediante radiación ionizante es un método efectivo para desinfectar, esterilizar y preservar diferentes productos. Los efectos provocados a dosis bajas de irradiación son similares a los producidos cuando se congela o calientan algunos alimentos. La irradiación provoca la generación de radicales libres mediante el proceso de radiólisis (Franco *et al.*, 2004: 395), los cuales son estables con respecto al tiempo.

La radiación ionizante son ondas electromagnéticas producidas durante la desintegración de isótopos radiactivos. En particular, los rayos gamma se producen por la desexcitación de un nucleón (de un nivel excitado a otro nivel de menor energía) y están constituidos principalmente por fotones. Un rayo gamma es capaz de sacar un electrón de su órbita atómica, el cual, a su vez, producirá ionización con átomos circundantes. Este proceso continúa hasta que se agota toda la energía de la radiación gamma incidente.

Cuando el material es irradiado, la energía suministrada puede presentar diferentes comportamientos: a) una parte de la energía que transporta la radiación se convierte en ionizaciones y/o excitación de moléculas del material; b) otra parte de radiación se da en diversos fenómenos (radiación de frenado, efecto Compton, efecto fotoeléctrico y producción de pares); c) una tercera parte atraviesa, simplemente, la materia sin producir ningún efecto.

La exposición de materiales orgánicos a radiaciones ionizantes puede producir cambios químicos que modifican sus características sensoriales y/o nutricionales. Para cada material existe una dosis umbral de radiación, por encima de la cual es posible advertir cambios sensoriales (en aroma, sabor, color y textura). En general, éstos se producen a dosis de radiación menores que las que alteran la calidad nutricional. Algunas formas de evitar o minimizar estos cambios son: disminuir la dosis de radiación aplicada y la temperatura durante la irradiación, elegir un envase adecuado y, en algunos casos, excluir el oxígeno del mismo.

Los efectos provocados por las radiaciones ionizantes en componentes aislados de los aceites o en mezclas de los mismos son mucho más intensos que los observados en aceites completos. En cuanto a los lípidos, se consideran con valor nutricional principalmente a los triglicéridos y fosfolípidos; estos últimos son bastante resistentes a las radiaciones ionizantes. En los triglicéridos puede existir liberación de ácidos grasos por ruptura de la unión éster o peroxidación de ácidos grasos insaturados.

Los rayos gamma producen ionizaciones en los alimentos, proceso que suele denominarse *efecto primario*. En consecuencia, los iones y radicales libres generados se combinan entre sí o con otras moléculas para formar estructuras químicas distintas a las originales, proceso denominado *efecto secundario*. Las estructuras se forman o desaparecen hasta lograr estructuras químicamente estables.

A los efectos primario y secundario se les denomina radiólisis; a las nuevas estructuras químicas formadas, compuestos radiolíticos, los cuales se producen en cantidades muy pequeñas. Tales compuestos no presentan riesgos para la salud, ya que se ha comprobado que éstos pueden formarse durante la cocción de los alimentos u otros procesos de conservación.

Cabe mencionar que la unidad de medida de la radiación absorbida, en el Sistema Internacional de Unidades, es el Gray (Gy), definido como $1\text{Gy} = \text{Joule/kg}$. Es decir, cantidad de energía por unidad de masa.

El comité de expertos de la Organización de Agricultura y Alimentos (FAO, por sus siglas en inglés), la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA, por sus siglas en inglés) y la Organización Mundial de la Salud (WHO, por sus siglas en inglés) determinaron que las dosis que van de 2 a 5 kGy prolongan el tiempo de almacenamiento de los alimentos, y si son del orden de 10 kGy, aseguran la

calidad y el almacenamiento por largos periodos de tiempo sin necesidad de refrigeración. Más aún, si un alimento ha recibido una dosis de 10 kGy no presenta ningún riesgo toxicológico o adverso para la salud humana; para dosis más altas es necesario un análisis particular, según el tipo de alimento de que se trate. En muchos casos, una dosis de 10 kGy es suficiente para que el alimento quede libre de todos los microorganismos, aunque hay microorganismos más resistentes que otros, por lo ue para la esterilización completa del producto es necesario llegar a dosis superiores, de hasta 50 kGy (Raventós, 2005: 428).

Tabla 6
Dosis para la irradiación de alimentos

<i>Dosis (kGy)</i>	<i>Dosis absorbida (kGy)</i>	<i>Aplicación</i>
Baja:	<1	0,04-0,01
		0,03-0,20
		0,50-1,00
Media:	1-10	1-3
		1-7
		2-10
Alta:	10-50	15-50
		10-50

En la irradiación de alimentos se recomienda siempre el control sobre la disminución del contenido en nutrientes para garantizar la calidad. Las dosis de radiación permitidas en los alimentos dependen de las características de cada producto. En la Tabla 6 se muestran dosis y aplicaciones en alimentos.

Se estima que la sensibilidad a la radiación de compuestos orgánicos es proporcional a su masa molecular. Por ejemplo, una dosis de 0.1 kGy podría dañar 0.005% de los aminoácidos, 0.14% de las enzimas y 2.8% del ADN en una determinada célula. Desde el punto de vista toxicológico, los materiales orgánicos irradiados con dosis de hasta un máximo de 10 kGy no conducen a efectos adversos para la salud humana.

La radiación gamma provoca en las biomoléculas cambios conformacionales, oxidación, ruptura de enlaces y la formación de radicales libres. Los cambios químicos que se producen en las proteínas debido a la radiación son: fragmentación, entrecruzamiento u oxidación, entre otros. La estructura molecular de lípidos y proteínas puede modificarse a través de los radicales hidroxilo (HO) y (O₂). En

general, las interacciones generadas por la radiación pueden alterar los enlaces de hidrógeno presentes en las moléculas, produciendo grupos hidroxilo (Stajner *et al.*, 2009: 381).

En los lípidos, se consideran con valor nutricional a los triglicéridos y fosfolípidos; estos últimos son bastante resistentes a las radiaciones ionizantes. En los triglicéridos puede haber liberación de ácidos grasos por ruptura de la unión éster o peroxidación de ácidos grasos insaturados.

5. LA RADIACIÓN GAMMA EN GOMAS Y ACEITES

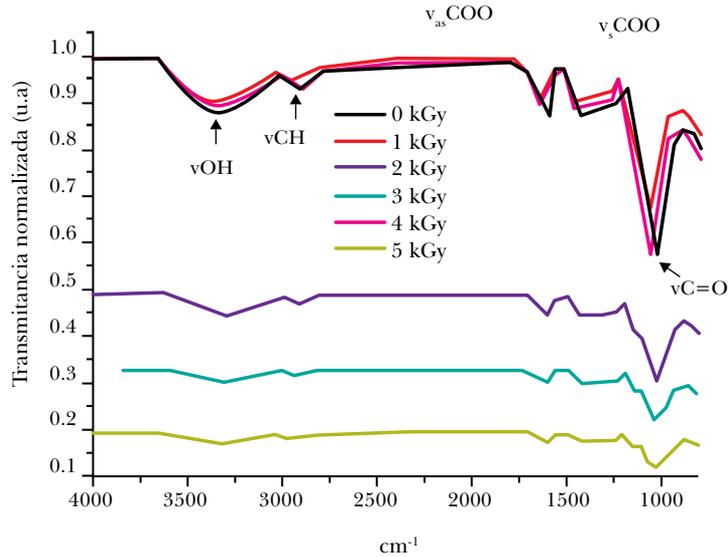
Investigaciones recientes muestran que la radiación gamma aplicada a goma arábiga en fase acuosa induce la polimerización y, por tanto, el cambio de la estructura molecular. Sin embargo, en fase sólida el cambio de propiedades depende directamente de la dosis de radiación (Kafi *et al.*, 2010: 113). Para dosis de entre 5 y 10.5 kGy se incrementa el poder de emulsificación, viscosidad, peso molecular y capacidad de absorción; además de presentarse cambios en la coloración de tono claro a rojo oscuro (Kafi *et al.*, 2010: 113).

En un estudio de goma arábiga expuesta a radiación gamma, la cual fue previamente contaminada con distintas bacterias y hongos, se observó una descontaminación total a dosis de 10 kGy, presentándose ligeros cambios en las propiedades físicas del material, tales como el oscurecimiento y disminución de la viscosidad. Al ser analizadas las muestras mediante microscopia electrónica de barrido se aprecia una ligera disminución en el tamaño de los cristales, el cual es inversamente proporcional a la dosis de radiación (Zaied *et al.*, 2007: 26).

Al exponer la goma arábiga a distintas dosis de radiación, se aprecian diferentes comportamientos en las bandas de los espectros infrarrojos (véase Figura 12).

Para dosis de entre 1 y 5 kGy se presenta el incremento o disminución de los valores de transmitancia y corrimientos en el número de onda. Los cambios a diferentes dosis se pueden asociar a ligeros reajustes en la estructura molecular de los compuestos orgánicos presentes en la goma arábiga. La banda localizada en $2,970\text{ cm}^{-1}$ (vibración de estiramiento del grupo CH), respecto a la goma arábiga sin irradiar, se incrementó en la intensidad para dosis de 1, y 4 kGy y, posteriormente, disminución para dosis de 2, 3 y 5 kGy. El incremento es del movimiento vibracional del enlace CH, con la posibilidad de resonancia entre los enlaces CH y C=O de la arabinosa de la goma arábiga. Las bandas a $1,605$, $1,410$ y $1,023\text{ cm}^{-1}$, correspondientes a las vibraciones asimétricas y simétricas del grupo carboxílico, así como de las vibraciones del grupo C=O, son atribuidas a proteínas y restos de carbohidratos, así como por la presencia de fracciones de

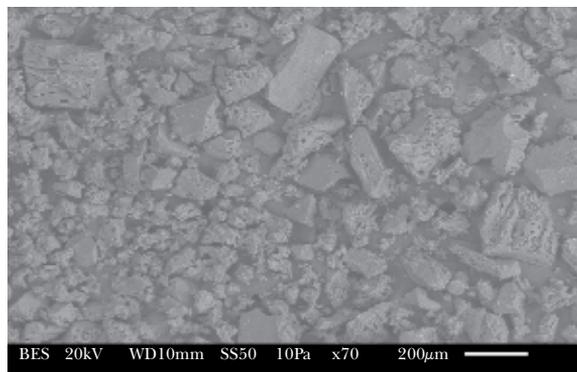
Figura 12
Espectro infrarrojo de goma arábica irradiada



péptido arábico galactano, proteína arábico galactano y glicoproteína (Renard *et al.*, 2006: 2637).

La Figura 13 muestra goma arábica pulverizada, en la cual se observan partículas de formas irregulares con tamaños que varían de 50 a 300 μm y cuyas superficies presentan cavidades. Formas similares fueron observadas en goma arábica en solución.

Figura 13
Imagen SEM de goma arábica

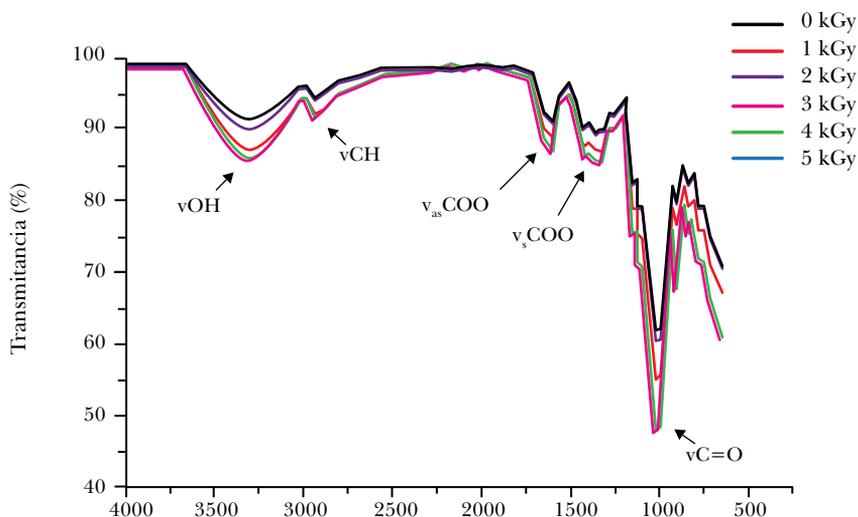


En el caso de la goma de mezquite irradiada también se presentan cambios en las bandas (véase Figura 14). Para la banda localizada a $3,320\text{ cm}^{-1}$ (correspondiente a la vibración de estiramiento del grupo OH) se observa aumento o disminución en el porcentaje de transmitancia, conforme aumenta la dosis de radiación. Las bandas de entre $1,605$ y $1,410\text{ cm}^{-1}$ presentan aumento a 2 kGy y disminución a 1,3, 4 y 5 kGy. La banda $1,605\text{ cm}^{-1}$ se encuentra en la región amida, característica de las vibraciones de enlaces peptídicos, en la que se localizan las bandas atribuidas a fracciones de péptido arábino galactano, proteínas arábino galactano y glicoproteína (Renard *et al.*, 2006: 2637).

La goma de mezquite sin irradiar muestra esferas con forma de *balón desinflado* con cavidades de $2\text{ }\mu\text{m}$ hasta $50\text{ }\mu\text{m}$ (véase Figura 15a). Para dosis de 3 y 5 KGy se observa la deformación de las líneas del *balón*, marcadas con flechas en las figuras 15b y 15c; este cambio en la morfología está asociado a los cambios en los espectros de infrarrojo, en particular a 2 kGy se presenta aumento en la absorbancia, la cual disminuye a dosis mayores (3 a 5 kGy).

En composites de goma de mezquite y aceite de ajonjolí se observa un pico exotérmico a temperatura de $223\text{ }^{\circ}\text{C}$, el cual está asociado primordialmente a la oxidación de goma de mezquite. Cuando se irradian los composites con hasta

Figura 14
Espectro infrarrojo de goma de mezquite irradiada



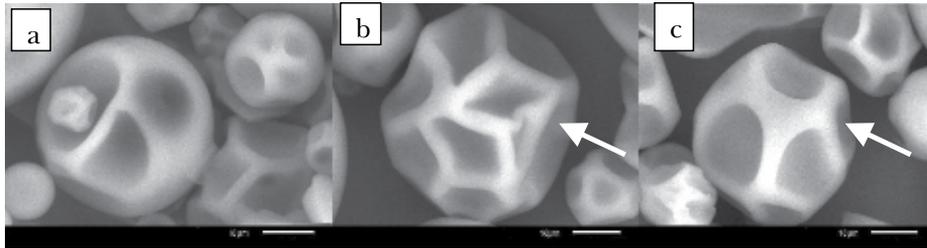


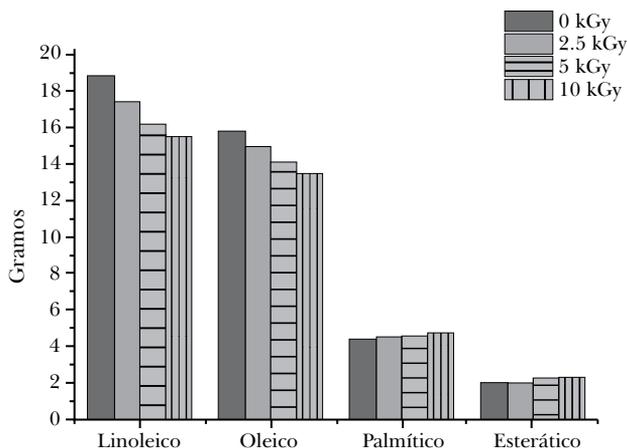
Figura 15. Imágenes SEM de goma de mezquite: a) sin irradiar, b y c) irradiada (3, 5 kGy, respectivamente)

50 kGy, el flujo de calor es casi constante, es decir, la radiación gamma no afecta la temperatura de oxidación (223 °C).

En un estudio se observó que al someter aceites ricos en ácidos grasos esenciales (como el de las semillas de chía) a diferentes dosis de radiación, se modifica la estructura química, afectando directamente los dobles enlaces originales. En cuestiones de estabilidad estructural, se debe conservar la forma estructural y la frecuencia vibracional original de las moléculas de los aceites.

Otro estudio realizado a semillas de ajonjolí menciona que los componentes grasos de la semilla de ajonjolí sí sufren variaciones a diversas dosis de radiación, por ejemplo, el ácido oleico y el linoleico presentan disminución significativa, mientras que el palmítico y el esteárico presentan aumento (véase Figura 16) (Zoumpoulakis *et al.*, 2012: 713).

Figura 16
Contenido de ácidos grasos en semillas de ajonjolí sin irradiar e irradiadas,
sumas expresadas en g/100g de porción comestible



REFERENCIAS

- Aspinall, G. O. y Whitehead, C. C. (1970). "Mesquite gum I. The 4-O-methylglucuronogalactan core". *Canadian J. Chem.*, 48, 3840-3849.
- Bautista, J. M.; Castro Alfaro, A. D. y Aguilar Camarena, E. (2007). "Desarrollo de pan integral con soya, chía, linaza y ácido fólico como alimento funcional para la mujer". *Órgano Oficial de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición*, 57, 78-84.
- Cui, S. W.; Phillips, G. O. y Blackwell, B. (2006). "Characterization and properties of *Acacia senegal* (L.) Willd. Var. senegal with enhanced properties (Acacia (sen) SUPERGUM™): Part 4. Spectroscopic characterization of *Acacia senegal* var. senegal and Acacia (sen) SUPERGUM™ Arabic". *Carbohydrate Res.*, 8, 1524-1531.
- Dror, Y.; Cohen, Y. y Yerushalmi-Rozen, R. (2006). "Structure of Gum Arabic in aqueous solution". *J. Polym. Sci.*, 44, 3265-3271.
- Franco, R.; Martin, L.; Furlan, G.; Walder, J. y Colnago, L. (2004). "Identification of irradiation treatment in black pepper by electron paramagnetic resonance". *International J. of Food Sci. Tech.*, 39, 395-401.

- Goycoolea, F. M.; Cárdenas, A.; Hernández, G.; Lizardi, J.; Álvarez, G. y Soto, F. J. (2000). "Polisacáridos aislados del mezquite y de otras plantas del desierto". En *II Simp. Int. Utilización y Aprovechamiento de la Flora Silvestre de Zonas Áridas* (245-260). México: Universidad de Sonora.
- Kafi, S. T. y Sabahalkhair, M. K. (2010). "Effects of gamma-irradiation on some properties of Gum Arabic (*Acacia senegal L.*)". *Res. J. Agricul. and Bio. Sci.*, 6(2), 113-117.
- Kiefer, J.; Noack, K. y Bartelmess, J. (2010). "Vibrational structure of the polyunsaturated fatty acids eicosapentaenoic acid and arachidonic acid studied by infrared spectroscopy". *J. Molecular Struct.*, 965, 121-124.
- Lee, J. y Choe, E. (2006). "Extraction of lignan compounds from roasted sesame oil and their effects on the autoxidation of methyl linoleate". *J. of Food Sci.*, 71(7), 430-436.
- López, Y. (2009). "Uso del mezquite como fuente de polisacáridos de alto valor agregado". En Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Conafor, 53-61.
- López, Y.; Goycoolea, F. M. y Calderón de la Barca, A. M. (2006). "Goma de mezquite: una alternativa de uso industrial". *Interciencia*, 31(3), 183-189.
- Madhav, P.; Yadav, I. y Yan, Y. (2007). "Chemical investigation of the structural basis of the emulsifying activity of gum Arabic". *Food Hydrocolloids*, 21, 297-308.
- Oakley, E. D. (2004). "Spray dryer modeling in theory and practice". *Drying Tech. & Internat. J.*, 22, 1371-1402.
- Orozco-Villafuerte, J.; Cruz-Sosa, F.; Ponce-Alquicira, E. y Vernon-Carter, E. J. (2003). "Mesquite gum: fractionation and characterization of the gum exuded from *Prosopis laevigata* obtained from plant tissue culture and from wild trees". *Carbohydrate Polym.*, 54, 327-333.
- Orruno, E. y Morgan, M. R. A. (2007). "Purification and characterisation of the 7S globulin storage protein from sesame (*Sesamum indicum L.*)". *Food Chem.*, 100, 926-934.
- Pérez-Orozco, J. P.; Beristain, C. I.; Espinosa-Paredes, G.; Lobato-Calleros, C. y Vernon-Carter, E. J. (2004). "Interfacial shear rheology of interacting carbohydrate polyelectrolytes at the water-oil interface using an adapted conventional rheometer". *Carbohydrate Polymers*, 57, 45-54.
- Pyo, Y. H. (2010). "Coenzyme Q10 and Q9 contents in commercial vegetable oil sand their average daily intakes in Korea". *Food Sci. Biotech.*, 19, 837-841.
- Raventós, M. (2005). *Industria Alimentaria. Tecnologías emergentes*. Barcelona: Ediciones UPC.

- Renard, R.; Lavenant-Gourgeon, L.; Ralet, M. C. y Sánchez, C. (2006). "Acacia senegal gum: Continuum of molecular species differing by their protein to sugar ratio, molecular weight, and charges". *Biomacromol.*, 7, 2637-2649.
- Stajner, D.; Popović, B. M. y Taški, T. (2009). "Effects of γ -irradiation on antioxidant activity in soybean seeds". *Central European J. of Biology*, 4, 381-386.
- Tan, L. H.; Chan, L. W. y Heng, P. W. S. (2005). "Effect of oil loading on microspheres produced by spray drying". *J. Microencapsulation*, 22, 253-259.
- Ulkowski, M. y Musialik, M. (2005). "Use of Differential Scanning Calorimetry to Study Lipid Oxidation. 1. Oxidative Stability of Lecithin and Linolenic Acid". *J. Agr. Food Chem.*, 32, 9073-9077.
- Ureña-Nunez, F.; Viguera-Santiago, E.; Hernandez-Lopez, S.; Linares-Hernandez, K. y Linares-Hernandez, I. (2008). "Structural, thermal and morphological characterization of UV-graft polymerization of acrylated-epoxidized soybean oil onto goat leather". *Chemistry and Chemical Tech.*, 2(3), 191-197.
- Vernon-Carter, E. J.; Beristain, C. I. y Pedroza-Islas, R. (2000). "Mesquite gum (Prosopis gum)". En Doxastakis, G. y Kiosseoglou, V. (eds.), *Novel macromolecules in food systems* (217-235). Amsterdam: Elsevier.
- Villena, M.; Morales, M. E.; Gallardo, V. y Ruiz, M. A. (2005). "Técnicas de microencapsulación: una propuesta para microencapsular probióticos". *ARS Pharm.*, 50(1), 43-50.
- Yañes, F.; Salazar, J. A.; Martínez, L.; Jiménez, J.; Marquez, M. y Ramos, E. G. (2008). "Aplicaciones biotecnológicas de la microencapsulación". *Avance y Perspectiva*, 21, 313-319.
- Zaied, S. F. y Youssef, B. M. (2007). "Decontamination of gum arabic with gamma-rays or electron beams and effects of these treatments on the material". *Appl. Radiat. & Isot.*, 65, 26-31.
- Zohuriaan, J. y Shokrolahi, F. (2004). "Thermal studies on natural and modified gums". *Polymer Testing*, 28, 575-579.
- Zoumpoulakis, P.; Sinanoglou, V.; Batrinou, A.; Strati, I.; Miniadis, S. y Sflomos, K. (2012). "A combined methodology to detect gamma-irradiated white sesame seeds and evaluate the effects on fat content, physicochemical properties and protein allergenicity". *Food Chemistry*, 131, 713-721.
- Zuidam, N. y Nedovic, V. (2010). *Encapsulation Technologies for Active Food Ingredients and Food Processing*. Londres: Springer.