



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

---

---

**FACULTAD DE QUIMICA**

DETECCION POR TERMOLUMINISCENCIA DE ALIMENTOS  
(CHILE GUAJILLO Y OREGANO) PROCESADOS POR  
RADIACION IONIZANTE

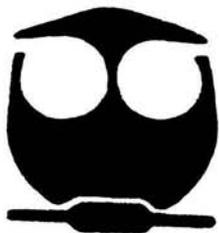
**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**QUIMICA DE ALIMENTOS**

P R E S E N T A :

**SUSANA PINEDA CALZADA**



MEXICO, D.F.



**EXAMENES PROFESIONALES** 2004  
**FACULTAD DE QUIMICA**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

Jurado asignado:

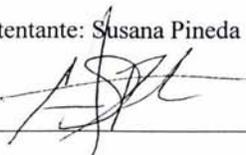
Presidente	Prof.	Juan Manuel Navarrete Tejero
Vocal	Prof.	Sofía Guillermina Burillo Amezcua
Secretario	Prof.	Epifanio Cruz Zaragoza
1er. Suplente	Prof.	Trinidad Martínez Castillo
2º. Suplente	Prof.	Juan Diego Ortiz Palma Pérez

Esta Tesis se desarrolló en la Unidad de Irradiación y Seguridad Radiológica del Instituto de Ciencias Nucleares UNAM.

Asesor: Dr. Epifanio Cruz Zaragoza

  
\_\_\_\_\_

Sustentante: Susana Pineda Calzada

  
\_\_\_\_\_

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Susana Pineda  
Calzada

FECHA: 26-Marzo-2004

FIRMA: 

## DEDICATORIA.

*A MIS PADRES (MARIA DE JESUS CALZADA Y ALFREDO PINEDA) POR SU  
APOYO, CARIÑO Y POR DARMÉ LA VIDA.  
A PABLO POR SU COMPañÍA Y AMOR.*

*A MIS SOBRINOS POR SU CARIÑO Y TERNURA.*

*A MIS GRANDES AMIGOS POR SUS CONSEJOS Y ÁNIMOS ANTE LA VIDA  
Y POR CREER EN MÍ.*

*A MI FACULTAD TAN QUERIDA POR MI ...*

**AGRADECIMIENTOS:**

**AL DR. EPIFANIO CRUZ ZARAGOZA POR SU GRAN APOYO Y CONSEJOS EN LA ELABORACIÓN DE ESTA TESIS.**

**A LOS MAESTROS DE LA FACULTAD DE QUÍMICA POR SU APOYO Y FORMACIÓN EN MI CARRERA.**

**A MI MAESTRA Y AMIGA MA. LUCIA CORNEJO COORDINADORA DE LA CARRERA QUÍMICA DE ALIMENTOS.**

**AL FÍSICO: FRANCISCO GARCÍA FLORES POR SU TRABAJO TÉCNICO EN LAS IRRADIACIÓN DE LAS MUESTRAS Y SU VALIOSA AMISTAD.**

**A LOS PROFESORES : MANUEL NAVARRETE TEJERO, GUILLERMINA BURILLO AMESCUA, TRINIDAD MARTINEZ CASTILLO Y JUAN DIEGO ORTIZ POR LAS CORRECCIONES EN ESTE TRABAJO Y PERMITIR SER PARTE DE MI JURADO.**

**A MIS COMPAÑERAS QUE TRABAJAN EN LA UNIDAD DE RADIACIÓN Y SEGURIDAD RADIOLÓGICA DEL INSTITUTO DE CIENCIAS NUCLEARES, DONDE DESEMPEÑÉ MI TRABAJO DE TESIS.**

## INDICE

Resumen .....	i
Objetivos .....	ii
Antecedentes .....	iii

### CAPITULO 1. INTRODUCCION

1.1. Procesos por radiación .....	1
1.2. Ionización de alimentos y niveles de dosis .....	3
1.3. Ventajas e inconvenientes de la ionización por radiación de los alimentos .....	7
1.4. Generalidades de las especias naturales .....	8
1.5. Proceso post-cosechas de especias deshidratadas .....	13
1.6. Procesos de ionización por radiación de alimentos .....	15
1.7. Unidades de dosis y términos .....	19
1.8. Dosimetría química y mecanismos de radiólisis .....	20
1.9. Detección de alimentos irradiados .....	23
1.10. Métodos en la detección de alimentos irradiados .....	26
1.11. Compuestos minerales de los alimentos Chile guajillo y Orégano .....	36

### CAPITULO 2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

2.1. Equipos utilizados .....	39
2.2. Metodología .....	39

### CAPITULO 3. RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DISCUSION

3.1. Chile guajillo ( <i>Capsicum annum</i> ) .....	42
3.2. Decaimiento de la señal TL del Chile guajillo .....	49
3.3. Orégano ( <i>Origanum vulgare L.</i> ) .....	54
3.4. Decaimiento de la señal TL de Orégano .....	59
3.5. Comparación de la emisión TL entre Chile guajillo y Orégano .....	64

CONCLUSIONES .....	67
--------------------	----

BIBLIOGRAFIA .....	70
--------------------	----

## RESUMEN

En esta tesis se presentan resultados sobre la identificación de alimentos, en particular Chile guajillo (*Capsicum annun*) y Orégano (*Origanum vulgare L.*), que fueron procesados por radiación ionizante gamma. Primero se logró una metodología para la extracción de poliminerales que contienen el Chile guajillo y el Orégano, utilizando una mezcla no tóxica al ambiente de agua y etanol en proporciones de 60:40. Enseguida se procesaron por radiación las muestras de alimentos, realizando previamente una dosimetría con solución de Fricke en el sitio de irradiación en el irradiador Gammabeam 651PT del Instituto de Ciencias Nucleares UNAM.

Las dosis que se impartieron a las muestras de poliminerales fueron desde 1 a 40 kGy. La detección de las muestras irradiadas de Chile guajillo y Orégano se realizaron mediante el fenómeno de emisión luminiscente estimulada por calor, conocida también como termoluminiscencia (TL), en un equipo lector Harshaw TLD 3500. Las emisiones llamadas curvas de brillo, aumentaron conforme a la dosis de radiación que recibieron las muestras. Las respuestas termoluminiscentes de los poliminerales mostraron proporcionalidad con la dosis entre 6 y 8 kGy. La saturación de la señal TL después de esas dosis, fue debida esencialmente a la presencia de monominerales cuyas saturaciones a la dosis se encuentran desde 3 hasta 6 kGy.

Finalmente, se logró una metodología de extracción de poliminerales y se muestra que es posible la detección de alimentos irradiados, que generalmente persigue fines de conservación, por el método de emisión termoluminiscente. Todas las emisiones TL permitieron identificar claramente a los alimentos irradiados de los que no lo habían sido.

## 1. OBJETIVOS

En el desarrollo de esta tesis los objetivos fueron obtener una metodología para la extracción de los poliminerales que contienen el Chile guajillo (*Capsicum annun*) y Orégano (*Origanum vulgare L.*), partiendo del hecho que son plantas que obtienen sus nutrientes del suelo. Para la extracción de los poliminerales habría que utilizar soluciones no tóxicas al ambiente. Determinar la razón de dosis del sitio de irradiación de las muestras en el irradiador, mediante la preparación de la solución de Fricke para realizar la dosimetría. El objetivo final, lograr la detección de las muestras que fueron irradiadas a distintas dosis con radiación gamma, identificándolas mediante sus señales de curvas de brillo, y comparándolas con las señales de los poliminerales extraídos e irradiados. Además de tratar de entender el fenómeno de la termoluminiscencia que ocurre en las muestras.

## 2. ANTECEDENTES

El uso de la radiación ionizante para preservar alimentos surgió como idea desde Minck en 1896 y seguida por Lieber en 1905, gracias a la energía propia que es capaz de ionizar microorganismos presentes en los alimentos. La intención de preservación de los alimentos ha sido siempre una necesidad dada su importancia en diversas situaciones estratégicas de los países, así surgieron los primeros experimentos exitosos en dietas destinadas a consumo de animales y se patentaron algunos casos específicos. Francia, la ex Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas, Estados Unidos y Canadá, principalmente, iniciaron los primeros intentos serios para el proceso de irradiación de papas, cereales, semillas, especias y pescado; y muy pronto productos de uso industrial mejorando con la exposición las propiedades que requería la industria inmediatamente después de la Segunda Guerra mundial. En este proceso se diseñaron irradiadores con material radiactivo de Co-60, Cs-137 y algunas veces con residuos radiactivos provenientes de reactores nucleares, sin embargo a lo largo del tiempo el Co-60 ha sido el más seguro y aceptado para uso en los procesos de irradiación de productos y principalmente alimentos destinados al consumo humano libre de gérmenes patógenos. El primer intento para mejorar las cualidades higiénicas de especias fue en 1957 en Alemania, donde un industrial utilizó el haz de electrones de un acelerador Van de Graff (1) para tal fin. Sin embargo la máquina tuvo que ser desmantelada en 1959 cuando la legislación alemana prohibió el tratamiento de los productos alimenticios con radiaciones ionizantes.

Bajo el patrocinio de la Agencia Internacional de Energía Atómica (International Atomic Energy Agency, IAEA), la FAO (Food and Agriculture Organization) y la OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) y la WHO (World Health Organization), 24 países unieron esfuerzos para comenzar estudios serios que permitieran establecer los límites de dosis necesarios para conseguir eliminar gérmenes patógenos. En noviembre de 1980 el "Comité Mixto de Expertos FAO/IAEA/WHO para la Preservación de Alimentos" concluye "que la irradiación de cualquier tipo de alimento hasta una dosis máxima de 10 kGy no presenta riesgo para la salud humana". El Comité también concluye que tal tratamiento no plantea problemas nutricionales y/o microbiológicos inducidos, dado que los productos radiolíticos de los principales componentes de los alimentos son idénticos, sean cuales fueran los alimentos de que se deriven. Conocida la naturaleza y la concentración de estos productos radiolíticos, nada indica que exista un peligro toxicológico.

Estas conclusiones fueron producto de una revisión de una amplia literatura publicada con anterioridad y relacionadas a las propiedades de los alimentos, dosimetría de la radiación ionizante en los irradiadores y dispositivos experimentales en diversos países que ya participaban tanto en el desarrollo de tecnología para la irradiación como en investigación básica en esta área (2).

La Comisión del Código Alimentario (Codex Alimentarius Commission) de la Organización Mundial de la Salud, recomendó a los países adoptar en forma de norma de carácter mundial, las conclusiones del Comité Mixto de Expertos sobre la comestibilidad de Alimentos Irradiados. Esta Comisión elaboró un Protocolo General para Alimentos Irradiados y un Código de Recomendaciones Internacionales sobre la Práctica para la Operación en el Uso de Radiación para el Tratamiento de Alimentos. De esta manera, comienza su existencia la base legal para la aceptación de alimentos irradiados.

En la actualidad 37 países (3) han decidido aprobar la irradiación y la construcción de instalaciones radiactivas para tratamiento de enormes cantidades de distintos alimentos. Los países que irradian más de 10, 000 toneladas año incluyen a Bélgica, Japón, Países Bajos, Sudáfrica y cercanos a esta cifra se encuentran Francia y China. Mientras en el Reino Unido desde 1986 la legislación permite la comercialización de especias, frutas, verduras, y mariscos en su mercado nacional, y en la comunidad europea esto depende de cada país de aceptar o restringir ciertos productos tratados con radiación ionizante que en otros.

Entre los productos alimenticios más frecuentemente irradiados se encuentran las hierbas y especias, frutas, verdura, arroz, papas, cebollas, salsas y pescado. En relación a la carne fresca o congelada, se puede afirmar que el uso de radiaciones ionizantes con fines de esterilización es cada vez mayor, siendo en la actualidad utilizado en 18 países, que acompañada de investigaciones básicas de sus propios productos han logrado modificar su reglamentación sanitaria (32).

El tema de irradiación de alimentos ha llegado a ser de tanto interés en algunos países que los propios gobiernos han considerado que la información sobre el mismo debía ser lo más amplia y rápida, de tal manera que es posible encontrar información en sitios de internet [www.who.int/inffs/en/fact237.html](http://www.who.int/inffs/en/fact237.html), [www.fda.gov/bbs/topics/consumer/con00031.html](http://www.fda.gov/bbs/topics/consumer/con00031.html), [www.uam.es/departamentos/ciencias/qagg/especifica/areas/cristalografia/cym3.html](http://www.uam.es/departamentos/ciencias/qagg/especifica/areas/cristalografia/cym3.html), etc.

En cuanto a México, presionado por el intercambio comercial con países desarrollados, ha adoptado parcialmente las recomendaciones del Codex Alimentarius, en la Norma Oficial Mexicana NOM-033-SSA1-1993. Sin embargo, los límites de dosis oficiales no siempre corresponden a los requerimientos de los productos mexicanos, como el caso de las frutas mexicanas. Este rubro debiera revisarse nuevamente con la ayuda de especialistas. A partir de la adopción de las recomendaciones en México, los productos alimenticios que hayan sido procesados por radiación deben ser etiquetados con el símbolo de la radura internacional de irradiación de alimentos, y también debiera incluirse en la norma mencionada el cambio del término irradiado por el de ionizado por radiación sin que esto suponga un fraude para el consumidor (4).

Actualmente en México se procesan por radiación aproximadamente 8,000 toneladas anuales de productos diversos, entre los que están complementos alimenticios (flores aromáticas para té, tubérculos, hojas, ajos, etc.), cosméticos, colorantes naturales para carnes frías y vestido, así también productos industriales, y en mayor cantidad especias y condimentos. Es de mencionar que a fines de la década de los 60, se iniciaron investigaciones sobre irradiación de productos comestibles en México.

En 1967 la UNAM adquirió el primer irradiador tipo Gammacell-200 autoblandado para fines de investigación. En 1982 un irradiador panorámico Gammabeam 650 fue adquirido por el Centro de Estudios Nucleares (Instituto de Ciencias Nucleares UNAM), y le permitió participar en proyectos internacionales del Organismo Internacional de Energía Atómica sobre irradiación de frutos mexicanos. En 1986 un segundo irradiador fue adquirido por el Instituto de Ciencias Nucleares UNAM, modelo Gammabeam 651PT de alberca profunda de mayor capacidad de hasta 280 000 Ci, cuya versatilidad hoy día es amplia en sus aplicaciones e investigaciones que ahí se realizan (5). Este irradiador permitió las irradiaciones de las muestras que estudiamos en esta tesis.

El trabajo desarrollado en esta tesis, forma parte de un proyecto sobre el estudio de los efectos de la radiación en alimentos que contienen poliminerales y su detección por TL que se investiga en el Instituto de Ciencias Nucleares UNAM.

## **CAPITULO 1. INTRODUCCION**

### **1.1.- PROCESOS POR RADIACION**

A diferencia de las partículas alfa y beta, los rayos gamma del cobalto-60 y cesio-137 tienden a perder la mayor parte de su energía en una sola interacción. Cuando un haz de gammas incide en un medio material, una parte de los fotones incidentes es absorbida, pero otra parte es transmitida a través del absorbedor con su energía original.

Los rayos gamma ( $\gamma$ ) emitidos en un decaimiento nuclear tienen energía cercana a 1 MeV. En la absorción total de la energía, para un rango entre 0.01 y 10 MeV, pueden ocurrir al menos tres procesos principales mediante los cuales los fotones ceden sus energías por interacción con la materia, estos son: Efecto fotoeléctrico que ocurre entre 0.01 MeV y 0.5 MeV de energía del fotón, el efecto Compton entre 0.1 MeV y 1.0 MeV, y la producción de pares desde 1.02 MeV y se incrementa conforme crezca la energía. En el caso de fotones gammas del cobalto-60, será en mayor probabilidad la ocurrencia del efecto Compton debido a la energía.

#### **EFEECTO FOTOELECTRICO**

Los fotones de baja energía son absorbidos principalmente por absorción fotoeléctrica. En este tipo de interacción toda la energía del fotón ( $\epsilon_0$ ) es transferida al electrón, el cual es expulsado del átomo con una energía igual a la diferencia entre la energía del fotón y la energía de enlace ( $\epsilon_s$ ) del electrón en el átomo, el efecto puede expresarse como:  $E_e = \epsilon_0 - \epsilon_s$

Para fotones de bajas energías, los electrones son expulsados predominantemente en ángulos rectos a la dirección del fotón entrante, pero cuando la energía se incrementa, la distribución se desvía hacia adelante. Es imposible para un electrón libre absorber totalmente a un fotón, porque no conservará el momento, ni la energía; pero en el caso de un electrón de enlace, el átomo retrocede, por consiguiente conserva el momento, porque la masa del átomo es muy grande y su retroceso de energía es muy pequeño. Si ocurre la ionización, la vacante formada por la pérdida de un electrón de una capa atómica interior será llenada por un electrón de una capa externa con emisión de rayos X (radiación fluorescente) características o electrones Auger

de baja energía. La absorción fotoeléctrica se manifiesta principalmente en materiales de número atómico alto y fotones de baja energías.

### EFECTO COMPTON

Este tipo de interacción ocurre entre fotones y electrones poco ligados, los de las capas más externas, parte de la energía del fotón se transfiere al electrón y el resto sale en forma de otro fotón dispersado llamado fotón Compton con menor energía. La energía del rayo gamma dispersado  $E_\gamma'$  se expresa por la relación (6):

$$E_\gamma' = E_\gamma - E_e$$

siendo  $E_e$  la energía cinética del electrón Compton, su expresión dependerá de la energía del fotón  $E_\gamma$  incidente entre el ángulo de la dispersión y la masa  $m_0$  en reposo del electrón con la velocidad de la luz  $m_0c^2$  obteniéndose 0.511 MeV

Los fotones Compton podrán sufrir otra interacción del mismo tipo o fotoeléctrica según su energía ocurriendo una ionización secundaria, hasta quedar completamente absorbidos en el medio o bien algunos de ellos podrán escapar en varias direcciones, por lo que la radiación se le denomina dispersa. La probabilidad de la dispersión Compton crece al aumentar la  $Z$  del material absorbente es decir, cuando los materiales presenten mayor número de electrones por  $\text{cm}^3$  (densidad electrónica), y decrece cuando la energía  $E_\gamma$  del fotón gamma disminuye.

### PRODUCCIÓN DE PARES

Sólo cuando la energía del fotón es mayor al doble de la masa en reposo del electrón ( $>1.022$  MeV) es energéticamente posible el proceso de producción de pares pero su probabilidad se hace significativa cuando los fotones son de varios MeV. El proceso ocurre en las cercanías del núcleo donde el fotón desaparece y se producen un electrón y un positrón ( $e^+$ ), es un caso de transformación de energía en materia, ya que el fotón no tiene masa en reposo y los electrones producidos sí la tienen. El núcleo participa en el proceso para la conservación del momento, el electrón y el positrón salen en direcciones distintas, su energía cinética sumada es igual a la diferencia entre la energía inicial del fotón y los 1.022 MeV necesarios para crear las dos masas. La energía del fotón se reparte entre las dos partículas, aunque no en partes iguales.

generalmente el positrón adquiere mayor energía cinética que el electrón por la repulsión eléctrica del núcleo. Ambas partículas se desplazan en el medio produciendo ionizaciones y perdiendo energía hasta detenerse. El positrón, cerca del final de su trayectoria, se combina con un electrón y forma un positronio, el cual en  $10^{-10}$  s sufre una aniquilación, transformándose en energía de dos fotones gamma de 0.511 MeV cada uno para interactuar con el medio y ceder toda su energía (7)

## 1.2.- IONIZACION DE ALIMENTOS Y NIVELES DE DOSIS

Al interactuar la radiación ionizante gamma con los alimentos, éstos tienden a sufrir pequeñas modificaciones en sus propiedades dependiendo de la cantidad de líquidos o sólidos en forma de poliminerales que se encuentren presentes en ellos. Los efectos en las propiedades de los alimentos son similares cuando se utiliza la cocción de los mismos

Generalmente el proceso de irradiación o ionización por radiación permite:

- a).- Eliminar los gérmenes patógenos para conservar los alimentos, con ello alargar la vida de anaquel retrasando la maduración en frutas,
- b).- Eliminar brotes de tubérculos en alimentos y en verduras. Sin embargo, en México la mayor cantidad de productos alimenticios ionizados son especias y condimentos que afortunadamente son de alto consumo.

Como sabemos la irradiación de alimentos hasta una dosis media de 10 KGy no crea problema relativo a la nutrición ni toxicológico. Así, determinadas vitaminas como la riboflavina, la niacina y la vitamina D son bastante estables, no obstante otras como la tiamina y las vitaminas E y A son muy sensibles a la radiación, especialmente cuando no se ha extraído el aire del envase del producto alimenticio que será tratado con radiación ionizante, por lo que el envasado al vacío es una recomendación general en casos de productos acuosos.

En el caso de los carbohidratos los efectos de la radiación son: oxidación oxidativa e hidrólisis, los polisacáridos son depolimerizados y la célula es más susceptible a la hidrólisis enzimática. La irradiación convierte a los carbohidratos complejos en compuestos simples. Aunque la

irradiación puede causar cambios en las propiedades físicas y químicas de algunos carbohidratos de los alimentos (granos y vegetales) estos cambios no tienen significancia nutricional.

Los lípidos sufren reacciones de oxidación, polimerización, descarboxilación y deshidratación que se general al ser irradiados. Los ácidos grasos insaturados son más fácilmente oxidados que los ácidos grasos saturados.

Después de haber irradiado lípidos, resultan una gran cantidad de compuestos que dependen de la composición de los ácidos grasos.

Utilizando dosis de irradiación elevadas, se observaron marcados efectos en las proteínas y aminoácidos, sin embargo los niveles utilizados para la irradiación de alimentos, no causan efectos de deterioro en proteínas y aminoácidos. Los niveles de dosis para el tratamiento de alimentos varían dependiendo de los tipos de alimentos, siendo estos de un amplio rango de densidad, composiciones, cantidad de agua, deshidratados y carga microbiana que se requiera sanitizar.

La seguridad microbiológica obtenida por los procesos de irradiación de alimentos es absolutamente comparable con la de otros tratamientos de alimentos aceptados en la actualidad. La Comisión del Codex Alimentarius asegura que no existen problemas de seguridad microbiológica con alimentos húmedos, como carne de pollo y pescado que han sido tratados con una dosis promedio de 10 kGy y que esos alimentos después de procesarse sean adecuadamente manipulados y distribuidos a temperaturas cercanas a 0°C (2-5 °C) siguiendo las buenas prácticas de manufactura en todas las etapas del proceso hasta su consumo.

Numerosas investigaciones han demostrado que la irradiación disminuye la producción de las toxinas y la respuesta de una célula bacteriana a su resistencia a la radiación depende de su naturaleza, la cantidad de daño directo producido en su blanco vital y la habilidad inherente de la célula para tolerar o lograr su reparación.

Los organismos que pueden sobrevivir al proceso de ionización por radiación a dosis bajas, son Enterococos, Levaduras, esporas de Clostridium spp. Mientras que patógenos gram negativo tales como Escherichia Coli y los asociados con la familia enterobacteriacea presentan una baja resistencia a la radiación. Por su cuenta las bacterias como Yersinia Enterocolitica, Vibrio Parahemoliticus, Aeromonas Hydrophyla, Campylobacter spp. Shiguella spp y Listeria Monocitógenes, presentan alta sensibilidad a la radiación, ofreciendo así, una muy buena posibilidad de eliminación de estas bacterias (8). De las bacterias gram negativas, la Salmonella es la más resistentes a la radiación, por lo tanto al eliminar esta bacteria en los alimentos, se puede correr el riesgo de degradar al alimento de ahí la importancia de definir muy bien las dosis adecuadas y requeridas dependiendo de los fines que se persigue con los diversos alimentos.

En el proceso industrial a dosis altas se logran eliminar las esporas de Cl. Botulinum, con dosis bajas se previene la posible formación de toxinas en productos como el pescado. A dosis de 3 KGy en pollo y pescado es suficiente para asegurar la eliminación de Cl. Botulinum tipo E.

Para definir las dosis adecuadas para un alimento (9), se deben conocer sus características químicas, así como el objetivo de su irradiación. Se han clasificado tres tipos de niveles de dosis para irradiar a los alimentos: niveles de dosis llamados bajas, intermedias y altas, cuyos límites se inician o terminan dependiendo del interés y también de los objetivos que se quieran lograr tales como; deshinbir, descontaminar, eliminar gérmenes patógenos, o bien sanitizar.

#### **DOSIS BAJAS** (menores a 1 kGy)

Inhibe la germinación de papas, cebollas, etc. y permite el almacenamiento a largo plazo sin el uso de productos químicos inhibidores que generalmente son tóxicos al hombre y al medio ambiente.

A esta dosis, se causa la muerte o esterilización sexual de insectos y previenen las pérdidas causadas por los mismos en el almacenamiento de grano de cereal, harina, frutos secos, nueces, legumbres; también impide la propagación de pestes de insectos (esteriliza huevos y larvas de insectos) y así puede ser usada como un tratamiento de cuarentena en vez de fumigantes químicos. Se destruyen parásitos en la comida, tales como la Entamoeba hystolylyta (protozoo

que causa la disentería amebiana); *tosoplasma gondii* (protozoo que causa la toxiplasmoxis); *Trichinella spiralis* (parásito helmínido que causa la triquinosis en la carne), etc. Se logra retrasar con ésta dosis bajas el proceso de maduración en frutas y verduras.

#### DOSIS MEDIAS (1-10 kGy)

Se reducen las poblaciones de bacterias (salmonellas, lactobacillus, etc.), mohos y levaduras presentes en la superficie o en el interior del alimento, mejorando así las posibilidades de almacenamiento y previniendo la formación de posibles tóxicos debido a la salmonella y otros organismos patógenos que se presentan normalmente en las rugosidades de las cáscaras de frutos.

#### DOSIS ALTAS (10-45 kGy)

Destruye o reduce significativamente las poblaciones de organismos patógenos, por ejemplo: Bacterias (Gram-negativas tales como: Salmonella, Listeria, Estafilococos, Lactobacillus, incluyendo aquellos esporulados, como clostridium botulinum) y virus. Esteriliza alimentos envasados, pre-cocinados, congelados, etc.

**Tabla 1. Propósitos concretos de la irradiación de alimentos.**

#### DOSIS BAJAS

ALIMENTO	EFEECTO	CAUSA	DOSIS (kGy)
Papas,cebollas, ajos.	Extensión del tiempo de almacenaje.	Inhibición de los brotes	0.05-0.15
Frutas y Verduras	Mejora las propiedades de almacenaje.	Retraso de la maduración	0.25-1
Frutas	Prevención de la extensión de pestes. Tratamiento de cuarentena.	Muerte y esterilización sexual de los insectos	0.2- 0.7
Carne	Prevención de enfermedades por parásitos transmitidos por la carne.	Destrucción de parásitos tales como: <u>Trichinella spiralis</u> y <u>Taenia saginata</u> .	0.3-0.5

## DOSIS MEDIAS

ALIMENTO	EFEECTO	CAUSA	DOSIS (kGy)
Ciertas frutas y verduras	Mejora las propiedades de almacenaje	Reducción de poblaciones de bacterias, mohos y levaduras.	1 - 3
Carne de vacuno, pollos, pescado	Mejora las propiedades de almacenaje.	Reducción de poblaciones de microorganismos capaces de crecimiento a temperaturas bajas.	1 - 5

## DOSIS ALTAS

ALIMENTO	EFEECTO	CAUSA	DOSIS (kGy)
Carne de vacuno, aves de corral	Almacenamiento a largo plazo sin refrigeración	Destrución de organismos esporados y patógenos.	25 - 45

### 1.3.- VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LA IONIZACION POR RADIACION DE LOS ALIMENTOS

#### a) Ventajas

Evita o reemplaza el uso de tratamientos químicos utilizados en tecnología de alimentos o están prohibidos o en vías de serlo, como son: el Isopropil N-fenilcarbamato que se usa como antigerminativo y tiene efectos tóxicos. El Oxido de etileno antiparasitario utilizado en hierbas, especias y frutas es potencialmente cancerígeno y además es tóxico.

El proceso por radiación puede aplicarse a alimentos congelados, enlatados, precocinados, etc., es único y específico para desactivar cierto tipo de microorganismos patógenos por ejemplo salmonella en congelados. Aumenta los aspectos sanitarios y reduce potencialmente epidemias.

#### b) Inconvenientes

Una de las razones más poderosa para el rechazo de este método es su propio nombre. Habitualmente, en la concepción del público, el mismo viene asociado con alta tecnología, contaminación radiactiva, tratamiento con radionúclidos en hospitales y con cáncer.

Pérdida de vitaminas, particularmente vitamina A (en menor escala B<sub>1</sub>, E). No obstante el grado de descomposición de la vitamina depende de la composición misma del alimento, porcentaje de agua contenida (o absorbida), el tiempo transcurrido ente la irradiación, dosis de radiación, dosis, naturaleza y concentración de la vitamina, principalmente.

Con relación a las toxinas, la irradiación ha mostrado desventaja. No obstante resulta eficaz para reducir el número de bacterias presentes en un alimento y por tanto es muy útil si se utiliza como tratamiento preventivo.

La irradiación puede afectar la calidad de los alimentos, los productos radiolíticos desarrollados pueden causar la oxidación microbiana y ácidos grasos, dando como resultado la decoloración y la aparición de sabores rancios y olores desagradables en alimentos que contienen alto contenido de grasas y agua. No obstante, se ha constatado que el control de ciertos parámetros tales como la atmósfera presente en el momento de la irradiación minimizan o evitan estos efectos adversos y por consiguiente se logran muy buena calidad en el alimento.

#### 1.4.- GENERALIDADES DE LAS ESPECIES NATURALES

Entendemos por especies todas y cada una de sustancias de origen vegetal, que presentan fuerte sabor y muy aromáticas, estos productos pueden tener su origen en cualquier parte de la planta, esto es, en la raíz, tallo fruto etc.

Las hierbas son todas aquellas sustancias que están formadas formalmente por la parte aerea de ciertas plantas que crecen en zonas templadas: orégano, mejorana y salvia. El problema que presenta estos productos es la presencia de gran número de microorganismos patógenos que hacen de ellos peligrosos portadores de enfermedades, la fuente de contaminación de los

mismos se debe al polvo, insectos heces fecales de pájaros y roedores libres en el medio ambiente. Un hecho que llama la atención es el elevado grado de contaminación microbiológica en los alimentos naturales, debido a la elevada cantidad de bacterias anaerobias presentes y son mayor a las aerobias, cuya presencia contribuye a la formación de esporulados en los productos comestibles con los cuales se mezcle.

**Tabla 2. Microorganismos y enfermedades asociadas (9).**

<b>MICROORGANISMOS</b>	<b>PRODUCTO</b>	<b>ENFERMEDAD</b>
<u><i>Clostridium perfringens</i></u> (bacteria)	Espicias	Botulismo
<u><i>B. Cereus</i></u> (bacteria)	Espicias, hierbas, productos deshidratados.	Diarrea, septicemia, meningitis.
<u><i>Salmonella</i></u> <u><i>S. Glostrup.</i></u> <u><i>Heidelberg, ryphimurium</i></u> (bacteria)	Hierbas, Espicias	Salmonelosis
<u><i>Escherichia coli</i></u> (bacteria)	Hierbas, especias, aditivos, sopas deshidratadas.	Gastroenteritis
Cocos Estreptococos (bacterias)	Hierbas y condimentos.	Estafilococosis
Hongos <u><i>(Aspergillus glaucus)</i></u>	Espicias y todos los productos elaborados con ellas.	Toxico- Infecciones

Sin duda, podría decirse que el chile y orégano se encuentran en grandes cantidades en los platillos preparados en la cocina Mexicana, siendo el chile (*Capsicum*) un ingrediente importante en la dieta alimenticia diaria y presenta hoy día una gran variedad cultivada.

Para los consumidores mexicanos, la importancia del chile en su dieta, es reconocida por sus inigualables cualidades sensoriales. Para los productores e industriales resulta atractivo dada su gran demanda y volúmenes de consumo ya que se producen aproximadamente 700 mil toneladas de chile fresco por año, valor que se acerca a la producción nacional de arroz, además representa una importante fuente económica, principalmente el chile seco, cuyo precio medio rural por tonelada llega a ser considerablemente superior al de cualquier otro producto agrícola básico (\$50 millones / ton).

Todas las especies de *Capsicum*, género botánico en el que se quedan incluidos todos los chiles y pimientos que se conocen, fueron originarios de Centro y Sudamérica. La difusión del *Capsicum* tuvo un fuerte impacto en otros países, tal es el caso del mediterráneo. Desde Portugal hasta Yugoslavia, que incluyen en su menú ensaladas de pimentón, de Hungría al adoptarlo como paprika y de las cocinas oriental e hindú, así mismo, en los Estados Unidos de Norteamérica se han generado la cocina "Tex mex" con gran auge y que emplea al chile como ingrediente importante.

En México se manejan importantes volúmenes de consumo, producción y exportación de chile y sus productos que representan una atractiva fuente económica para productores mayoristas e industriales. Sin embargo el avance en cuanto a la tecnología para el manejo, procesamiento, estandarización y control de *Capsicum annuum* ha sido prácticamente nulo (con excepción de los productos enlatados y encurtidos)

En cuanto al conocimiento, algunos investigadores han trabajado sobre los efectos antioxidantes de algunos componentes del fruto, o sus propiedades medicinales como ayuda para el reumatismo o tóxicas, como agente etiológico de irritaciones en mucosas y probablemente cáncer en estómago, o estudiando métodos para la determinación de contenido de capsaicina y la pungencia, así como para el aislamiento y extracción de colorantes en forma

comercial. Así, el chile puede aportar color, aroma, sabor, pungencia, fibra y características plásticas insustituibles. También puede ser empleado en la elaboración de salsas, pastas, jaleas, mezclas de condimentos, oleorresinas extractos, puede deshidratarse en verde o maduro, emplearse en forma de polvo, hojuela etc.

### **Chile Guajillo (*Capsicum annum*)**

Chile seco de color café rojizo, de piel tersa y con forma triangular alargada, mide en promedio 10 cm de largo y 3 cm en su parte más ancha. Cuando es fresco recibe el nombre Chile Marisol, pero es más usado e importante como Chile seco, puesto que fresco su consumo es sumamente bajo, pues la mayor parte de la producción del chile se destina para secar generalmente al sol y medio ambiente abierto. Se distinguen tres variantes comerciales de este: Guajillo Ancho, que no es picoso, el Guajillo Chico, que es de picor moderado, y el Guajillo Puya muy picoso.

### **Orégano (*Origanum vulgare L.*)**

Se trata de una planta fuertemente olorosa y de gran sabor; su aroma de mayor intensidad y el sabor más picante así como su perfume más persistente se logra en zonas más cálidas. El *Origanum vulgare L.* es una planta vivaz, se cultiva en forma perenne, y se logra obtener producciones hasta los cinco o seis años de edad de la planta.

#### **Características:**

**Tallo:** recto que alcanza entre 30 y 80 centímetros ramificado en la parte más alta, totalmente cubierto de pelusilla blanca. Posee un rizoma rastrero.

**Hojas:** son enteras, ovaladas, acabadas en punta, brotan de dos en dos en cada nudo, enfrentadas, también se recubren de pelusilla por ambas caras y su longitud es de hasta 4 centímetros. Poseen peciolo y aparecen cubiertas también de glándulas.

**Flores:** se disponen en formen de espiguillas de hasta 3 centímetros; las flores son muy pequeñas (los pétalos no sobrepasan los 2 ó 3 milímetros de longitud), de color violeta rosado, rezuman gotitas de un líquido amarillento aromático.

Semilla: pequeñísimas, ovales de color castaño, su porcentaje de germinación es de 60-75 %  
Viabilidad: 2 - 3 años. Número de semillas: 9,500 por gramo.

Exigencias ambientales:

Clima: templado cálido, con alta luminosidad, sin neblinas frecuentes y con baja humedad especialmente en los meses de cosecha.

Suelo: Se adapta a una amplia gama de suelo, siempre que no exista limitaciones graves de drenaje. Es importante una buena nivelación del suelo, es altamente sensible a condiciones de humedad del suelo y no prospera en suelos salinos.

Cultivo: Se propaga por semillas. Puede ser cultivado sin dificultad en todo tipo de suelo calizo y es poco exigente en cuanto al suministro de agua. Requiere plena exposición solar. Es una planta perenne que cuidada puede ser explotada para varias cosechas, si se realizan frecuentes podas o cosechas del follaje en el año, y debe fertilizarse con algún portador nitrogenado después de cada cosecha.

Nombres:

Latín: *Origanum vulgare L.*

Castellano: orégano, fluriégano

Catalán: orenga, orega

Vasco: aitz bedarr, oregano, loragiño

Gallego-portugués: oregão, ourego

Francés: origan, marjolaine sauvage

Inglés: wild marjoran

Holandes: wilde marjolein, origanum

Alemán: Dost, wilder Majoran, Wohlgemutkraut

Familia: labiadas

Tipo: planta perenne y vivaz, aromática, 80 cm de altura

Hojas: opuestas, pecioladas, ovales, verde claro

Flores: agrupadas en corimbos terminales densos, color púrpura y blanco

Floración: a partir de julio y agosto

Fruto: tetraquenio liso

Hábitat: Mediterráneo y América, terrenos secos, calcáreos, preferentemente soleados

Parte medicinal utilizada: La planta entera, preferiblemente recogida en época de plena floración.

**PROPIEDADES:** Estimulante, tónico, digestivo, espasmolítico, emenagogo y alivio estomacal.

**INDICACIONES:** auxiliar de tos espasmódica, menstruaciones dolorosas, dolores abdominales, espamos intestinales y flatulencias (infusión mezclado con hinojo).

**PRINCIPALES COMPONENTES:** Aceite esencial (hasta un 1%), timol, carvacrol, pineno, cymol, alfa-thuyona, selineno, dipenteno, alfa-terpineno, terpenos varios, ácidos polifenólicos, ácido rosmarínico, ácido cafeico, ácido ursólico, ácido clorogénico, flavonoides, derivados de apigenol, lutelol, kaemferol, diosmetol, principios amargos y taninos (10).

Las propiedades de estas plantas las hacen ser atractivas en cualesquiera de sus usos.

### **1.5.- PROCESO POST-COSECHA DE ESPECIAS DESHIDRATADAS**

Los métodos para el procesamiento de este producto se basan en operaciones rústicas en el campo sin aplicación de prácticas de manufactura adecuadas y sin control.

Todo el *Capsicum annum* deshidratado que se comercializa actualmente en México es obtenido a partir de métodos rústicos teniendo repercusiones sobre su calidad en aspectos sanitario, toxicológicos, sensoriales y en ocasiones fisicoquímicos afectando la estabilidad de sus propiedades.

Al no haber exigencias para un producto tan popular y redituable, no ha sido necesario el esfuerzo para mejorar las condiciones del proceso. Desafortunadamente esto ha ocasionado que su empleo como materia prima por las industrias con mayor exigencia de calidad, tanto nacionales como extranjeras, se vea limitado y pierda competitividad

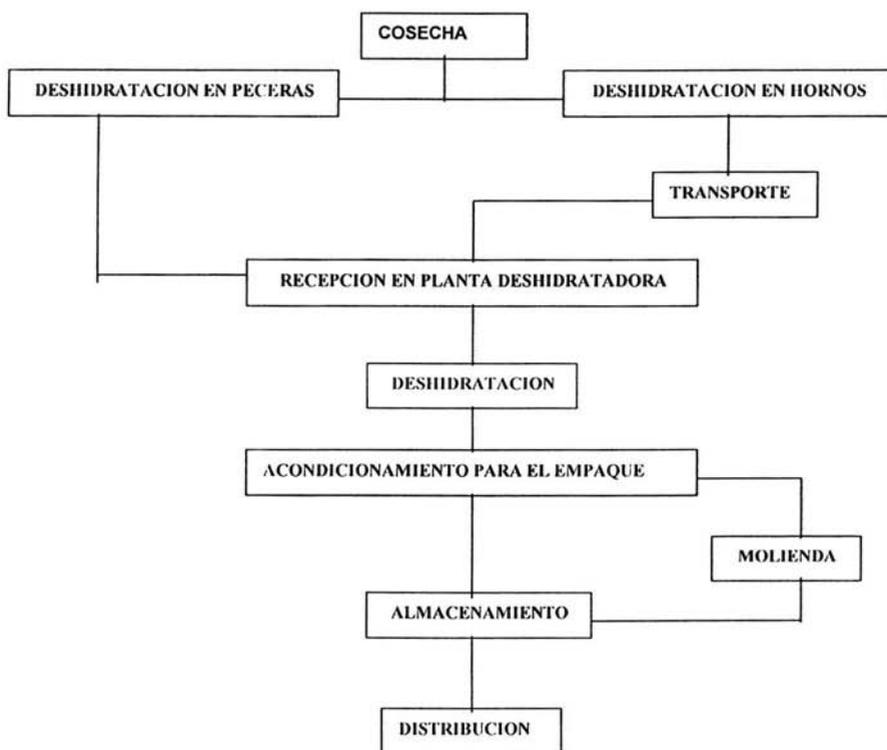


Diagrama 1. Proceso para la obtención de especias deshidratadas.

El diagrama 1 muestra los pasos que usualmente se utilizan para lograr su proceso completo y la comercialización del chile guajillo, durante su deshidratación es sometido al calor y se retira las semillas, y el resto como el tallo son utilizados para mezclarlos en la molienda con el chile dando como resultado un producto de menor calidad y variando sus propiedades. Una vez obtenida la molienda puede trasladarse en empaques finales para su proceso por radiación, debido a que durante su preparación frecuentemente se contamina por su manipulación y su

almacenamiento donde puede contraer hongos lo que puede significar una fuerte pérdida del producto terminado. Así, el proceso de irradiación puede ayudar a la comercialización y la distribución de los productos comestibles hacia los consumidores (11).

## 1.6.- PROCESOS DE IONIZACION POR RADIACION DE ALIMENTOS

Para sanitizar las especies de interés, pueden emplearse fotones de alta energía que provengan de fuentes radiactivas como el Co-60 y actualmente también se utilizan aceleradores de electrones que producen rayos-X los que permiten finalmente irradiar al producto. Estas tecnologías se señalan enseguida de manera muy general.

### IRRADIADORES GAMMA

Estos son diseñados principalmente para emplear fuentes de radiación gamma, para uso industrial así como para uso en investigación científica. Siendo el cobalto-60 la fuente más empleada debido a sus alto poder de ionización por la energía de sus fotones. Las principales características del material radiactivo cobalto-60 son:

Estado físico: Oxido metálico sólido en pellets

Punto de fusión: 1495 °C

Densidad: 8.9 g/cm<sup>3</sup>

Vida media: 5.27 años

Energía de la radiación beta emitida: 0.31 MeV (>99%) y 1.48 MeV (0.01%)

Energía de la radiación gamma emitida: 1.17 MeV (≈100%) y 1.33 MeV (≈100%)

Energía de la radiación gamma por desintegración: 2.50 MeV

El cobalto-60 es producido en un reactor nuclear mediante la reacción:  $^{59}\text{Co} (n, \gamma) ^{60}\text{Co}$

Las diversas fuentes de cobalto-60 son diseñadas de tal forma que la auto-absorción sea reducida al máximo posible pero manteniendo una alta actividad, con el fin de hacerlos más eficientes para los procesos industriales.

El cobalto-59 es preparado en pequeños cilindros de aproximadamente 1mm de diámetro por 1mm de altura; o bien cilindros de 6.25 mm de diámetro por 25 mm de altura, éstos son

bombardados con neutrones en un reactor nuclear produciéndose cobalto-60 mediante la reacción nuclear mencionada. El cobalto-60 queda así encapsulado y constituye una fuente sellada, que usualmente se sella en doble barra de acero inoxidable y constituyen fuentes de alta intensidad. La actividad específica que se obtiene varía entre 10 Ci/g (Curies /gramo) a 100 Ci/g de cobalto para uso industrial.

El diseño de un irradiador depende del tipo de producto para irradiación, del espacio disponible para la instalación, la uniformidad de dosis requerida y las condiciones en las que se necesita irradiar. Entre los diferentes tipos de irradiadores portátiles para investigación, está el Gammacell-200, el cual utiliza cobalto-60 como fuente de radiación ionizante. Básicamente la unidad está formada por un blindaje de plomo y una cavidad, en la cual se introducen las muestras para ser irradiadas, la cavidad útil se localiza en un émbolo cilíndrico de acero inoxidable, el cual puede moverse verticalmente a través del centro del irradiador hasta la posición de irradiación frente a las fuentes.

También se utilizan fuentes de cesio-Cs <sup>137</sup> (CsCl sólido) pero su uso ya no es muy frecuente en irradiadores grandes debido a que presenta inconvenientes tales como: es altamente soluble en agua, por lo tanto es riesgoso almacenarlo en albercas como blindajes, su energía de radiación gamma emitida es 0.66 MeV menor comparada con la fuente de cobalto 60 y por lo tanto su poder de penetración es menor. La vida media es de 30 años. Para su desecho se tiene que dejar decaer, y finalmente tratarlo como residuo en forma de BaCl<sub>2</sub> que es también soluble en agua y tóxico (12).

## **ACELERADORES DE ELECTRONES Y RAYOS X**

Su mecanismo básico consiste de una fluencia de electrones que son acelerados y frenados mediante un campo magnético. El frenamiento de los electrones producen los rayos-X, y las energías dependen de la potencia del acelerador y los filtros que se utilizan (13,14). Los nuevos diseños incluyen dos haces de irradiación encontrados y el espacio entre ellos para la ubicación de los productos a irradiar, siempre se asegura que la penetración que se alcance sea suficiente para sanitizar y reducir la carga microbiana de los productos. Para irradiar los alimentos, de

acuerdo al Codex Alimentarius, la energía de los aceleradores con rayos X debe ser menor a 5 MeV y en el caso de electrones no deber rebasar los 10 MeV debido a que pueden inducir daño permanente en el alimento.

## **IRRADIADOR GAMMABEAM 651 PT DE ALBERCA PROFUNDA**

Este irradiador, ubicado en la Unidad de Irradiación y Seguridad Radiológica del Instituto de Ciencias Nucleares UNAM, está cargado con material radiactivo de  $^{60}\text{Co}$ , fué diseñado para apoyar estudios de investigación e irradiaciones a productos industriales a escala piloto. Posee 9 módulos independientes en alberca profunda y cada uno tiene capacidad de alojar dos fuentes tipo lápiz, de lo que resulta una tasa de dosis variable. Las fuentes son colocadas en posición de irradiación o de blindaje biológico por medio de un sistema neumático.

La actividad total de material radiactivo que puede contener el irradiador es hasta 280,000 Ci (1 Ci =  $3.70 \times 10^{10}$  Bq). Las paredes de concreto reforzado que se utilizó para blindaje en el irradiador, permiten igualar a los niveles de la radiación en el exterior, la cual es igual al fondo natural.

La cámara de irradiación se comunica con el exterior a través de un laberinto de piso falso, este guarda tuberías del agua purificada de recirculación de las resinas a la piscina, y también el cableado de comunicación con la consola de control de las fuentes. La actividad de las fuentes fue de 62,266 Ci al 1 de agosto de 1998.

El mecanismo de movimiento de los módulos de las fuentes es por medio de motores de compresión de aire, la altura que alcanzan los módulos puede ser ajustada para nueve diferentes posiciones, pueden ser variadas en intervalos de 15.2 cm.

El lugar donde se almacenan las fuentes es una alberca con agua deionizada, por debajo del piso del cuarto de irradiación. La deionización del agua de la alberca es mediante recirculación continua a través de resinas catiónicas y aniónicas y un filtro de carbón activado. En las resinas se remueven los iones que se generan en la piscina, de esta manera se mantiene la

conductividad por debajo de 10 microsiemens. También se tiene un filtro para atrapar el polvo flotante en la superficie de la piscina, está unido al tubo de la circulación del agua que se purificará en el deionizador. Existe un flotador con interruptor que mantiene el nivel del agua en la piscina, hay un segundo flotador que advierte mediante señal audible y visual, una posible fuga o descenso del agua por abajo de lo permitido del nivel de radiación en la superficie de la piscina.

El control de los dispositivos de operación y de seguridad del irradiador están localizados en la consola de control, que incluyen llaves de selección, indicadores de operación normal, indicadores de falla, paro de emergencia y alarmas. El proceso de irradiación se lleva al cabo con la salida de las fuentes de la piscina, el tiempo es ajustable en la consola para alcanzar las dosis requeridas de las muestras.

Como dispositivos de seguridad del irradiador, existen dos monitores; un DL-2 en la columna del deionizador del agua que es capaz de detectar niveles de radiación por encima del fondo natural, y de esta manera alertaría un caso de emergencia relacionado directamente con la contaminación radiactiva en la piscina. Otro monitor censa los niveles de radiación en la cámara de irradiación, cuando las fuentes han dejado de irradiar, además cuenta con una válvula de seguridad conectada en el acceso del laberinto a la cámara, al liberar la cadena bloquea el flujo de aire evitando que exista la presión necesaria para el funcionamiento de los motores que a su vez fijan las fuentes en el blindaje. Un cable de acero recorre la pared del laberinto y la cámara, que en caso de emergencia o de seguridad puede accionarse para bloquear el movimiento indeseable de las fuentes e interrumpir la comunicación electrónica con la consola de control. Cuenta con un indicador de "Área de Alta Radiación" que se ilumina cuando las fuentes están fuera de la piscina. Los sensores de detección de elevación de la temperatura en la cámara de irradiación pueden bloquear al sistema de ventilación cuando registra temperatura arriba de 22°C o bien señales de humo, y tiene un detector de sismos que responde a movimientos telúricos enviando todas las fuentes radiactivas al fondo de la piscina (15,16). El área efectiva de irradiación de la cámara es de 9 m<sup>2</sup> y las muestras de este trabajo siempre fueron irradiadas en un área de 1.5 cm<sup>2</sup> y a distancia de 5 cm de la fuente más cercana.

## 1.7.- UNIDADES DE DOSIS Y TERMINOS

La dosis absorbida está definida para cualquier tipo de radiación y cualquier medio absorbente, la dosis absorbida ha tenido dos unidades especiales, que fue el rad y el Gray (Gy) que se usa actualmente como una unidad internacional aceptada. Un rad es la cantidad de energía absorbida por gramo de materia irradiada en cualquier medio cuando es igual a 100 erg/g, 1rad =  $6.24 \cdot 10^{13}$  eV/g y su equivalencia al Gray es 100 rad = 1 Gy.

La unidad de masa atómica unificada es  $\frac{1}{12}$  de la masa del  ${}^{12}_6\text{C}$

$$1 \text{ eV} = 1.07356 \cdot 10^{-9} \text{ uma}$$

$$1 \text{ uma} = 1.66043 \cdot 10^{-24} \text{ g}$$

eV: Es la energía adquirida por un electrón al ser acelerado por una diferencia de potencial de un volt. El Gray es la cantidad de radiación absorbida que disipa un Joule de energía por kilogramo de masa, esto es, 1 Gy = 1 J/Kg en el Sistema Internacional.

La unidad de dosis de exposición llamada Roentgen, que se define como la intensidad de radiación X o  $\gamma$  capaz de producir una unidad de cantidad de electricidad de cualquier signo en 0.001293 g de aire, o sea en un  $\text{cm}^3$  de aire en condiciones normales de temperatura y presión, lo cual equivale a absorción de 87.7 ergios por gramo de aire. Por definición, la unidad roentgen se limita a la radiación electromagnética ( X o  $\gamma$  ) que sirve para medir la intensidad de radiación en un espacio dado, pero no la dosis absorbida por un material cualquiera, y en el caso de tejido humano se emplea la unidad de dosis biológica llamado Sievert (Sv).

Para el caso de los alimentos, un grupo de expertos sugirió tres términos nuevos:

### Radapertización

Tratamiento de los alimentos con una dosis de radiación suficiente para reducir el nivel de microorganismos según aspectos de esterilidad (excepto virus, se calcula una reducción del 99% para la mayoría). Las dosis requeridas van desde 25 a 45 kGy.

### Raditización

Tratamiento de los alimentos con una dosis de radiación ionizante suficiente para reducir el nivel de patógenos no esporulados, incluyendo parásitos, hasta un nivel no detectable por cualquier método reconocido. Las dosis requeridas están entre 2 a 8 kGy.

### Radicación

Tratamiento dado a los alimentos con una dosis de radiación ionizante suficiente para alargar la vida útil a los mismos mediante la reducción sustancial de microorganismos esporulados. Las dosis requeridas están comprendidas de 0.4 a 10kGy.

## 1.8.- DOSIMETRIA QUIMICA Y MECANISMOS DE RADIOLISIS

El agua es la especie molecular predominante en todos los sistemas vivos y el principal elemento reaccionante en los alimentos cuando son irradiados.

Como es sabido, la energía que caracteriza a la radiación gamma es tan elevada, en términos relativos, que normalmente pasa a través de cualquier alimento que va a ser tratado, siendo una fracción de la misma absorbida por las moléculas o bien estas se ven excitadas o ionizadas. La absorción de esta energía se traduce en la expulsión de electrones de los últimos niveles moleculares y, en ocasiones en la rotura de enlaces en las moléculas, de esta manera se crean iones, radicales catiónicos y de forma genérica radicales libres. Los electrones libres emitidos son entidades muy reactivas y pueden:

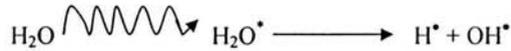
- Recombinarse con otros iones catiónicos recientemente formados, volviendo así la molécula a su estado original, que puede verse como una desexcitación de la molécula.
- Reaccionar con otros componentes en el alimento y generar nuevos iones y radicales libres que pueden producir cambios en el alimento debido a las reacciones químicas.
- En un medio cristalino o policristalinos (como los polímeros), pueden estabilizarse en las matrices correspondientes.

Los efectos más importantes que tiene la radiación ionizante en el agua son:

Al interaccionar la radiación con las moléculas de agua se producen ionización:



O excitación:

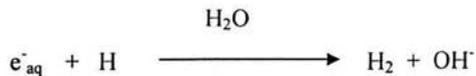


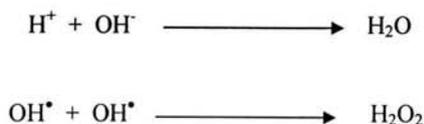
Al interactuar las especies formadas por ionización con otras moléculas de agua se producen radicales libres tales como átomos de hidrógeno (H), radicales hidroxilo (OH) y electrones hidratados ( $\text{e}^-$ ).



El efecto de hidratación es importante solamente en soluciones de alto pH pues cuando el pH es bajo, éste es rápidamente transformado en H (17).

Las especies que se forman durante la expansión de las trazas son los productos moleculares tales como el hidrógeno molecular ( $\text{H}_2$ ) y peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) y las reacciones que tienen lugar durante este proceso son:

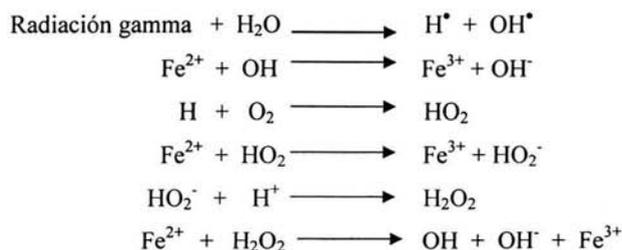




## DOSIMETRIA QUIMICA

La dosimetría es una técnica de medición de los cambios físicos, químicos o biológicos en un sistema que se produce por la energía depositada de la radiación ionizante en dicho sistema. La magnitud de los cambios dependerá en gran parte de la cantidad de radiación (dosis absorbida).

La reacción básica en solución de Fricke, llamado dosímetro acuoso, es la oxidación ácida de sulfato ferroso a su sal férrica en presencia de oxígeno bajo la acción de la radiación. El intervalo del dosímetro es de 20-400 Gy y en este intervalo el cambio químico es proporcional a la dosis absorbida. La dosimetría acuosa se basa en las reacciones de solutos, formando nuevas especies vía radiólisis del agua. Se busca determinar la dosis absorbida en el medio expuesto a la radiación, a partir de los cambios de la concentración de los productos de la reacción. La solución ácida del ion ferroso se oxida fácilmente por la radiación ionizante y pasa a ion férrico:



En la preparación del dosímetro de Fricke se utiliza una solución ferrosa de  $2 \cdot 10^{-3}$  M y 0.8 N de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . El cloruro de sodio se agrega ( $10^{-3}$  M) para eliminar los efectos de cualquier impureza orgánica en la solución con agua tridestilada. La linealidad de la respuesta del sulfato

ferroso se restringe a dosis de 20 a 400 Gy, donde la cantidad baja de oxígeno no afecta al rendimiento radioquímico. Se lee en un espectrofotómetro en longitud de onda de 304 nm por ser la longitud de onda correspondiente al ion  $\text{Fe}^{3+}$  (18,19).

## **1.9.- DETECCION DE ALIMENTOS IRRADIADOS**

En esta sección se mencionan los componentes que tienen los alimentos naturales, y como tales se desarrollan en el suelo donde se alimentan y por lo que esperamos contengan minerales que siempre existen en la corteza terrestre. De aquí es necesario referirse a los poliminerales contenidos en las especies alimenticias.

### **SOLIDOS PRESENTES EN ALIMENTOS**

El término sólido se aplica a sustancias elásticas rígidas, no solo cuando se les somete a fuerzas hidrostáticas, sino también a esfuerzos de tensión y cortantes, se dividen en dos categorías los amorfos y los cristalinos. Por otro lado, las sustancias cristalinas se caracterizan por una periodicidad perfecta en su estructura atómica. Es necesario comprender que las muestras macroscópicas de sólidos cristalinos tales como metales, cerámicas, sales iónicas, etc. no siempre se componen de un solo cristal, sino que a menudo están formados por un conjunto o conglomerado de pequeñas unidades de cristal cada una con diferente orientación separadas entre sí por fronteras o límites de grano. Las características más sobresalientes para clasificar materiales cristalinos son: según sus redes cristalinas, las propiedades eléctricas, propiedades mecánicas o las características químicas, y el tipo de interacción que mantiene unidos a los átomos del cristal. Los sólidos también se clasifican en cuatro categorías generales: iónicos, covalentes, metálicos y moleculares (20).

Los sólidos que están presentes en alimentos se pueden clasificar en general:

- Propios: esto es, forman parte esencial de los mismos, por ejemplo, la hidroxiapatita en pescados o en huesos de animales.
- Extrínsecos: su presencia es intencional o no, pero no forman parte básica de los mismos.

Estos a su vez, pueden clasificarse en (9):

1) De adición: suelen añadirse para mejorar aspectos organolépticos, por ejemplo, NaCl (halita) en quesos, cuya incorporación es intencionada.

2) Contaminantes: se incorporan mediante un mecanismo natural o en algún momento durante la fabricación de un alimento; por ejemplo, durante el crecimiento y secado de hierbas y especias, suelen incorporarse, con el viento, algunos minerales, tales como calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ), etc. Igualmente algunas especies de pescados suelen atrapar minerales para favorecer la trituración en procesos digestivos.

Cuando la radiación ionizante interacciona con la materia, ésta reacciona ionizando sus componentes (átomos y moléculas). Los electrones liberados tienden a viajar por la banda de conducción del sólido hasta que se estabilizan en trampas. El concepto de trampa está muy ligado al de defecto. En realidad una trampa es un defecto capaz de atrapar electrones (o huecos). El lugar que deja el electrón, un hueco, también puede viajar por el medio cristalino.

En general, un defecto en un sólido representa cualquier anomalía (composicional, estructural, vibracional) presente en un cristal, la cual no puede predecirse por la teoría clásica del cristal reticular. Los defectos en un sólido vienen, normalmente, clasificados en función de la dimensión o número de átomos o moléculas que le afectan.

1. Defectos Puntuales. Son aquellos defectos que afectan a un átomo o a un número muy reducido de ellos, que pueden ser vacancias (ausencias de iones o átomos), huecos, etc.
2. Lineales. Afectan a una fila reticular (conjunto de átomos en una dirección) por ejemplo, las dislocaciones de los átomos en el sólido.
3. Planares. Representan una anomalía que afecta a un plano reticular, conocidos como politipos.

4. Tridimensionales. Afectan a un conjunto de átomos o a parte de una estructura cristalina, por ejemplo, las inclusiones fluidas o precipitados que se forman en sólidos por efectos provocados normalmente por temperatura o por saturación de impurezas.

De estos defectos, los más importantes son los defectos puntuales, que a su vez se clasifican en:

1.1 Intrínsecos. Su aparición tiene lugar en un cristal con una composición definida y son considerados como propios o característicos de esa estructura.

1.2 Extrínsecos. Implica la existencia de átomos extraños en la red. Por ejemplo, la presencia de impurezas intencionales.

Se puede establecer como un defecto tipo vacante aquel que simplemente representa la ausencia de un átomo o ion en una red cristalina; este átomo o ion puede estar cargado negativamente (anión) o positivamente (catión). Su ausencia viene considerada en el nivel electrónico como la presencia de un exceso de carga positiva o, lo que es lo mismo, la aparición de un hueco. Gráficamente se tendría una disposición de iones como se muestran en la Figura 1. Así desde el punto de vista de la composición de los sólidos, los poliminerales que contienen las especies vegetales son algunas veces policristales mezclados con una cantidad enorme de defectos tales como impurezas adheridas de manera natural.

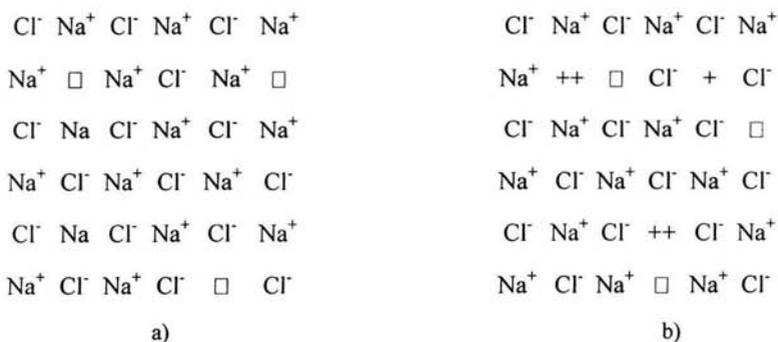


Figura 1. a) Defectos puntuales tipo vacancia □ en una estructura de NaCl simple, b) Defectos puntuales ++ y +, como impurezas en un cristal NaCl impurificado

Uno de los retos de la tesis fue separar la parte inorgánica de la parte orgánica, y finalmente obtener los poliminerales que pueden ofrecer información de las plantas e incluso del tipo de suelo donde fueron crecidas.

Una vez procesadas por radiación, el siguiente reto fue hacer la detección de las muestras.

### **1.10.- METODOS EN LA DETECCION DE ALIMENTOS IRRADIADOS**

Toda técnica de identificación depende de tres etapas: la primera tiene lugar durante o inmediatamente después de que la irradiación produzca sus efectos, la segunda mientras el fenómeno es preservado como una memoria de la ionización y la tercera es la medida.

Debe tenerse en cuenta que las dosis especificadas en el Código Alimentario son niveles medios aplicables a una serie de productos, estando permitida una variación del 50% dentro de la misma.

Las características que deben tenerse en cuenta en la detección son:

- a).- Su selectividad para detectar ingredientes irradiados mezclados con alimentos no irradiados
- b).- Dependencia del resultado con las variables del proceso: razón de dosis, temperatura.
- c).- Dependencia del resultado con las variables de almacenamiento antes y después de la irradiación
- d).- Precisión y reproducibilidad de las medidas de la detección del alimento irradiado.

Hay una gran variedad de métodos de detección existentes en función de su propia metodología, que en la mayoría de las ocasiones están más cerca de un determinado campo de conocimiento. Los métodos para detectar alimentos irradiados se pueden clasificar en los siguientes.

### **1.10.1).- METODO DEL ADN**

Se mide algún parámetro fisicoquímico o biológico que se produce en el ADN como consecuencia de la irradiación, y se utiliza el efecto como posible biomarcador para la detección alimentos irradiados. La respuesta medida en la muestra debe ser específica del proceso de irradiación.

Los principales daños de la radiación sobre el ADN son daños de las bases, es decir en las moléculas de azúcar y roturas de dobles-triples enlaces, igualmente la polimerización entre los productos radiolíticos producidos durante la misma.

**1.10.2).- METODOS BIOLOGICOS Y MICROBIOLOGICOS.** Este método se basa en tener efectos sobre los que van desde la esterilización de insectos y parásitos hasta la reducción de poblaciones bacterianas. Se mide la cantidad de microorganismos que se dañan, ya sea por mutaciones o muertes, si el número de daños es mayor que el daño que tiene la referencia se dice que la muestra ha sido irradiada.

- a).-Medidas de epifluorescencia.
- b).-Test específico: ELISA
- c).-Métodos histoquímicos.
- d).-Resistencia a la oxidación.
- e).-Bacterias resistentes a la radiación y radiosensibilidad.

**1.10.3).- METODOS QUIMICOS.** Están basados esencialmente en reacciones químicas y la técnica de identificación le ha dado nombres distintos, tales como:

- a).-Análisis de hidrocarburos volátiles.
- b).-Determinación de o-tiroxina.
- c).-Determinación de ciclobutanosas.
- d).-Determinación de carbohidratos.
- e).-Espectroscopia de Resonancia Magnética Nuclear. (RMN)

f).-Electroforesis de proteínas.

g).-Determinación de grupos sulfhidrilos.

**1.10.4).- METODOS FISICOS.** Entre éstos, sobresalen los siguientes:

1.- En sólidos:                    a).- Resonancia de espín electrónico. (ESR)

    b).- Luminiscencia estimulada.

    c).- Luminiscencia estimulada por calor o termoluminiscencia (TL).

2.- En sistemas hidratados: a) Medidas de viscosidad, b) Conductividad eléctrica y c) Análisis por difracción de rayos X.

De los métodos anteriores, se eligió el método de luminiscencia estimulada térmicamente (TL). Aunque cabe decir que también puede utilizarse el de resonancia de espín electrónico. Por ser EPR una de las técnicas más usadas haremos una descripción breve con el fin de ampliar más la información. Enseguida se hace la exposición más del fenómeno termoluminiscente cuya técnica se usó en esta tesis.

#### **1.a).- Resonancia de espín electrónico**

La espectroscopía de resonancia de espín electrónico o resonancia paramagnética electrónica (EPR o ESR) es una técnica capaz de detectar, de forma específica, especies con electrones desapareados. Hay varios grupos de compuestos que cumplen este requisito y por tanto son susceptibles de ser estudiados con esta técnica espectroscópica: radicales libres, moléculas ionizadas, electrones atrapados, defectos cristalinos, metales de transición y tierras raras.

Los radicales libres son especies químicas con un único electrón desapareado que posee (un campo magnético). La interacción de dicho momento magnético con un campo magnético externo puede ser detectada por esta espectroscopía de EPR.

Esta técnica puede ser aplicada de forma:

1) Directa, detectando la presencia de radicales libres generados en los alimentos,

2) De forma indirecta, en este caso se podría detectar la presencia de centros paramagnéticos, por ejemplo en especies minerales que acompaña a los mismos.

Se debe estar seguro de que el centro paramagnético que se desea medir cumpla requisitos básicos:

1. Ser estable. Que posea una vida media razonable para su detección, de ser posible del orden de horas o días.
2. Existir en una concentración considerable. En algunos sistemas biológicos y químicos los radicales libres formados son tan reactivos que nunca alcanzan un grado de concentración suficientemente elevado como para ser detectado directamente por EPR. Por ejemplo, algunos radicales libres relacionados con el oxígeno (grupos hidroxilo OH y superóxido  $O_2^{\cdot-}$ ) tienen la capacidad de reaccionar consigo mismo y con un elevado número de moléculas orgánicas, a velocidades elevadas y formando especies tan inestables que difícilmente pueden ser detectadas por EPR.

Para evitar estos problemas, se han desarrollado algunas estrategias tales como:

- a) Congelar rápidamente las muestras
- b) Generar especies en concentraciones muy elevadas, por ejemplo, irradiando a grandes dosis.
- c) Estabilizar los radicales mediante la utilización de alguna técnica, por ejemplo, obligando al radical formado a reaccionar con otro producto para formar radical estable (aducto de espín).

Con relación a las posibles aplicaciones de esta técnica en la detección de alimentos irradiados tenemos las siguientes (9,21,22):

-La detección de huesos irradiados por EPR, es una técnica bien establecida que funciona gracias a la hidroxiapatita como componente del hueso.

-La mayor parte de los trabajos de investigación hechos hasta el momento se ha concentrado sobre aves de corral (pollos) porque normalmente: se venden con huesos; presentan infección por Salmonella y esto les hace buenos candidatos para la irradiación.

-Los pescados, los caparazones de crustáceos y moluscos, al irradiarse generan señales de EPR estables aunque complejas (21). Su aplicación es limitada y objeto actual de investigación.

-El desarrollo de productos radiolíticos en este tipo de alimentos depende de la dosis, temperatura de irradiación atmosférica, contenido en agua y condiciones de almacenaje.

### **1.b).- Luminiscencia estimulada**

El proceso de la luminiscencia ocurre cuando la radiación incide sobre un material parte de su energía puede ser absorbida y re-emitida como luz en una longitud de onda mayor. Las longitudes de onda de la luz emitida es característica de la sustancia luminiscente y no de la radiación incidente tales como rayos X, gamma, electrones, luz UV, etc. Existe numerosa literatura publicada sobre las emisiones en la región visible del espectro electromagnético, pero también las sustancias pueden emitir en otras longitudes de onda como ultravioleta o infra-rojo. Así, las emisiones luminiscentes requieren de un estímulo previo, y reciben distintos prefijos del término dependiendo del tipo de radiación utilizada para excitar la emisión de luz.

#### **Tipos de emisión luminiscentes**

	Tipo de excitación
Fotoluminiscencia o luminiscencia estimulada ópticamente	Fotones (UV, visible, IR)
Catodoluminiscencia	Electrones acelerados.
Radioluminiscencia	Reacciones nucleares (alfa, beta, gamma) o similares (rayos X)
Quimioluminiscencia	Reacción química.
Triboluminiscencia	Energía mecánica.
Sonoluminiscencia	Ondas de sonido.
Ionoluminiscencia	Energía de iones acelerados .
Bioluminiscencia	Energía de origen biológico.

Mientras el tiempo transcurrido entre la excitación y la emisión de la luz ( $\tau$ ), distingue a la fluorescencia y la fosforescencia (23):

Fluorescencia ocurre en un tiempo  $\tau \leq 10^{-8}$  s

Fosforescencia en  $\tau \geq 10^{-8}$  s.

De la fosforescencia hay períodos cortos, del orden de  $\tau \leq 10^{-4}$  segundos, y largos. Los períodos largos pueden ser desde  $\tau \geq 10^{-4}$  segundos, entre los que se encuentran la termoluminiscencia, que puede ocurrir desde minutos hasta  $4.6 \times 10^9$  años. Esto quiere decir que la información puede ser guardada en la sustancia por períodos largos, siempre y cuando no haya algún agente externo del ambiente que pueda desexcitar a la sustancia, esta propiedad permite realizar mediciones de emisión luminiscente y cuidando siempre que no interfieran los agentes externos para evitar interpretaciones erróneas de los resultados.

Aunque muy poco frecuente, es posible encontrar aplicaciones de otros tipos de luminiscencia al campo de la detección de alimentos irradiados. Entre éstas están la quimioluminiscencia y la bioluminiscencia.

Se conoce con el nombre de quimioluminiscencia (QL) al fenómeno de emisión de luz observado cuando una sustancia es suspendida o disuelta en un soluto adecuado. La relación entre quimio y bioluminiscencia está en la duración del proceso de emisión de luz, así cuando esta emisión de luz tiene lugar en forma de pulsos cortos, se denomina *bioluminiscencia*.

Aquellos compuestos que parecen favorecer la emisión de luz son conocidos con el nombre de foto-sensibilizadores y entre los más utilizados está el luminol (amina fenilhidrazida) y el peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ). En este proceso de emisión de fotones por QL se supone que están involucrados radicales libres de vida corta, peróxidos y otros productos radiolíticos, a veces no relacionados directamente con el proceso de irradiación.

### **1.c).- Luminiscencia estimulada térmicamente o Termoluminiscencia (TL)**

Este fenómeno lo utilizaremos en la tesis y le dedicamos un espacio para su explicación. La termoluminiscencia es un fenómeno que consiste en la emisión de luz cuando se calienta un material previamente irradiado. Existen diversas explicaciones de modelos (24) que tratan de

explicar las emisiones luminiscentes estimuladas por calor mediante procesos de recombinación y atrapamientos de cargas en los materiales sólidos.

Al ionizar los átomos o moléculas se generan huecos donde pueden atraparse los electrones liberados por la radiación, y al excitarlos térmicamente adquieren la suficiente energía cinética para liberarse de los huecos. Los electrones e impurezas libres pueden migrar por el medio sólido y se deshacen de su energía a través de procesos de relajación o de recombinación que dan como resultado la salida de fotones del sólido. Estas emisiones de fotones nos permitirán hacer la detección de los alimentos irradiados. Además esta capacidad de creación de defectos también se le interpreta como una forma de almacenar información.

En un átomo los electrones giran y se dice que “forman una distribución como una nube” alrededor del núcleo, permaneciendo en diferentes órbitas, posiciones o niveles de energía. Debido a la proximidad y al gran número de átomos en el cristal, los niveles energéticos asociados a cada electrón en particular se entrelazan y se ensanchan modelándose como una forma de bandas (20) que contienen una infinidad de niveles en forma discreta o casi continua.

Las bandas de energía del sólido se les ha agrupado en una banda de conducción y en una banda de valencia, entre éstas existe un espacio de estados o niveles los cuales no podrían ser llenados por los electrones (sólidos aislantes). Esta banda vacía es llamada generalmente banda de energía prohibida o también llamado *gap*. Cuando al sólido se le adicionan iones, éstos provocan la formación de subniveles de energía en la banda *gap*. Los iones que pueden impurificar al sólido, serían impurezas que son considerados como defectos, aunque dependiendo de la propiedad de las impurezas estas pueden actuar como trampas para otros defectos puntuales.

Cuando a un cristal se le expone a la radiación podemos tener tres situaciones que se describen como sigue:

a).- Ionización. La radiación proporciona energía provocando que un electrón se mueva de su banda de valencia a la banda de conducción del cristal dejando un espacio al cual llamamos hueco. Este hueco puede permanecer en la banda de valencia, mientras que el electrón se desplaza libremente en la banda de conducción. Después de un tiempo el electrón regresa a la

banda de valencia para ocupar el lugar del hueco, llamando a esto recombinación. Al efectuarse dicha recombinación, se observa una emisión de luz que es posible detectarse en el laboratorio.

b).- Atrapamiento de electrones. El mecanismo de atrapamiento se realiza cuando el electrón en vez de regresar a la banda de valencia cae en una trampa. Dependiendo de su profundidad el electrón podrá permanecer en ella desde intervalos de tiempo muy cortos menores  $10^{-8}$  segundos (luminiscencia) hasta muy largos del orden hasta días (fosforescencia) o años, el electrón puede liberarse de la trampa si se aplica la suficiente energía térmica o calor. En esta forma el electrón vuelve a la banda de conducción, moviéndose libremente entre los estados accesibles para unirse luego con un hueco situado en un nivel de energía en el gap. La recombinación del electrón y el hueco atrapado puede tener como consecuencia la emisión de fotones. Finalmente, la luminiscencia resultante se conoce como luminiscencia estimulada térmicamente o termoluminiscencia cuando se emplea calor para la desexcitación y con ello la emisión de luz que puede detectarse mediante un tubo fotomultiplicador de alta sensibilidad debido a la escasa luz emitida por la sustancia irradiada en estudio.

c).- Atrapamiento de huecos. El hueco puede también atraparse en un defecto cercano a la banda de valencia, y de manera similar al caso anterior, la estimulación térmica produce que el hueco se recombine con un electrón atrapado, dando también como consecuencia una emisión de luz que contribuye al caso anterior.

A medida que se calienta el sólido (en este caso el polimineral extraído de la muestra), la emisión total de la luminiscencia sigue una distribución de una curva de tipo gaussiana, llamada curva de brillo. La cual puede analizarse para obtener las curvas definidas de las emisiones de cada muestra.

Para que el fenómeno de TL pueda ser observado se establecen algunas condiciones:

- a).- El compuesto a estudiar debe, ser un sólido cristalino o amorfo.
- b).- Ser aislante o semiconductor.

c).- Haberse sido expuesto a una fuente de energía radiante natural o artificial, que puede ser de excitación o ionizante capaz de generar defectos en la sustancia.

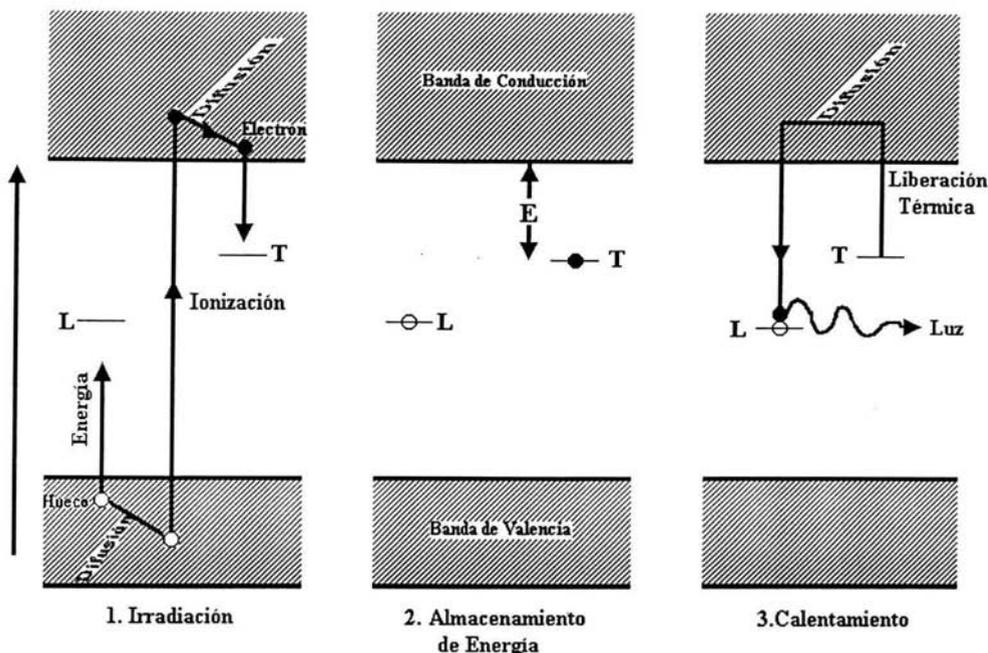


Figura 1. Proceso para el fenómeno de la emisión térmicamente estimulada (Termoluminiscencia) en un sólido. Basado en un modelo simple establecido por Randall y Wilkins (25).

El modelo de Randall y Wilkins, está basado en la idea de la existencia de bandas de conducción y de valencia en un sólido. Los electrones normalmente estarían en la banda de valencia es decir, cercanos al núcleo del átomo y al ser excitados por la radiación gamma, ellos se alejan a la banda de conducción dejando tras de sí un hueco con carga opuesta. Luego entonces están listos de provocar corriente o de modificar propiedades del material cristalino o bien verse atrapados. Cabe aclarar que el modelo simple de Randall y Wilkins ha sido modificado en términos de los avances de la teoría del estado sólido.

De acuerdo al modelo previamente establecido y partiendo de la base que la TL es característica de sólidos aislantes o semiconductores, el fenómeno de la TL puede ser asociado a tres procesos básicos, como se muestra en la figura 1. Los procesos son:

1. Ionización. La energía radiante arranca electrones de los orbitales atómicos (o moléculas) creando de esta forma pares electrón-hueco (e-h). El electrón viaja por la banda de conducción hasta que queda atrapado en algún defecto cristalino. A este defecto se le denomina *trampa*. El correspondiente hueco quedaría atrapado en otra trampa.
2. Almacenamiento. Las trampas normalmente relacionadas con algún tipo de defecto o imperfección cristalina, están localizados en la denominada zona prohibida o gap, y su posición en energía respecto a la banda de conducción puede estar más o menos alejada de las correspondientes bandas de conducción y valencia. Esto da idea de la estabilidad del electrón en esa trampa. A menor energía, existe mayor probabilidad de que el electrón intente salir de esa trampa, si ello ocurre entonces puede resultar en una trampa inestable o un estado metaestable.
3. Recombinación. Cuando el electrón es activado térmicamente, esto es, se suministra energía térmica al sistema, el mismo abandona la trampa, viaja por la banda de conducción hasta que se recombina con huecos atrapados, produciendo fotones. En esta situación el centro con hueco atrapado se convierte en lo que se conoce con el nombre de centro de recombinación.

A este modelo pueden añadirse situaciones específicas, cuando el par electrón-hueco está cerca, pero la recombinación no tiene lugar por el procedimiento clásico, puede hacerlo directamente vía efecto túnel. Otra posibilidad es la transferencia de energía desde un centro de recombinación a un centro luminiscente responsable final de la emisión de luz.

La luz emitida suele representarse en función de la temperatura aplicada al sistema dando lugar a una curva conocida con el nombre de curva de termoluminiscencia (TL) o curva de brillo, representa las distintas recombinaciones de los pares electrón-huecos que, almacenados en el sólido en distintas trampas (con diferentes energías de activación), tiene lugar en el mismo cuando al sistema se le incrementa la temperatura de forma creciente y uniforme. La forma de

la curva de TL es el resultado de varios factores que pueden influencia en la misma. En principio, la velocidad de calentamiento, tamaño de grano o partícula de la muestra, dosis de radiación utilizada, dosis, tratamiento previo dado a la muestra, presencia de mayor o menor contenido de impurezas, origen de la misma, etc., son algunos de los parámetros que pueden variar la forma de la curva de TL para una misma muestra. De ahí la conveniencia de fijar los parámetros experimentales.

### **1.11.- COMPUESTOS MINERALES DE LOS ALIMENTOS CHILE GUAJILLO Y OREGANO**

Existen una cantidad de minerales que de una manera u otra están contenidos en los alimentos que permiten ser útiles para establecer parámetros que sirvan para discriminar la presencia de alimentos irradiados, ya que estos compuestos han estado presentes durante la irradiación de los mismos, guardando, en la mayoría de las ocasiones, esta información en forma de daño o defectos en la red del sólido. Esta información puede mantenerse, dependiendo de las condiciones ambientales, durante largos periodos de tiempo y su lectura puede tener lugar meses después de que el proceso por radiación (irradiación) haya tenido lugar.

#### **Clasificación de sólidos extraídos de alimentos.**

Entendemos por mineral todo aquel sólido homogéneo con una composición química definida (aunque no necesariamente fija) que tiene una estructura cristalina determinada, estable para ciertas condiciones definidas, y además formado normalmente mediante un proceso inorgánico (26). Cuando un mineral se forma normalmente en procesos inorgánicos, se trata de alguna manera de ampliar los límites clásicos y considerar como minerales a aquellos compuestos que aunque producidos orgánicamente, cumplen todos los requisitos establecidos anteriormente para la definición de un mineral ejemplo, carbonato cálcico que forma parte de las perlas ( $\text{CaCO}_3$ ).

A los minerales se les asocia una composición química definida para su estructura, la cual puede representarse por un modelo estructural conformado por iones o átomos ordenados en un modelo periódico tridimensional establecido. Las estructuras de los compuestos son estables en un rango de temperatura y presión determinada.

Los minerales se clasifican de acuerdo a criterios químico-estructurales, es decir, se establecen distintas clases en función del anión o aniones predominantes en una estructura (9) , así se tienen:

**Silicatos.** Representan la combinación del silicio con átomos de oxígeno para formar unidades estructurales de tetraedros de  $\text{SiO}_2$  solas o combinadas entre sí.

Son el grupo de minerales más abundantes en la corteza terrestre. Los silicatos vienen siendo clasificados de acuerdo al tipo o unidad estructural que forman las unidades tetraédricas  $(\text{SiO}_4)^{4-}$

**Sulfuros.** Son las combinaciones de aniones del azufre (S), arsénico (As), antimonio (Sb), telurio (Te), con varios cationes (Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Ag, Cd, Sn, Pt, Au, Hg, Pb, Bi). Los minerales de este grupo forman el cuerpo de lo que comúnmente se considera yacimiento de explotación industrial. Ejemplo: Galena ( $\text{PbS}$ ), pirita ( $\text{FeS}_2$ ).

**Haluros.** Conjunto de minerales formados por la combinación de cloro, flúor y yodo, con varios cationes, con enlace típicamente iónico. Ejemplo: halita ( $\text{NaCl}$ ) , fluorita ( $\text{CaF}_2$ ).

**Óxidos.** Los minerales formados por combinación del oxígeno con varios cationes. Ejemplo: Periclasa ( $\text{MgO}$ ), corindón ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )

**Hidróxidos.** Grupos hidroxilos (OH) combinados con varios cationes. Ejemplo: gibbsita ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ )

**Carbonatos/Nitratos.** Los carbonatos comprenden un total de 69 minerales, en los cuales los grupos moleculares aniónicos  $\text{CO}_3^{2-}$  están mantenidos juntos en la estructura por medio de cationes intermedios. Los correspondientes nitratos son químicamente y estructuralmente muy parecidos a los carbonatos.

**Boratos.** Grupos aniónicos  $\text{BO}_3$  combinados con varios cationes. Ejemplo: Bórax  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$

Sulfatos: Grupos aniónicos  $\text{SO}_x$  combinados con varios cationes. Ejemplo. Anhidrita ( $\text{CaSO}_4$ )  
Cromatos, tungstenatos y molibdatos.

Grupos aniónicos  $\text{CrO}_x$ ,  $\text{WO}_x$  y  $\text{MoO}_x$ , combinados con varios cationes. Ejemplo: schelita ( $\text{CaWO}_4$ ).

Fosfato, arseniatos y vanadatos: Representan un grupo de 240 especies minerales, pero de presencia limitada. Están caracterizados por la presencia de grupos aniónicos  $\text{PO}_x$  (fosfatos),  $\text{AsO}_x$  (arseniatos) y  $\text{VO}_x$  (vanadatos) combinados con varios cationes. Ejemplo: Monacita ( $\text{CePO}_4$ ) apatito [ $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$ ].

Comúnmente para identificar los compuestos que conforman los poliminerales de los alimentos, es usual hacer uso de la difracción de los rayos X. En 1912 Von Laue predijo que los átomos de un espécimen monocristalino produciría la difracción de un haz de rayos X monocromático y paralelo, originando una serie de haces difractados cuyas direcciones e intensidades dependerían de la estructura reticular y la composición química del cristal. Los rayos X se pueden producir fácilmente permitiendo que los electrones de alta energía choquen contra un ánodo metálico que constituye el blanco. Los rayos X producidos en esta forma poseen, además de un espectro de fondo continuo, algunas líneas espectrales muy intensas y casi monocromáticas cuya frecuencia es característica del material del blanco.

A partir de 1916, la observación experimental de los patrones de difracción de rayos X se simplificó enormemente gracias a la introducción del método de potencia de Debye y Scheerrer, en este método se deja pasar un haz monocromático paralelo de rayos X a través de un espécimen finamente pulverizado. En forma puramente aleatoria, algunos de los microcristales del espécimen pulverizado estarán orientados en el ángulo correcto de difracción para un conjunto particular de planos y el haz difractado se produce inmediatamente, el haz difractado tendrá la forma de un cono cuyo ángulo de apertura es  $\theta$  y no solo un haz de rayos. Se acostumbra colocar una tira de película en la pared interior de una cámara cilíndrica, concéntrica con la muestra, con el fin de interceptar una porción específica de estos conos de difracción, que son una serie de arcos producidos sobre dicha película. La identificación de los poliminerales en esta tesis no fueron identificados, la identificación es un trabajo que se está realizando fuera de esta tesis.

## CAPITULO 2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

### 2.1.- EQUIPOS UTILIZADOS

Para el trabajo experimental se utilizó un espectrofotómetro Perkin Elmer uv/vis 553 con resolución en longitudes de onda de  $\pm 2$  nm que permitió leer las absorbancias de las soluciones de Fricke irradiadas para la dosimetría del sitio donde se irradiaron las muestras de chile guajillo y orégano. Para la extracción de los poliminerales se usaron parrillas de calentamiento con imanes para agitación de las soluciones con las muestras. Para las irradiaciones de todas las muestras se usaron todas las fuentes radiactivas de cobalto-60 del irradiador Gammabeam 651 PT de la Unidad de Irradiación del Instituto de Ciencias Nucleares UNAM. Se usó un detector de luminiscencia estimulada térmicamente Harshaw TL 3500 para leer las curvas de brillo TL que emitieron las muestras de guajillo y orégano.

### 2.2 METODOLOGIA

#### a).- DOSIMETRIA DE FRICKE

1. Para determinar el sitio de irradiación y las dosis requeridas para las muestras de Chile guajillo y Orégano en la cámara del irradiador, se realizó una dosimetría de solución de Fricke, que consta de una solución acidificada con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  [ 0.8 N] con sulfato ferroso [  $2 \cdot 10^{-3}$  M] donde el compuesto más importante es el hierro ( $\text{Fe}^{2+}$ ), el cual es oxidado a  $\text{Fe}^{3+}$  por la radiación ionizante. La solución se vierte en dos celdas de cuarzo del espectrofotómetro, un blanco se lee como la referencia y la otra se lee a una longitud de onda de 304 nm asociado a la longitud de onda de absorción del  $\text{Fe}^{3+}$ . La dosis absorbida es determinada por un incremento en la absorbancia  $\Delta A$  a la temperatura de 25°C. Donde  $G$  es el rendimiento químico de la radiación en la transformación del ion ferroso a férrico y  $\epsilon_m$  es el coeficiente de extinción molar entre el producto y el reactante para una longitud de onda. Se calcula la dosis con la fórmula :  $D = \frac{\Delta A}{G(\text{FeIII})\epsilon_m l \rho}$  donde;  $l$  es longitud de celda

usualmente 1.0 cm (espesor de la muestra) y  $\rho$  es la densidad de la solución (1.024 kg dm<sup>-3</sup>);  $\epsilon_m = 216.4 \text{ m}^2 \text{ mol}^{-1}$  a 25 C;  $G(\text{Fe III}) = 1.62 * 10^{-6} \text{ mol J}^{-1}$

Con los datos obtenidos se graficó el tiempo en función de los valores de las absorbancias, para determinar la dosis. La ecuación de la regresión lineal que se obtiene de la gráfica permitió saber el intervalo donde se calculan las dosis correspondientes a los tiempos necesarios, y finalmente se obtiene la razón de dosis (Gy/h) en este sitio específico de irradiación de las muestras en la cámara del irradiador Gammabeam 651 PT.

Se irradiaron las muestras de Chile guajillo y Orégano, a las dosis de 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 15,20, 30,35 y 40 kGy. Enseguida las muestras irradiadas se protegieron de la luz, se envolvieron en papel aluminio y se guardaron para su posterior extracción del polimineral, a éstos poliminerales más adelante le denominamos “materia prima”. Iguales dosis recibieron las muestras de “poliminerales” que fueron extraídos antes de ser irradiadas las muestras. La intención fue determinar si se lograba determinar las señales TL y la comparación TL entre la “materia prima” y el polimineral, independientemente de si se extrae el polimineral antes o después de irradiar las muestras como llegan de la industria.

#### **b).-METODO DE SEPARACION DE FRACCIONES MINERALES**

1. En un vaso de precipitados limpio, se agrega una solución de agua/alcohol (60:40), se puso en agitación a temperatura ambiente.
2. Poco a poco se agrega la muestra de chile Guajillo u orégano (50g) se deja en agitación por 12 horas.
3. Se decanta el precipitado que se formó en el fondo del vaso, color café para chile y café claro para orégano, se vierte peróxido de hidrógeno al 30%, se agita por 30 minutos, se decanta y se lava con agua bidestilada por 10 minutos. El ciclo de lavado se realiza hasta que la materia orgánica se haya eliminado del vaso y se procede a secar con acetona.
4. Con una espátula se recogió el polimineral y se recibió en un vial, se etiqueta con la fecha de su extracción, y se guarda en oscuridad. En el caso del polimineral extraído (sin irradiar la muestra), se le dió un tratamiento térmico de 350 °C durante 30 minutos en la mufla

antes de la irradiación para asegurar que se ha eliminado la mayor parte de residuos orgánicos.

### **c).- OBTENCION DE DATOS EN EL EQUIPO DE TERMOLUMINISCENCIA**

1. Los poliminerales irradiados entre 1-40 kGy se analizaron las emisiones TL. Las muestras se leyeron en atmósfera inerte de nitrógeno para evitar señales espúreas debidas al medio ambiente. Los datos se almacenaron en la computadora.
2. Las lecturas de estos poliminerales se compararon con las lecturas de las muestras que se irradiaron y posteriormente se extrajo el polimineral.
3. Los parámetros del equipo Harshaw TLD 3500 para la realización de las lecturas fueron con un precalentamiento de 10 °C, una razón de calentamiento de 2 °C/s, y todas las lecturas fueron en el intervalo de 32 a 400 °C.
4. Los resultados que se obtuvieron del equipo lector Harshaw 3500 se procesaron y se analizaron. Finalmente se hizo una comparación y la discusión de los resultados que se presentan en el siguiente Capítulo.

## CAPITULO 3. RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DISCUSION

### 3.1.- CHILE GUAJILLO (*Capsicum annum*)

Utilizando la mezcla etanol-agua el rendimiento obtenido en la extracción del polimineral en el Chile guajillo (*Capsicum Annum*), fue de 6.3% mientras que para el Orégano (*Origanum vulgare L.*) fue de 8%. El color característico del polimineral extraído del Chile guajillo es de color café rojizo, en gránulos heterogéneos con puntos blancos brillantes. El peso de cada muestra de poliminerales extraídos se consideró en 0.042 g para cada lectura en la obtención de las emisiones termoluminiscentes en el equipo Harshaw TLD 3500.

Tabla 1.

MUESTRA	DOSIS (kGy)	TEMPERATURA (°C)		RESPUESTA (μC)	MAXIMA EMISION DE LA SEÑAL TL (u.a)	
<b>CHILE GUAJILLO POLIMINERAL</b>	0	Referencia		30.9 nC		
	1	193.9		26.8	317.6	
	2	189.1		45.7	573.6	
	4	186.0		72.6	965.8	
	6	179.9		115.3	1536.7	
	8	176.0		118.9	1581.0	
	10	202.9	313.0	106.0	1468.1	384.1
	12	172.2		161.2	2131.8	
	15	174.1		163.1	2145.5	
	20	172.1		184.2	2603.1	
	30	160.9	344.0	180.4	2418	362.4
	35	168.0	337.0	212.1	2761.8	396.1
	40	210.2	338.0	206.4	2502.8	573.3

Las muestras de polimineral del Chile guajillo fueron irradiadas de 1 a 40 kGy con <sup>60</sup>Co en el irradiador Gammabeam 651 PT. En la Tabla 1 observamos un aumento en la emisión de la señal TL conforme aumenta la dosis, es decir; a mayor cantidad de energía, mayor respuesta termoluminiscente. Sin embargo, a dosis altas (30kGy a 40kGy) el polimineral de las muestras

tiene una sensibilidad mayor mostrando dos emisiones, es decir, parte de la muestra está generando señal a mayor temperatura que la primera emisión. La respuesta del polimineral de referencia es poco significativa (30.9 nC) con respecto a las respuestas del polimineral irradiado mostrando que esta técnica es eficaz para la determinación de las muestras irradiadas.

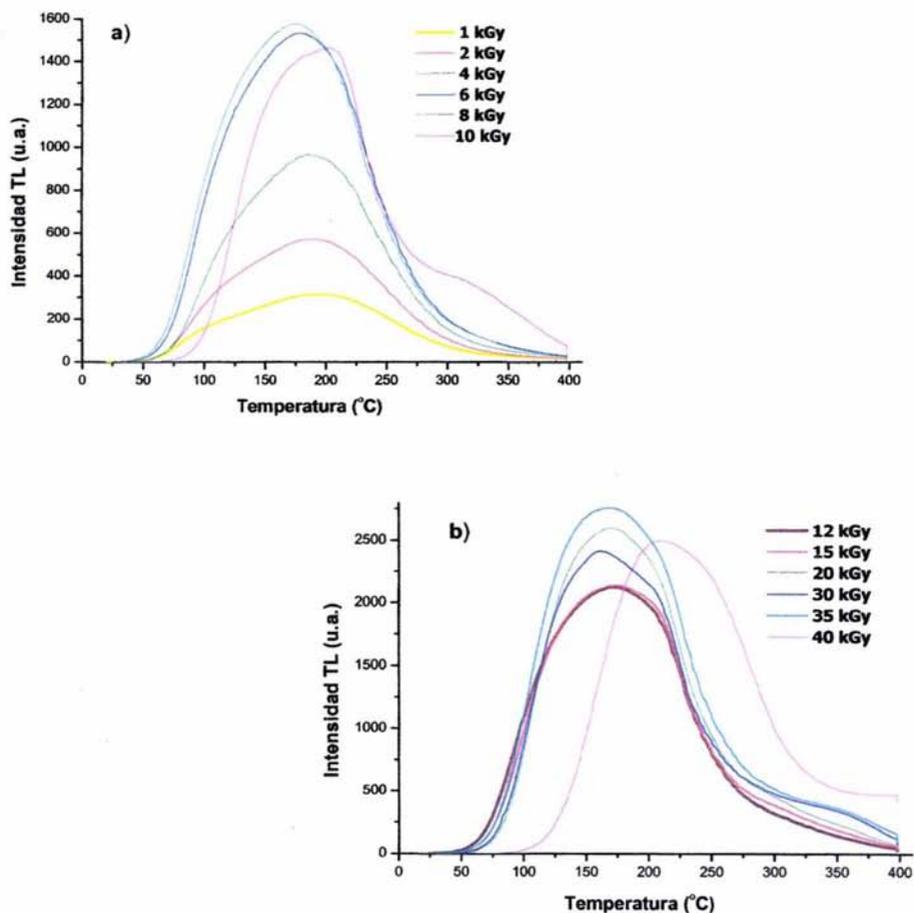


Figura 1. Detección TL del polimineral de Chile Guajillo: a) 1 a 10 kGy, b) 12 a 40 kGy.

El intervalo de temperatura donde se encuentran los máximos de las curvas de brillo están entre 172 a 210 °C, como se muestra en la Figura 1. Es de notar que la curva de brillo que corresponde a la dosis de 10kGy, tiene un desplazamiento a mayor temperatura ubicándose el máximo en 202 °C. Similar comportamiento presenta la curva de brillo correspondiente a 40kGy cuyo máximo se ubica en 210°C. En ambas dosis las respuestas TL disminuyen comparadas con las otras curvas de brillo de dosis diferentes. Al incrementar la dosis de irradiación, a 30,35 y 40 kGy, se nota que aparece un segundo pico en la emisión, éste se ubica entre 300 y 400 °C. A esas altas dosis el efecto de la radiación provoca la emisión de un segundo pico cuya emisión provendría de la saturación de los componentes de los poliminerales. Estos componentes aún no se han identificado, esto es, existe una fracción del polimineral que se satura en mayor proporción a dosis alta.

Tabla 2.

MUESTRA	DOSIS (kGy)	TEMPERATURA (°C)	RESPUESTA (μC)	MAXIMA EMISION DE LA SEÑAL TL (u.a.)		
<b>CHILE GUAJILLO MATERIA PRIMA</b>	0	Referencia	30.9 nC	-		
	1	208.1	18.4	272.9		
	2	200.9	31.5	503.0		
	4	201.1	64.0	1100.9		
	6	198.0	71.5	1206.7		
	8	205.9	76.6	1319.4		
	10	203.9	71.5	1225.6		
	12	206.0	103.9	1745.5		
	15	201.9	107.4	1788.9		
	20	214.0	302.0	149.5	2253.2	807.7
	30	205.9		156.4	2351.8	
	35	201.9	344.0	157.0	2334.2	524.2
	40	205.0	339.0	151.1	2362.4	602.7

Pero llama la atención que a dosis de 10 kGy ya se presente un segundo pico en la emisión, esto se debe posiblemente a que el polimineral tiene a esta dosis un inicio de saturación, lo cual se observó en la curva de respuesta con la dosis.

Como parte del procedimiento experimental en la detección de las especias irradiadas, consideramos un lote de muestras tal como provenía de la industria, a ese lote le denominamos “materia prima”. El cual fue irradiado a las mismas dosis y después se extrajo el polimineral siguiendo el mismo esquema del procedimiento experimental de extracción anterior.

De manera similar, al caso anterior en donde primero se extrajo el polimineral del Chile Guajillo, la “materia prima” irradiada cuyos poliminerales se analizaron también en el mismo equipo lector, los máximos de las emisiones TL que presentaron se ubicaron a diferentes temperaturas. En las dosis de 20, 35 y 40 kGy, nuevamente se muestran dos emisiones, Tabla 2, los segundos picos de mayor temperatura se ubicaron entre 302 y 344 °C. A estas dosis altas es claro que a 20 kGy existe una saturación de las emisiones del polimineral en las muestras. El comportamiento en general está de acuerdo con el caso en que primero los poliminerales fueron extraídos y luego irradiados.

En general las curvas de brillo, Figura 2, presentan las mismas formas que son emisiones características de los poliminerales del Chile guajillo, aun aumentando la dosis. Sin embargo, en 10 kGy la curva de brillo se ve disminuida comparada con la de 8 kGy. Esto pudiese deberse a una posible saturación de la emisión de los poliminerales. A mayores dosis, en 30, 35 y 40 kGy, las curvas de brillo son similares en la respuesta. Llama la atención que la “materia prima” se satura en 10 kGy lo cual coincide con la respuesta de saturación del polimineral. En las Figuras 1 y 2, el máximo de las emisiones se centran alrededor de 200°C. A altas dosis, 35 y 40 kGy, aparecen también emisiones de alta temperatura que están alrededor de 340 °C, tanto para el caso de la “materia prima” como para el polimineral. Al comparar las respuestas TL de la “materia prima” con el de polimineral, ambos del Chile guajillo en Figura 3 a), son muy similares y además fueron reproducibles en las lecturas. Las curvas de brillo conservan sus formas al aumentar la dosis.

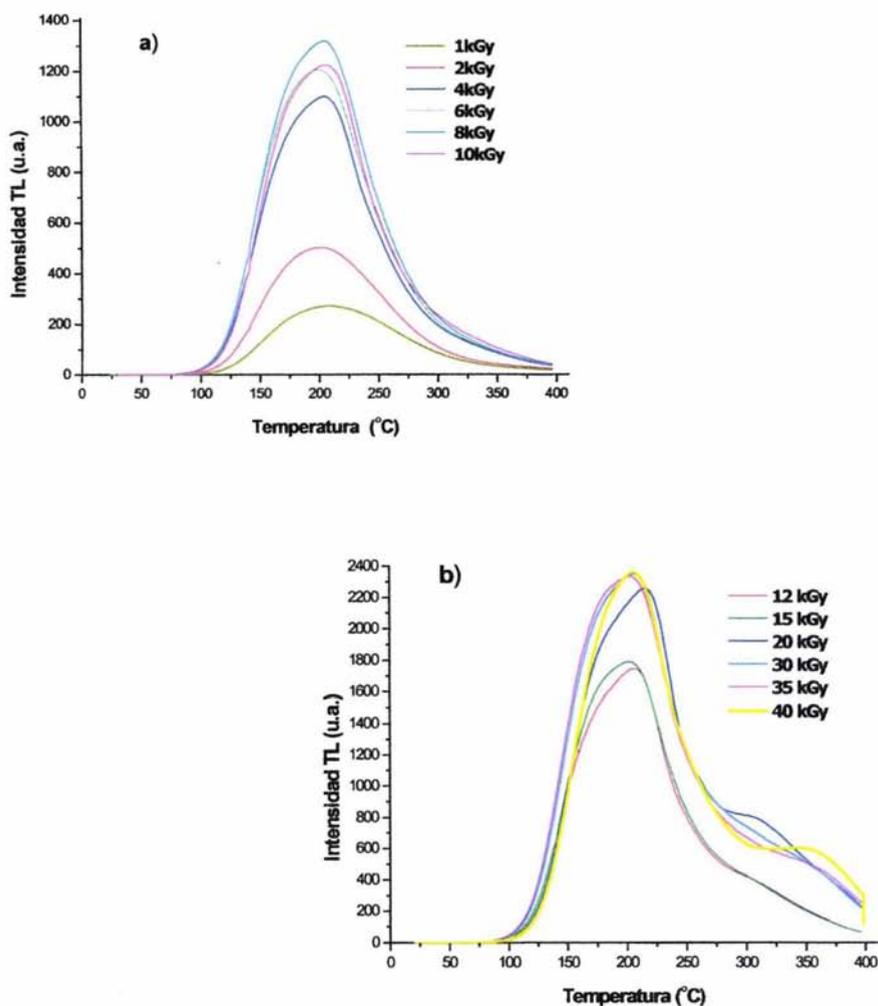


Figura 2. Emisión TL de la “materia prima” de Chile guajillo: a) 1 a 10 kGy, b) 12 a 40 kGy.

El comportamiento de las emisiones del Chile guajillo, polimineral y “materia prima” muestra claramente una saturación en 6 kGy. Este tipo de comportamiento ya había sido observado por otros autores en cuarzo y en feldspatos extraídos de sedimentos principalmente (27).

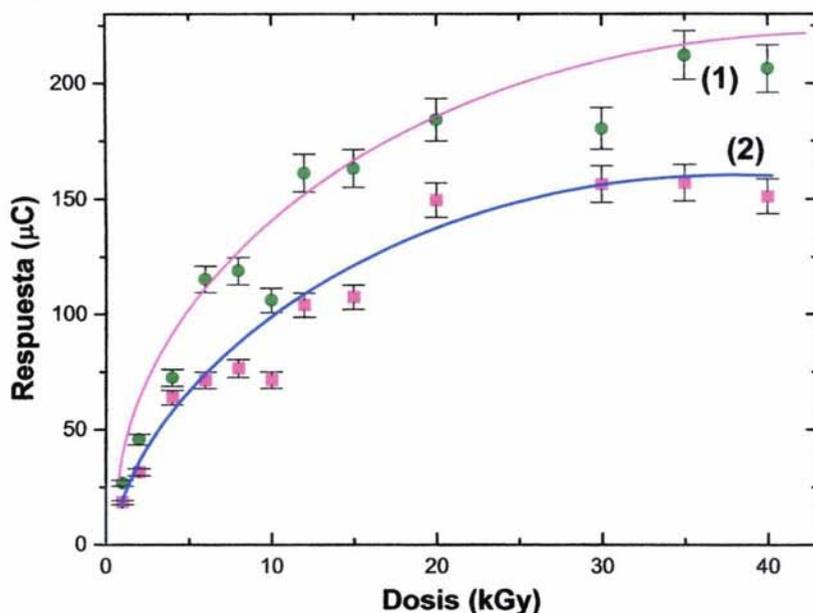


Figura 3.a Comportamiento de Chile Guajillo: 1) Polimineral, 2) "materia prima"; expuestos de 1 a 40 kGy.

Las emisiones de las curvas de brillo que obtuvimos crecen rápidamente y decaen entre 275 y 400 °C, mientras que el cuarzo natural proveniente de sedimentos los máximos de las emisiones se presentan alrededor de 300 a 400 °C y el decaimiento se ubican entre 400-650 °C. Mientras en el feldespato proveniente de los mismos sedimentos, los máximos de las emisiones se centran alrededor de 250 °C y el decaimiento rápido ocurre en 300 °C.

Estas emisiones hacen suponer que en los poliminerales de las muestras del Chile guajillo habría presencia de feldespatos en mayor proporción que cuarzo, además de otros compuestos posibles que todavía no se identifican. El aumento de la luminiscencia en las

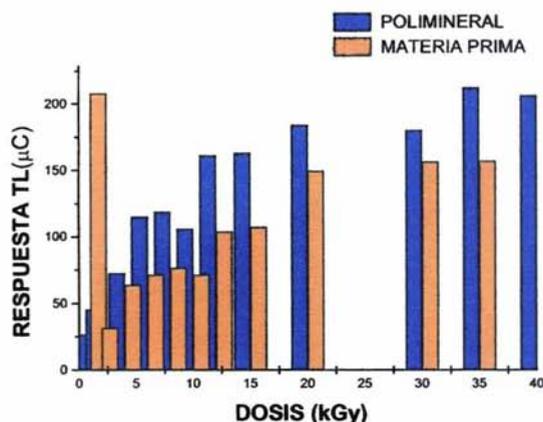


Figura 3.b Comparación del Chile Guajillo Polimineral y “materia prima”.

muestras se debe a las recombinaciones de defectos (que pueden provenir de compuestos complejos) inducidas térmicamente en los feldespatos. Mientras que el decaimiento de las señales TL o curvas de brillo, se deben a la disminución de la población de defectos generados o presentes en los poliminerales de las muestras a medida que se aumenta la temperatura de calentamiento en cada lectura en el equipo Harshaw 3500. Estos dos comportamientos le dan forma a la curva de brillo. Estas en general tienen una forma de distribución gaussiana debido a las recombinaciones al azar que ocurren en el polimineral. Cuando se comparan las respuestas TL de ambos lotes, “materia prima” y polimineral, éstas son distintas. La respuesta termoluminiscente del polimineral es mayor, como se aprecia en la Figura 3.b), esto indica que las emisiones son más eficientes en ausencia de materia orgánica. Pues al polimineral fue tratado antes de las lecturas. Fue sometido a 400 °C durante 30 minutos para eliminar la materia orgánica, mientras que la “materia prima” no recibió ningún tratamiento térmico previo para evitar la pérdida de la señal TL.

### 3.2.- DECAIMIENTO DE LA SEÑAL TL DE CHILE GUAJILLO

Como parte del análisis de las emisiones TL, se analizaron el comportamiento de la pérdida termoluminiscente en el tiempo dado que una pérdida total dificultaría la detección adecuada de los alimentos irradiados. Pues la señal TL representa una variable en el control de calidad de las especias irradiadas. Se analizaron las muestras del polimineral y de “materia prima”, éstas fueron aisladas en obscuridad y en las mismas condiciones de temperatura.

**Tabla 3.**

DECAIMIENTO DE LA SEÑAL TL A DOSIS DE 10kGy						
MUESTRA	TIEMPO (Días)	TEMPERATURA (°C)		RESPUESTA (µC)	MAXIMO DE LA SEÑAL TL (u.a.)	
CHILE GUAJILLO POLIMINERAL	1	202.9	-	106.0	1468.1	-
	9	206.9	-	76.5	1160.3	-
	22	205.0	-	70.9	1138.1	-
	40	206.9	-	64.0	1029.8	-
	43	206.7	285.0	62.0	1077.3	429.2
	50	213.1	303.0	58.6	870.2	350.4
	53	211.0	281.0	52.0	877.3	327.7
	57	214.9	293.0	51.8	809.9	327.9
	85	210.9	295.0	46.7	758.3	283.2
	89	210.9	301.0	45.8	729.0	255.5
	118	215.9	303.0	44.9	722.7	315.2
	175	227.3	308.0	38.6	649.4	255.8

Para las medidas de decaimiento de la TL se irradiaron las muestras a 10 kGy, en acuerdo al criterio de límite de la dosis que señala la Norma Oficial Mexicana. Las lecturas TL se realizaron en un intervalo de tiempo de 1 hasta 175 días para el polimineral y hasta 180 días para la “materia prima”. En el polimineral las emisiones TL se centraron entre 202 y 227 °C. En la “materia prima” entre 209 y 213 °C. Un segundo pico de la emisión se centró hacia mayor temperatura en ambos casos. En el polimineral el segundo pico se ubicó entre 281 y 308 °C y éste apareció transcurridos 43 días de almacenamiento (Tabla 3). Mientras que en la “materia prima” una indicación de un segundo pico apareció a 289 °C a los 30 días de almacenamiento, en días posteriores ese segundo pico ya no fue bien definido en las señales TL (Tabla 4).

Tabla 4.

DECAIMIENTO DE LA SEÑAL TL A DOSIS DE 10kGy						
MUESTRA	TIEMPO (Días)	TEMPERATURA (°C)		RESPUESTA (μC)	MAXIMO DE LA SEÑAL TL (u.a.)	
CHILE GUAJILLO MATERIA PRIMA	1	209.0		98.0	1634.6	
	30	209.0	289.0	85.3	1468.6	444.5
	37	210.9		73.6	1308.9	
	62	213.8		63.8	1167.3	
	93	213.9		49.4	935.4	
	180	213.0		44.3	829.1	

Como se observa en estas emisiones TL, Figura 4 y Figura 5, las curvas de brillo tienen sus máximos en un intervalo de temperatura que esencialmente coincide con las emisiones de feldespatos que ya fueron referidos anteriormente. En los dos casos, polimineral y “materia prima”, las señales disminuyen con el transcurso del tiempo de almacenamiento. La Figura 6 muestra el decaimiento rápido de ambos casos, siendo más evidente para el polimineral. Mientras que la “materia prima” presentó una pérdida más lenta de la señal. Las señales de 1 a 80 días se ven disminuidas más rápidamente y de 80 a 180 días las señales disminuyen lentamente. Este último comportamiento se atribuye a la recombinación de los defectos que todavía se tiene en los poliminerales de las muestras. Los cuales pueden durar mayor tiempo siempre que se guarden las mismas condiciones ambientales.

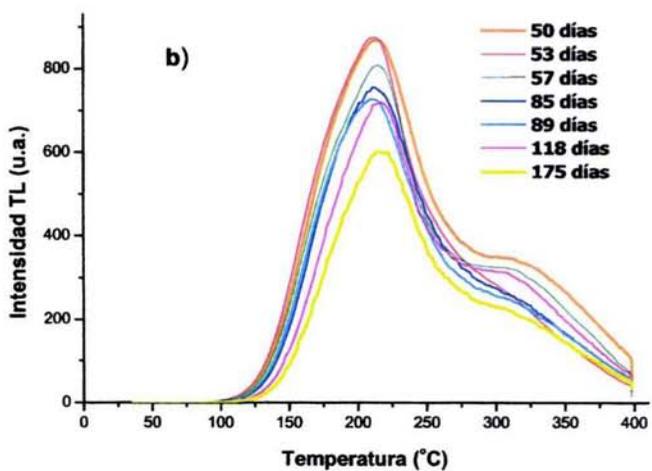
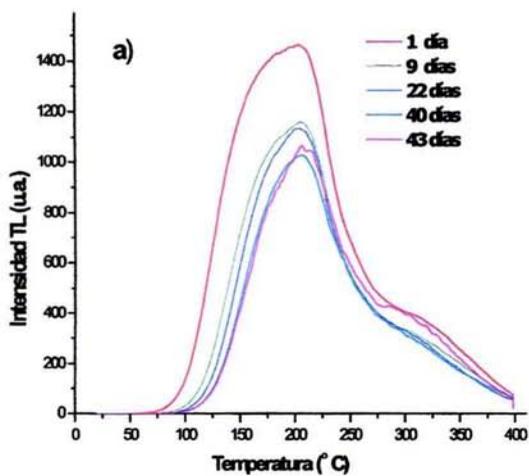


Figura 4. Curvas de decaimiento TL del polimineral de Chile Guajillo, irradiados a 10 kGy: a) desde 1 a 43 días, b) desde 50 a 175 días.

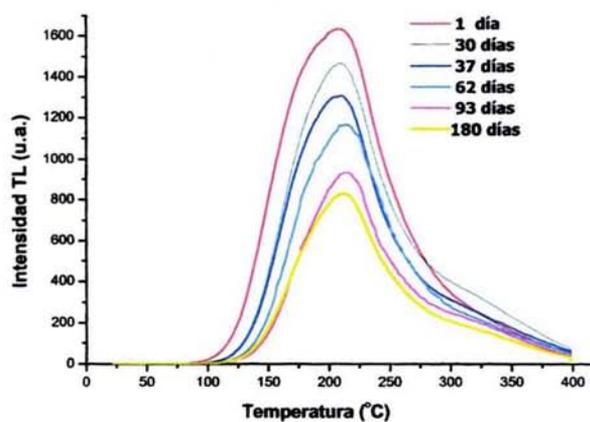


Figura 5. Decaimiento TL de “materia prima” del Chile guajillo desde 1 a 180 días

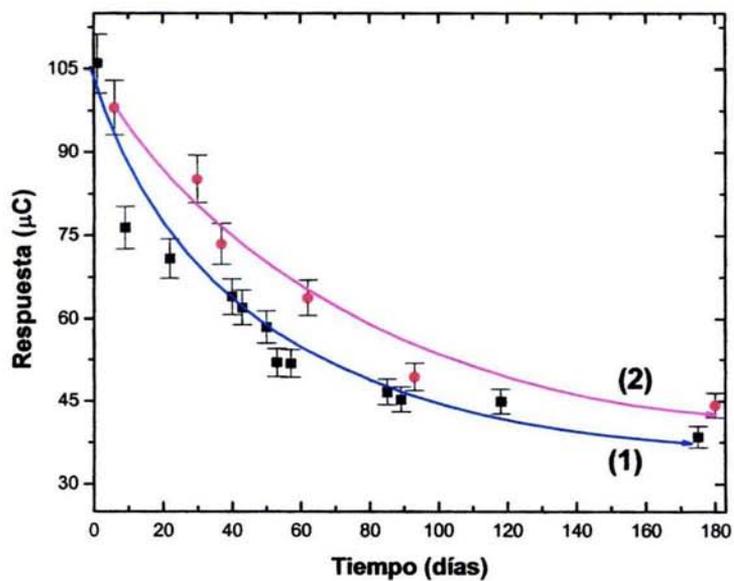


Figura 6. Respuesta del decaimiento TL del Chile Guajillo expuesto a 10 kGy: 1) Polimineral “materia prima”.

La “materia prima”, Figura 6, presentó mayor respuesta que el polimineral. Este comportamiento se debió a que la “materia prima” presentaba mayor cantidad de residuos orgánicos propios de la muestra que en el lote de polimineral. Dado que en el caso del polimineral, éste fue mejor limpiado, pues en el caso de la “materia prima” una mejor manipulación en el laboratorio llevaba el riesgo de perder la información TL inducida por la irradiación.

### 3.3.- OREGANO (*Origanum vulgare L.*)

El polimineral del *Origanum vulgare L.* es de color café, con gránulos finos, su rendimiento resultó más alto en comparación con el de chile guajillo (8%). El polimineral sin irradiar tiene una respuesta de 56.8 nC, el cual es pequeño comparado con el valor de las muestras que fueron irradiadas. Esto hace la diferencia y permite discernir las muestras irradiadas de las que no fueron expuestas a la radiación.

Las emisiones TL de los poliminerales del Orégano, muestran un orden creciente en su forma de la curva de brillo entre las dosis de 1-6 kGy y los máximos se centraron en un intervalo de 177-216 °C, como se señala en la Tabla 5. En la dosis de 8 y 10 kGy las curvas de brillo exhiben un corrimiento hacia temperatura baja, entre 133-135 °C. Esto hace suponer que las muestras de polimineral del Orégano presentan una saturación a la respuesta a la radiación gamma a partir de 8 kGy, como se exhibe en la Figura 6.a), donde además se muestra claramente un ensanchamiento de las curvas TL a dosis de 8 y 10 kGy.

**Tabla 5.**

MUESTRA	DOSIS (kGy)	TEMPERATURA (°C)		RESPUESTA (μC)	MAXIMA EMISION DE LA SEÑAL TL (u.a.)	
OREGANO POLIMINERAL	0	Referencia		56.8 nC	-	
	1	177.9		12	137.5	
	2	200		22.6	254.7	
	4	216.9		41.9	502.5	
	6	206		54.7	700.4	
	8	134.9		84.5	1178	
	10	133.3		89.1	1211.9	
	12	138.9		134.0	1751.7	
	15	127.1		116.7	1652.3	
	20	135.6		135.6	1919.7	
	30	136.9		123.6	1702.9	
	35	141	355	124.2	1643.4	200
	40	131.5	335	107.4	1525.5	194

A dosis altas, de 12-40 kGy, las emisiones TL centraron sus máximos entre 127-141 °C. En 35 y 40 kGy las emisiones TL mostraron un segundo pico de alta temperatura, en 335 y 355 °C, Figura 6.b). Este último comportamiento indica que se ha inducido un daño severo en los poliminerales del Orégano lo que hace aparecer finalmente dos picos de las emisiones TL. Similar comportamiento al indicado en el caso del Chile guajillo. Las curvas TL del Orégano a dosis altas se ensanchan nuevamente entre 60 y 300 °C y además el segundo pico de alta temperatura que aparece hace interesante a este tipo de emisiones TL.

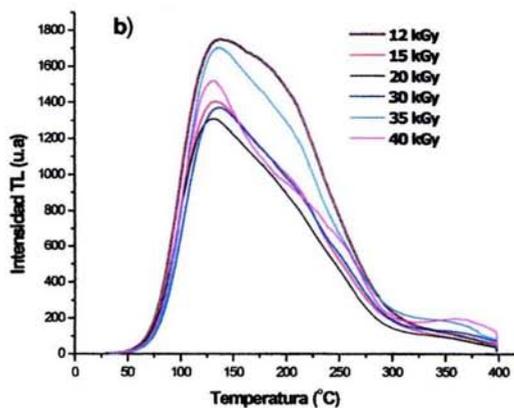
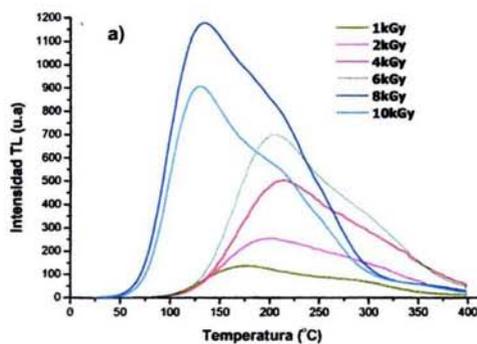


Figura 6. Polimineral del Orégano: a) dosis de 1 a 10 kGy, b) dosis de 12 a 40 kGy.

En el caso del Orégano, también se irradiaron las muestras tal como provenían de la industria y enseguida se extrajeron los poliminerales, a éstos poliminerales extraídos le llamamos “materia prima”.

Los poliminerales “materia prima” se expusieron primero a dosis de 1 a 10 kGy. Las curvas TL presentaron máximos entre 203-235 °C (Tabla 7). En promedio puede decirse que las emisiones TL entre 1-8 kGy muestran un promedio del máximo alrededor de 219 °C. Sin embargo a 10 kGy, la emisión TL presenta un ligero recorrido a mayor temperatura, centrándose en 221 °C como se aprecia en Figura 7.a).

Tabla 6.

MUESTRA	DOSIS (kGy)	TEMPERATURA (°C)	RESPUESTA (µC)	MAXIMA EMISION DE LA SEÑAL TL (u.a.)		
OREGANO MATERIA PRIMA	0	Referencia	56.8 nC	-		
	1	235.0	7.4	97.3		
	2	228.0	16.4	228.6		
	4	218.9	13.7	181.3		
	6	203.0	29.5	484.5		
	8	209.9	22.7	352.2		
	10	221.1	36.7	576.7		
	12	217.0	34.4	536.5		
	15	193.0	26.8	405.7		
	20	205.1	38.7	604.0		
	30	212.0	331.0	52.7	793.2	193.6
	35	210.7	329.0	55.3	816.4	220.1
	40	233	327.0	34.1	511.4	98.0

A dosis altas, entre 30-40 kGy, existe otro pico que acompaña a la emisión máxima TL de la “materia prima” como se exhibe en la Figura 7.b). Las emisiones TL a éstas dosis se ubican entre 211-233 °C y la segunda emisión entre 327-331 °C. En general, las emisiones TL crecen conforme a la dosis pero se modifica la estructura de las emisiones. Una posible atribución puede deberse a que en estas muestras estaban presentes mayor cantidad de materia orgánica todavía que en el caso del polimineral analizado arriba. Posiblemente algunos compuestos de restos orgánicos tales como una saturación de H y C pudieron estar jugando un papel de “estabilizador”

de los defectos generados por la radiación en las muestras. Esto puede llevar a presentar una tendencia mejor de las señales TL. En general, el análisis de la detección por TL muestra una buena tendencia de las emisiones TL para el Orégano. Esto hace que la termoluminiscencia sea un método eficiente para la detección de las especias irradiadas, en particular del Orégano también.

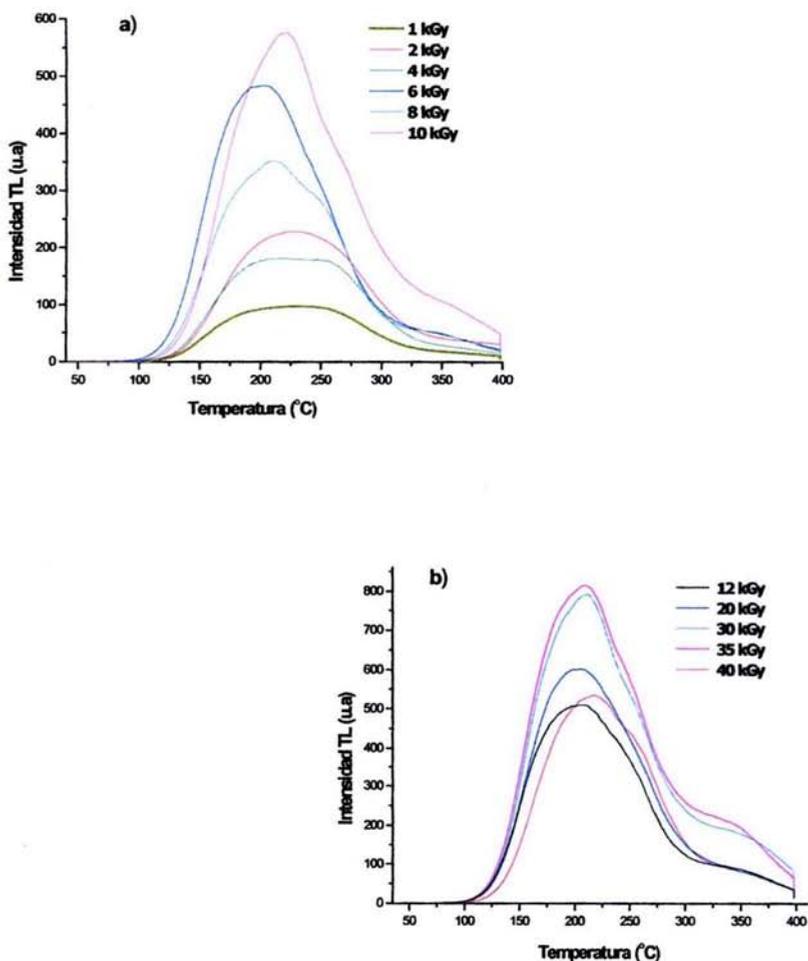


Figura 7. "Materia prima" del Orégano: a) dosis de 1 a 10 kGy , b) dosis de 12 a 40 kGy.

Al analizar la respuesta TL a la dosis, se encontró que la “materia prima” del Orégano tiene un comportamiento lineal hasta 6 kGy. A partir de 8 kGy presenta una saturación de la respuesta TL, como se muestra en la Figura 8.a). A dosis mayor de 20 kGy, la “materia prima” muestra una gran saturación a la irradiación, generando un efecto de pérdida relativa de la señal TL en la muestra.

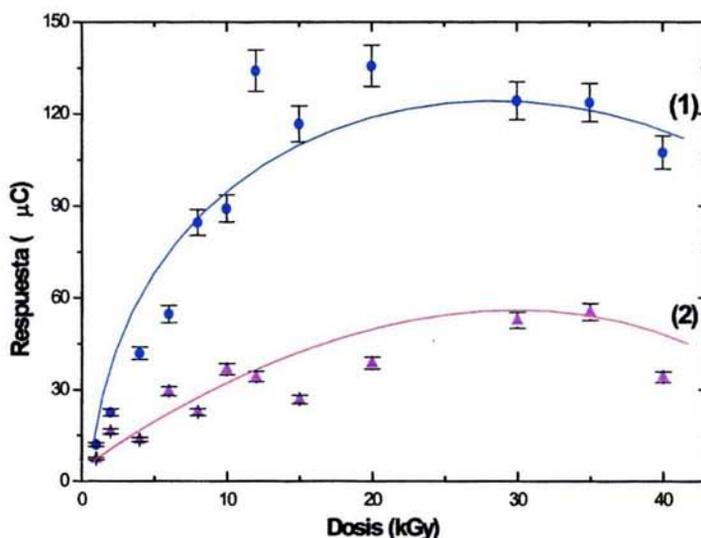


Figura 8.a. Respuesta TL del Orégano a dosis de 1 a 40 kGy: 1) Polimineral, 2) “Materia prima”.

Al comparar la respuesta TL de ambos poliminerales del Orégano, “materia prima” y polimineral (Figura 8.b), se observa que existe una mayor emisión TL de la respuesta del polimineral que de la “materia prima”. Esto indica que la “materia prima” todavía estaban presentes restos de materia orgánica que pudiera disminuir a las emisiones TL de las muestras analizadas.

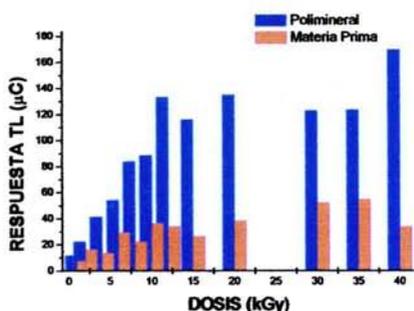


Figura 8.b. Comparación de la respuestas TL entre “materia prima” y polimineral de Orégano.

### 3.4 DECAIMIENTO DE LA SEÑAL TL DE OREGANO

Tabla 7.

DECAIMIENTO DE LA SEÑAL TL A DOSIS DE 10kGy				
MUESTRA	TIEMPO (Días)	TEMPERATURA (°C)	RESPUESTA (µC)	MAXIMO DE LA SEÑAL TL (u.a.)
ORÉGANO POLIMINERAL	1	201.6	41.6	539.5
	6	192.9	36.7	502.9
	9	200.9	29.9	405.7
	40	245	26.1	377.3
	50	214.9	24.4	331.1
	85	219	24.7	375.9
	118	215.7	23.3	352.7
	160	218	15.7	244.9

Para el polimineral, se realizó un seguimiento de la señal TL conforme transcurre el tiempo de almacenamiento en obscuridad. Para el decaimiento de la señal TL se irradiaron las muestras de polimineral a la dosis de 10 kGy, las respuestas se anotaron en la Tabla 7. Se consideró la dosis de 10 kGy de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana que establece como límite de irradiación para las especias. Las señales TL del decaimiento entre 1-50 días se centraron entre 193-245 °C, y presentaron un decaimiento apreciable en ese período de almacenamiento, Figura 9.a). Entre 50 y 85 días la señal TL del polimineral es estable, es decir no presenta cambios apreciables en el

tiempo de almacenamiento. De 85 a 160 días, Figura 9.b), la forma de las curvas TL son muy similares centrándose el máximo en 216-219 °C. Transcurridos 160 días las señales TL disminuyeron fuertemente, la respuesta fue 15.7  $\mu\text{C}$  la cual es todavía muy fácil de distinguir respecto a la lectura de fondo de  $4\text{E-}3 \mu\text{C}$  de la misma muestra. Las lecturas de fondo de las demás muestras estuvieron siempre del mismo orden. Esto indica que aún transcurridos 160 días de almacenamiento, las emisiones TL de las muestras todavía son detectables.

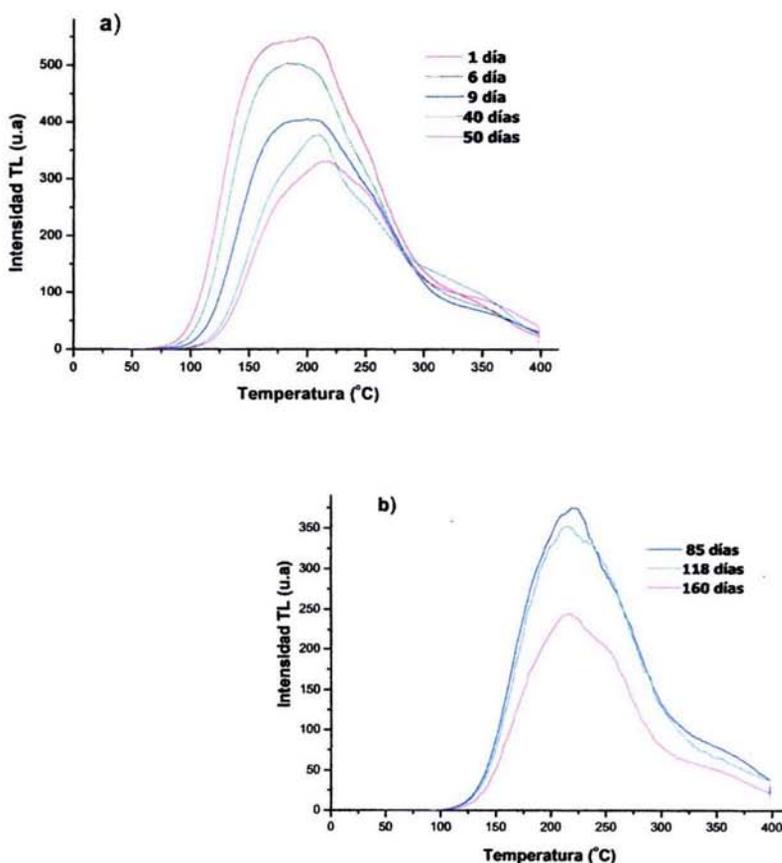


Figura 9. Decaimiento TL del polimineral de Orégano a 10 KGy: a) 1 a 50 días , b) 85 a 160 días.

A temperaturas altas, en 350 °C, las curvas del decaimiento presentaron un ensanchamiento semejante a un posible pico de emisión. Sin embargo, no fue clara la emisión por lo que no se consideró como un pico de emisión TL de los poliminerales.

Similarmente para la “materia prima” del Orégano se almacenó en las mismas condiciones que el polimineral anterior. El decaimiento TL de la “materia prima” fue seguido entre 1-118 días. En los primeros días la pérdida de la señal fue rápida, sin embargo a partir de 107 días la señal muestra cierta estabilidad, Tabla 7. Comparada con el decaimiento de la señal del polimineral, la señal TL de la “materia prima” es menos intensa.

**Tabla 8.**

DECAIMIENTO DE LA SEÑAL TL A DOSIS DE 10kGy				
MUESTRA	TIEMPO (Días)	TEMPERATURA (°C)	RESPUESTA (µC)	MAXIMO DE LA SEÑAL TL (u.a.)
ORÉGANO MATERIA PRIMA	1	246	39.8	660
	12	199	34.8	508.3
	20	211	30.4	439.4
	22	211	26.8	369.4
	43	221	23.9	360.2
	48	215.3	23.2	337.6
	50	220.7	23	335.1
	64	269	22.3	318.7
	107	218.9	20.8	324.8
	113	222.8	17.7	273.8
	118	240	17	241.9

Las curvas de brillo de la “materia prima” del Orégano que se obtuvieron del decaimiento de la respuesta, Figura 10.a), muestra que al inicio (día 1) la respuesta es alta comparada con las emisiones TL de los días posteriores, y se centró en 246 °C. Posteriormente el máximo de las curvas de TL se movieron a menor temperatura alrededor de 215 °C. Al transcurrir el tiempo de almacenamiento, las señales TL se centraron alrededor de 222 °C. Este comportamiento, se debe posiblemente a la estabilización de los defectos en los poliminerales extraídos de “materia prima”. Esto es, existe un envejecimiento de los poliminerales durante el almacenamiento. De 64

a 118 días, Figura 10 b), se observó cierta emisión alrededor de 350 °C, pero no se puede distinguir con claridad los picos, probablemente durante el decaimiento TL de las muestras se generan las señales a esta alta temperatura, todas las curvas presentaron un ensanchamiento similar debido a la presencia de los compuestos asociados al polimineral de las muestras.

Las características de ambas curvas de brillo, Figura 9 y 10, son anchas con un intervalo de temperatura desde 100-325 °C. También presentaron una posible segunda emisión alrededor de los 320-350 °C. Ambos comportamientos denotan una disminución progresiva con respecto al tiempo de almacenamiento de las muestras poliminerales y “materia prima”.

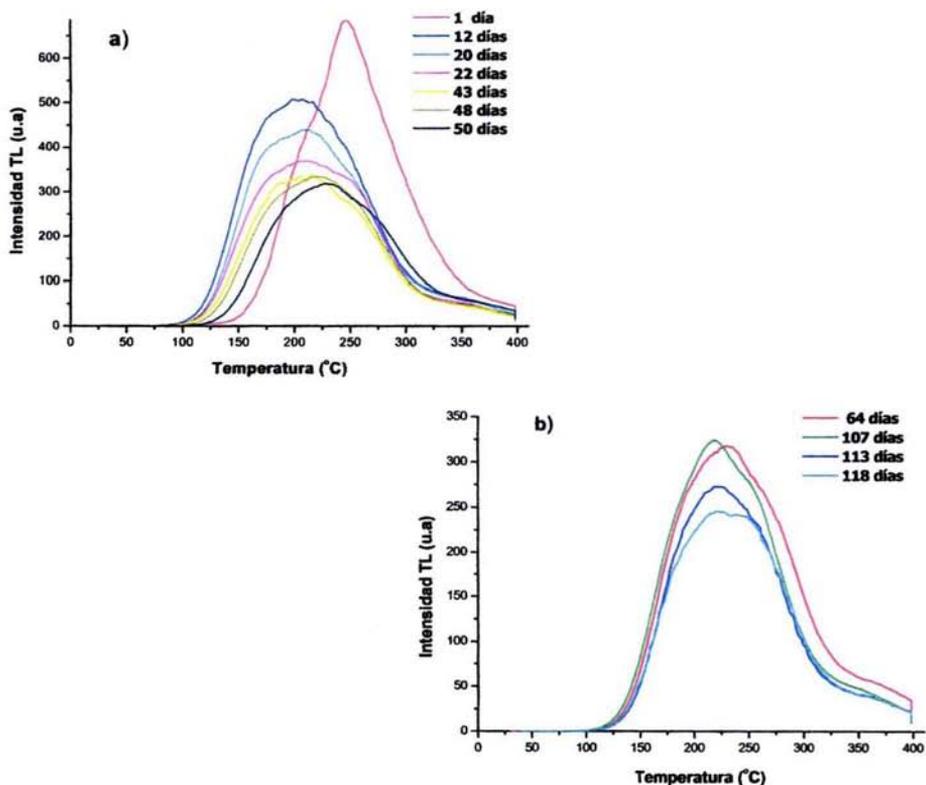


Figura 10. Decaimiento TL de Orégano “materia prima” a 10 kGy: a) 1 a 50 días, b) 64 a 118 días.

Al realizar la comparación de los decaimientos TL de la respuesta del polimineral y de la “materia prima”, Figura 11, se observó que la materia prima pierde más rápido la señal TL. Transcurridos 9 días la señal TL del polimineral decae rápidamente comparada con las señales de Orégano. Es de señalarse que después de 40 días el comportamiento del polimineral cambia y las señales decaen más lentamente que las de “materia prima”. Esto indica que existe mayor emisión TL en el polimineral puro que en la “materia prima”. En el día 118 se tuvo una respuesta de la materia prima de 17  $\mu\text{C}$  mientras que el polimineral al mismo tiempo presentó 23.3  $\mu\text{C}$  en la respuesta TL. Sin embargo desde el inicio las señales TL de la “materia prima” presentaron menor emisión TL respecto a la de los poliminerales. Esto indica que las emisiones TL son menos eficientes cuando se tiene la extracción a partir de la materia prima irradiada que se ha denominado “materia prima”, en donde estarían presentes fracciones minerales acompañadas todavía de restos de materia orgánica lo que provoca una disminución de las señales TL.

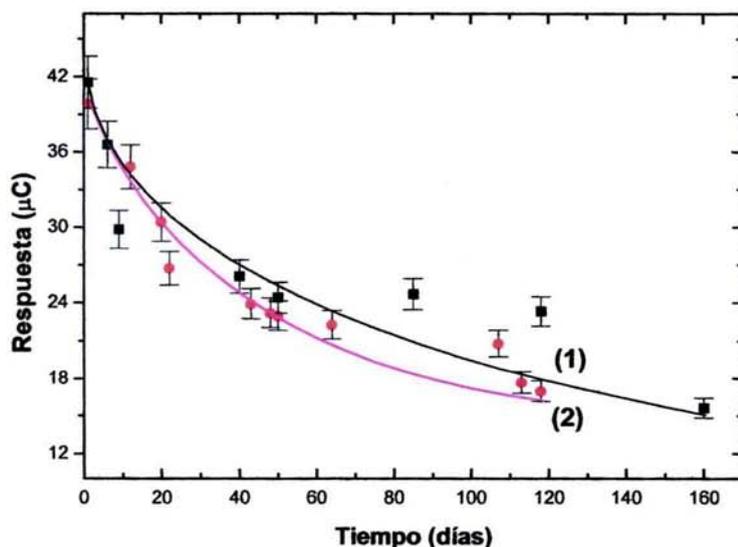


Figura 11. Decaimiento del Orégano a 10 kGy: 1) Polimineral y 2) “Materia prima”.

### 3.5 COMPARACION DE LA EMISION TL ENTRE CHILE GUAJILLO Y OREGANO.

Se consideraron tres dosis distintas, 2, 10 y 35 kGy, de las muestras polimineral y “materia prima” del Chile guajillo y Orégano. Esto con el fin de mostrar las similitudes y diferencias de las emisiones TL de las muestras, lo cual nos permite hacer una comparación entre las emisiones de los poliminerales de las muestras.

El comportamiento de las emisiones TL de los poliminerales siempre fueron mayor que las emisiones TL de la “materia prima”, tanto en Chile guajillo como en Orégano. Para 2 kGy, Figura 12.1, las emisiones de los poliminerales se desplazan a menor temperatura. La curva de brillo TL del polimineral de Chile guajillo se centró en 188 °C y la correspondiente de Orégano se situó en 206 °C. Mientras que la “materia prima” del Chile guajillo estuvo en 200 °C y del Orégano en 229 °C. Así, las emisiones TL de los poliminerales mostraron un mejor

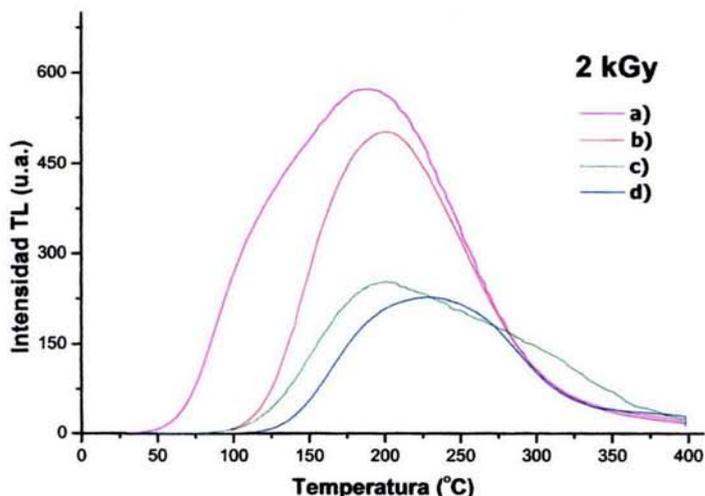


Figura 12.1. TL de Chile guajillo y Orégano expuestos a 2kGy: **a)** Polimineral de Chile guajillo, **b)** “materia prima” de Chile guajillo, **c)** Polimineral de Orégano, **d)** “materia prima” de Orégano.

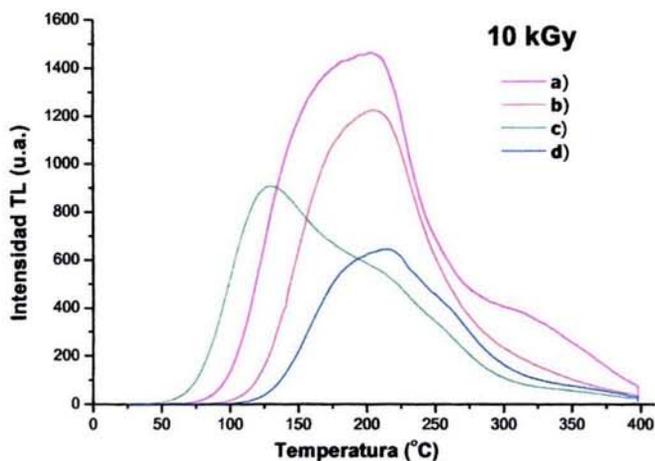


Figura 12.2. TL de Chile guajillo y Orégano expuestos a 10 kGy: a) Polimineral de Chile guajillo, b) “materia prima” de Chile guajillo, c) Polimineral de Orégano, d) “materia prima” de Orégano.

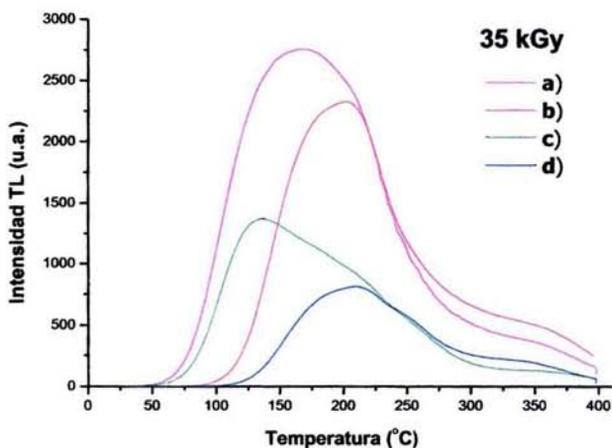


Figura 12.3. TL de Chile guajillo y Orégano expuestos a 35 kGy: a) Polimineral de Chile guajillo, b) “materia prima” de Chile guajillo, c) Polimineral de Orégano, d) “materia prima” de Orégano.

comportamiento, mientras que la “materia prima” las emisiones TL se desplazaron a un intervalo entre 200-229°C.

Cuando los poliminerales fueron expuestos a 10 kGy, siguieron el mismo comportamiento de mayor emisión TL que la “materia prima”, Figura 12.2. En el caso del Chile guajillo la emisión TL del polimineral se centró en 199 °C y en el Orégano la emisión TL del polimineral estuvo en 131 °C. En la “materia prima” del Chile guajillo la emisión TL se centró en 202 °C y en el Orégano se centró en 213 °C. Mientras que a dosis de 35 kGy, Figura 12.3, el polimineral del Chile guajillo ubicó su máximo en 170 °C y el de Orégano estuvo en 139 °C. Para la “materia prima” el máximo de la TL del Chile guajillo se centró en 202 °C y para el Orégano en 211 °C. Cabe señalar que en el caso del polimineral las emisiones TL fueron mayores que las de Orégano. Esto debido a que el polimineral del Orégano es menos eficiente en las emisiones. Similar comportamiento se observó para el caso de la “materia prima”.

Todas las emisiones TL de las muestras mencionadas fueron entre 60-380 °C, en este intervalo de temperatura las emisiones se han atribuido a las emisiones de mezclas de feldespatos sódicos, Ca-Na, y potásicos, así como de cuarzo (28). De acuerdo a los resultados de la literatura (9), los minerales por separado, tales como el feldespato potásico emite una señal TL entre 200-400 °C y el máximo de la TL se sitúan entre 270-280 °C, y el cuarzo emite una TL muy ancha entre 200-350 °C su máximo alrededor de 300 °C. En mediciones encontradas en la literatura, se muestra que la mayor contribución en las emisiones TL provienen del feldespato potásico principalmente, que por lo general está presente en los poliminerales extraídos. Los datos de emisiones TL mencionadas son de muestras europeas. Hay que señalar que la proporción de un mineral u otro, depende de las zonas geográficas donde fueron crecidas las especias, por ejemplo la TL del Orégano europeo normalmente se centra en 281 °C, mientras que en nuestras muestras la TL del Orégano está en 211 °C. La concentración de un tipo de mineral u otro mayor influye fuertemente en las emisiones TL que se obtienen para detectar a las especias. Los resultados que se han obtenido en esta tesis están de acuerdo con los encontrados en trabajos previos (29,30) donde el polimineral del Chile guajillo, cuyo tamaño de grano se eligió entre 2-10 $\mu$ , fue irradiado a 10 kGy, y presentó la emisión máxima de la TL en 200 °C. Cabe decir que en el presente caso no se eligió un tamaño de grano definido, sino que se analizaron todos los tamaños de grano tal

como se extraían de las muestras. Los segundos picos TL encontrados en las muestras, pueden atribuirse a la emisión del cuarzo principalmente. Aunque en el caso del Orégano no disponemos de resultados previos, pero es claro que las emisiones TL son atribuidas a los minerales referidos. Es de llamar la atención que las emisiones del Orégano no siempre coincidieron en los máximos y presentaron mayores desplazamientos en temperatura, esto hace indicar que posiblemente el tamaño de partícula influye fuertemente en las emisiones TL. A partir de este comportamiento anómalo, se puede proponer analizar la influencia en la TL del tamaño de grano de los poliminerales.

En esta tesis se trabajó con muestras de Chile guajillo y Orégano Mexicanos, sin embargo la naturaleza de las especias en general son similares por lo que se esperó que los resultados de las emisiones TL también sean similares.

## CONCLUSIONES

La metodología es eficiente para la extracción de los poliminerales. Los reactivos son reciclables y sin efecto nocivo al medio ambiente. La extracción de los poliminerales se realiza en tiempo breve, en 24 h, así como el análisis TL para la detección de las especias.

El proceso de irradiación no modificó las cualidades del producto como el color, textura y aroma, lo que permitió también un manejo sencillo de las muestras. La metodología y el análisis de detección de los poliminerales de las especias son válidos para el estudio o la detección por TL de especias que contengan poliminerales.

La metodología de extracción puede mejorarse, puntualizando los tiempos del lavado por 40 minutos en peróxido a velocidad media de agitación, enseguida realizar doble lavado en agua bidestilada. Se obtuvo un rendimiento mayor de 8% del Orégano mientras que en el Chile guajillo fue de 6.3%. Esta diferencia se debió en parte importante a que el Chile guajillo se trabajó en malla 60 (250  $\mu\text{m}$ ), y el Orégano en malla 100, tal como provenía de la industria.

Se observó que los poliminerales del Orégano y Chile guajillo se saturaron a 6 kGy mientras que para la “materia prima” la respuesta de saturación ocurrió en 8 kGy. Este comportamiento es atribuido a que en la mezcla de los poliminerales, éstos por separado presentan saturación cercana a esos valores mencionados. La calcita o feldespato cálcico, por ejemplo, se satura en 6 kGy, pero el feldespato potásico, la pagioclasa, la illita y el cuarzo se saturan alrededor de 3 kGy (31). Es de esperar que la mezcla natural en las muestras polimineral del Orégano y Chile guajillo presenten una saturación cercana a ese intervalo de 3-6 kGy. Ante esta situación, sería conveniente buscar el comportamiento de linealidad de las muestras ante la exposición con radiación gamma.

Del trabajo de esta tesis se puede decir que es posible detectar especias o alimentos que hayan sido irradiadas a partir de las señales TL de sus poliminerales, pero no determinar la cantidad de dosis a las que fueron expuestas las muestras. Para eso se requeriría realizar una estimación de la dosis retrospectiva, siendo de utilidad la metodología y la técnica TL que se ha desarrollado en esta Tesis.

A manera de resumen se pueden citar los siguientes logros de ésta tesis:

- 1).- La metodología de la extracción del polimineral con mezcla Etanol-Agua mostró resultados satisfactorios, y se evitó usar Tetracloruro de Carbono ( $\text{CCl}_4$ ) que facilita la extracción pero es altamente tóxico al ambiente y cancerígeno al ser humano.
- 2).- Los poliminerales “materia prima” resultaron muy estables para su identificación en el equipo de termoluminiscencia y sus emisiones en general son reproducibles al ser comparadas con los poliminerales solamente extraídos.
- 3).- El fenómeno de la Termoluminiscencia, como técnica en laboratorio, permitió el análisis de todos los poliminerales extraídos.
- 4).- Sin duda la técnica basada en la TL es un método efectivo para identificar especias como el Orégano y Chile guajillo expuestas a la radiación gamma.

5).- La respuesta TL de poliminerales y los de “materia prima” del Chile guajillo y Orégano son detectables aún transcurridos 160 días de almacenamiento.

6).- La metodología que se presenta en esta tesis puede ser útil como un método de control de calidad en la detección de alimentos irradiados, en particular, en las especias estudiadas en este trabajo.

7).- Otro logro importante de la investigación con el fenómeno TL, es que me ha permitido escribir mi tesis con el pretexto de graduarme. Sin duda el mundo de la investigación y la tecnología de preservación por irradiación de los alimentos me ha sorprendido por la posibilidad de la detección de los alimentos irradiados.

De los posibles trabajos que todavía pueden realizarse, estarían la exposición de las muestras polimineral y “materia prima del Chile guajillo y Orégano a distinto medio ambiente. Por ejemplo, estudiar las respuestas al blanqueo con luz solar de todas las muestras, y el comportamiento TL de las muestras a la humedad. También, dado que en este tesis se analizaron las emisiones TL de los poliminerales tal cual se extrajeron sin selección de granos, sería interesante analizar la influencia en la TL del tamaño de partícula o grano de los poliminerales de las muestras. Finalmente las condiciones mencionadas, como variables por controlar, permitirían simular las condiciones industriales de medio ambiente a la que son sometidos frecuentemente los productos o alimentos basados en Chile guajillo y Orégano.

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- Maurer, F. *On the sterilization of spices*. Ernährungswirtschaft. Ministry of Health Committee on Medical and Nutritional Aspects of Food Policy. 5, 45 (1958)
- 2.- OMS. Serie de Informes Técnicos, n. 604. *La Comestibilidad de los alimentos irradiados: informe del Comité Mixto FAO/ OIEA/ OMS de expertos*. Organización Mundial de la Salud, Ginebra. (1981)
- 3.- Loaharanu, P. *Prospects of international trade in irradiated foods*. Radiat. Phys. Chem., Vol. 35, No.1-3, 223-231 (1990)
- 4.- *Norma Oficial Mexicana NOM-033-SSA01-1993*. Diario Oficial de la Federación (1995).
- 5.- Cruz Zaragoza. E. *Rentabilidad de un irradiador de Co-60 Semi-industrial tipo Gammabeam 651 PT*. Seminario Nacional Aceptación y Comercio de Alimentos Irradiados. Toluca, Estado de México. Memorias pp.97-102 (1997)
- 6.- Mc. Laughlin W. L. *Dosimetry for Radiation Processing*. London. pp.60-75 (1989)
- 7.- Alan Martin & Harbison Samuel. *Introduction to Radiation Protection*. Science Pa. Rebackes. Cap.2, pp.9-23 (1979)
- 8.- International Atomic Energy Agency. *Training Manual on Food Irradiation Technology and Techniques*. Series No. 114. Vienna, pp.29-32, 118-124. (1970)
- 9.- Calderón García T. *La Irradiación de Alimentos*. Edit. Mc Graw Hill / Interamericana de España, SAU, 31, 71, 126-129 (2000)

- 10.- Romo de Vivar Alfonso. *Productos Naturales de la Flora Mexicana*. Limusa, México, pp. 30-35, 45,60-63. (1985).
- 11.- Sasián, R. *Capsicum en México, situación actual*. Tecnología de Alimentos. Vol. 27, No. 1-2 y 3. pp. 50-56 (1992).
- 12.- Choppin G. & Rydberg J. *Nuclear Chemistry Theory and Applications*. Pergamon Press. London. pp. 12-18, 58-64 (1980).
- 13.- Kálmán I. *Electron beam dosimetry in the ranges 1 to 10 MeV and 0.1 to 10 kW*. Proceedings of an International Symposium on High-Dose Dosimetry. IAEA-SM 272/31. 8-12 October 1984. Vienna . pp.85-91. (1985)
- 14.- Attix Frank. H. *Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry*. John Wiley & Sons. New York. pp.219-228 (1986).
- 15.- Rangel J. y Cruz-Zaragoza E. *Revisión y puesta en operación del Gammabeam 651PT del Instituto de Ciencias Nucleares, UNAM*. VI Congreso Nacional sobre Dosimetría Termoluminiscente. Ciudad de México, 13 y 14 de Septiembre (1993).
- 16.- E.Cruz Zaragoza y F.García Flores. *Seguridad y operación del Irradiador Gammabeam 651 PT del Instituto de Ciencias Nucleares UNAM*. Informe Técnico ICNUNAM-UI-I-99. Unidad de Irradiación y Seguridad Radiológica del Instituto de Ciencias Nucleares (1999).
- 17.- Draganic G. I. & Draganic D.Z. *The Radiation Chemistry of Water*. Academic Press Inc. London. pp.23-35 (1971).
- 18.- Spinks J.W. & Woods R. J. *Introduction to Radiation Chemistry*. John Wiley and Sons. Inc. pp.95-109 (1990).

- 19.- Miller A. & McLaughlin W. *Evaluation of Radiochromic Dye Films and other Plastic dose Meters under Radiation Processing Conditions*. Technical Reports Series No. 205. High-Dose Measurements in Industrial Radiation Processing. International Atomic Energy Agency. Viena. pp.119-137 (1981)
- 20.- McKelvey P. J. *Física del Estado Sólido y de Semiconductores*. Limusa. México. pp.13-26, 47-58 (1991).
- 21.- Ohta M; Yasuda M., Okamura H. *Susceptibility of Calcium-Deficient Hydroxyapatite-Colbigen composite to irradiation*. Radiation Protection Dosimetry. Vol. 94, No.4, 385-388 (2001).
- 22.- H. Murrieta S., E. Muñoz P., E. Adem, G. Burillo, M. Vazquez and E. Cabrera B. *Effect of Irradiation Dose, Storage Time and Temperature on the ESR Signal in Irradiated Oat, Corn and Wheat*. Appl. Radiat. Isot. Vol. 47, No. 11/12, 1657-1661 (1996).
- 23.- McKeever. S.W.S. *Thermoluminescence of Solids*. Cambridge Solid State Science Series. University Press. Chap 1, (1985).
- 24.- Stephen W. S. McKeever, Marko Moscovitch and Peter D. Townsend *Thermoluminescence Dosimetry Materials Properties and Uses*. Nuclear Technology Publishing. England. pp.1-14 (1995)
- 25.- Randall J. T. and Wilkins M. H. *Phosphorescence and electron traps*. Proc. Roy. Soc. A. 184, p.336 (1945)
- 26.- Hurlbut y Cornelius S. *Manual de Mineralogía* . Editorial Reverté. México.pp.342-359, 360-369,582-600 (1997).

- 27.- D.I. Godfrey-Smith. *Thermal effects in the optically stimulated luminescence of quartz and mixed feldspars from sediments*. J. Phys. D: App. Phys 27. pp 1737-1746 (1994)
- 28.- Urbina, M, Millán A. Beneitez P.; Calderón T. *Minerales potencialmente útiles para el cálculo de dosimetrías retrospectivas en alimentos*. Alimentaria 283, Madrid. pp 53-60 (1997)
- 29.- S. Gastélum, Osuna, R. Meléndrez, E. Cruz-Zaragoza, V. Chernov, T. Calderón, M. Barboza-Flores. *Application of a Thermoluminescence Method for the Detection of Irradiated Spices*. Radiation Protection Dosimetry. Vol. 10, Nos. 1-4, 137-140 (2002)
- 30.- Gastélum Acuña S. *Aplicación del Fenómeno de Termoluminiscencia en la Detección de Alimentos Irradiados*. Tesis de Licenciatura en Física. Universidad de Sonora. Hermosillo. pp 77-79 (2001)
- 31.- Urbina M., Millán A., Beneitez P., Calderón T. *Dose rate effect in calcite*. J. Luminescence No. 79. pp 21-28 (1998)
- 32.- De la Sancha Rivera M. *Análisis Comparativo de los Métodos Actuales para la Conservación de Carne en Canal utilizados en los Rastros de México y Otros Países. (Propuesta para el Aprovechamiento de la Radiación Ionizante para la Conservación de la Carne)*. Tesis de Maestría en Salud Pública. Instituto Nacional de Salud Pública (2003).