



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA

CARACTERIZACIÓN TERMOLUMINISCENTE E INFLUENCIA DE
DOSIS ALTAS EN PIMENTÓN ROJO (*Capsicum annuum* L.)
IRRADIADO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
QUÍMICA DE ALIMENTOS

PRESENTA:

LIZBETH MONTIEL ESPINOZA



MÉXICO, D.F.

AÑO: 2008



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.

Jurado asignado:

Presidente	Prof. Juan Manuel Navarrete Trejo
Vocal	Prof. Sofía Guillermina Burillo Amezcua
Secretario	Prof. Epifanio Cruz Zaragoza
1er. Suplente	Prof. Luis Cabrera Mosqueda
2º. Suplente	Prof. Marco Antonio León Félix

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

Dr. Epifanio Cruz Zaragoza
Asesor

Lizbeth Montiel Espinoza
Sustentante

A G R A D E C I M I E N T O S

Doy gracias **a mi Padre Celestial** por darme la oportunidad de terminar esta etapa de mi vida, por darme la fortaleza y sabiduría para afrontar todos los obstáculos, gracias por todas las dificultades y pruebas que día a día me hicieron más fuerte y una mejor persona, por haberme puesto en el camino a esas personas tan especiales que ahora forman parte de mi vida.

A la **Universidad Autónoma de México y La Facultad de Química**, por ser formadora de mi aprendizaje y carácter, la cual me dio la oportunidad de conocer a maestros tan valiosos que compartieron conmigo su conocimiento y su tiempo.

Al **Instituto de Ciencias Nucleares**, por las facilidades otorgadas en el uso de sus instalaciones y equipos, por que en él conocí a personas que me apoyaron en todo lo que se necesitaba, a la futura Doctora Sandra Guzmán, Al físico Benjamín, Francisco Isidoro Pacheco, Ing. Iturbe, Prof. José G. de la Rosa, Prof. Fermín, a mis compañeras que me recibieron y enseñaron al llegar al instituto Elizabeth, Areli Tufiño.

Al **Dr. Epifanio Cruz Zaragoza** por toda su paciencia y disposición para poder dirigir esta tesis, por las sugerencias y recomendaciones en todo lo realizado, por dedicar parte de su tiempo a guiarme y escucharme, por los ratos de alegría y por los regaños cuando eran necesarios, por todos los consejos y palabras de aliento.

Al **Físico Francisco García Flores** por ser un gran amigo y el mejor compañero de trabajo, por dedicarme parte de su tiempo, por que buscaba siempre la forma de adelantar trabajo y no atrasarnos, por estar siempre al pendiente de lo que necesitaba, por su apoyo moral en los momentos más difíciles de esta etapa, por escucharme y por limpiar mis lagrimas, por acompañarme en las largas jornadas de trabajo, por cada una de esas palabras de aliento y fortaleza, y por dejarme ser parte de su familia como su hija.

A mis asesores de tesis **Juan Manuel Navarrete Tejero, Sofía Guillermina Burillo**, por su tiempo y dedicación para la realización y mejora de esta tesis.

Y un agradecimiento muy especial al **Ing. Alberto Hernández Alvarado** a quien le dedico la realización de esta tesis.

D E D I C A T O R I A S

A **mis hermanas Elsi Mayra y Diana Sarahi (La China)**, por creer en mí a pesar de todo este tiempo, por apoyarme, por todos los momentos de alegrías y de tristezas que hemos pasado juntas, por sus palabras de aliento para poder terminar esto, por seguir mi ejemplo, gracias por su amor y su cariño, por esos pequeños detalles que siempre me han brindado para poder salir adelante a pesar de todas las dificultades que llegaron a nuestra vidas. **Las amo mucho...**

Al amor de mi vida **Alberto Hernández Alvarado** al que conocí al inicio de mi carrera, quien fue mi gran apoyo, un gran amigo, confidente y compañero, por preocuparse y estar pendiente día a día de mí, por estar incondicionalmente a mi lado en todo este tiempo, por insistir siempre en que tenía que continuar estudiando y preparándome a pesar de todas las dificultades y problemas, por su comprensión y paciencia, por escucharme, por estos ocho años de amor y alegría.

A mi abuelita **Gricelda Nava**, que desde que tengo uso de razón siempre se ha preocupado por mi educación, por su apoyo moral y económico para continuar con mis estudios, por sus consejos, por sus lágrimas al preocuparse por su nieta.

A **mis familiares** que siempre tenían palabras de apoyo para no dejarme caer, a mis tías **Edith y Judith Montiel** a mis primas y primos que creyeron en mí en especial a mi prima **Yasmin Montiel**, a mis tíos abuelos por sus consejos **Joaquín Nava, mamá Chabe**, a tío **Uri** que ya no está con nosotros.

A mis **amigos y amigas** que han estado siempre conmigo y que se preocupan por mí, que pueden disfrutar junto conmigo de este logro, a los de la secundaria, **Alejandra, Carmen, Alicia, Cecilia, Lulu, Leti, Sara, Karla, Hugo, Israel**. A mi amigo de la prepa **Aldo Rubio Briseño**, a mis amigas de la facultad **Jacqueline, Fer, Tere, Maribel, Chio, Areli Puebla, Areli Tufiño, Fabi, Ángeles, Sandra, Elisa, Agustín, Charly, Noel, Alejandro, Esteban y Gustavo**. A mis amigos que fui conociendo a lo largo de todo este proceso **Elizabeth Jiménez, Ihadey** y su mamá **Yolanda, Ebelin y su mamá Sofi, Raúl, el presidente Leobaldo** a mis estimados compañeros y profesores de trabajo **Enrique, Luis E., Neri, Rubi, Yuri, Rosy, Viky, Ignacio**, y demás profesores que me han compartido de su conocimiento.

A la persona que Dios puso en mi camino para poder concluir con este trabajo al **Sr. Leobardo Iturbe Plancarte**, por su atención y detalles que ha tenido conmigo, por su apoyo y consejos, por escucharme y animarme cuando regresaba cansada, por esos ánimos y buena vibra, por ser un buen amigo.

A **mis padres** para demostrarles que sí podía lograr mis objetivos, por las trabas que pusieron en mi camino para poder madurar y ser la persona que hoy soy.



Índice



	Página
Índice de figuras	III
Índice de tablas	V
Índice de diagramas	V
Resumen	VI
Capítulo 1. Introducción	1
Objetivos	4
Hipótesis	5
Capítulo 2. Antecedentes	6
2.1. Generalidades del pimentón rojo (<i>Capsicum annuum</i> L) de origen mexicano.	6
2.1.1. Origen	6
2.1.2. Taxonomía y características morfológicas	7
2.1.3. Principales variedades	9
2.1.4. Composición nutricional	9
2.1.5. Producción de pimientos	10
2.1.6. Denominación de origen	12
2.1.7. Aplicaciones y usos	12
2.2. Normatividad	13
2.3. Radiación	16
2.3.1. Tipos de radiación	17
2.3.1.1 Radiaciones ionizantes	18
2.3.2. Cobalto 60	19
2.4. Radiactividad	20
2.5. Decaimiento radiactivo	21
2.6. Efectos de radiación	22
2.6.1. Efecto fotoeléctrico	22
2.6.2. Efecto Compton	23
2.6.3. Formación de pares	24
2.7. Unidades utilizadas en la radiación	24
2.8. Conservación de alimentos	25
2.9. Irradiación de alimentos	26
2.9.1. Empleo de las radiaciones ionizantes en alimentos	27
2.9.2. Aplicación de la irradiación de alimentos	27
2.9.3. Irradiación de especias	28
2.10. Detección de alimentos irradiados	30
2.11. Poliminerales	31

2.11.1.	El Cuarzo	34
2.11.2.	Comportamiento de los sólidos cristalinos	37
2.12.	Termoluminiscencia	39
2.13.	Identificación de poliminerale	41
Capitulo 3. Desarrollo experimental		43
3.1.	Separación de poliminerale del pimentón rojo	45
3.2.	Tratamiento de residuos	45
3.3.	Obtención del tamaño de partícula de las muestras	46
3.4.	Irradiación de las muestras a dosis altas y bajas	47
3.5.	Decaimiento TL utilizando lámpara de UV	49
3.6.	Decaimiento utilizando luz Solar	49
3.7.	Decaimiento a temperatura ambiente	50
3.8.	Reproducibilidad a dosis bajas y altas	50
3.9.	Método de McKeever $T_{max} - T_{stop}$	50
3.10.	Blanqueo térmico utilizando distintas temperaturas	51
3.11.	Obtención de las señales termoluminiscentes (TL)	51
Capitulo 4. Resultado y discusión		53
4.1.	Irradiación de poliminerale a dosis bajas y altas	53
4.2.	Blanqueamiento térmico con diferentes temperaturas	61
4.3.	Estabilidad de las señales TL bajo condiciones de ambiente con luz	63
4.3.1.	Desvanecimiento de la señal TL bajo luz UV	63
4.3.2.	Desvanecimiento de la señal TL con luz solar	65
4.3.3.	Desvanecimiento de la señal TL a temperatura ambiente	70
4.4.	Reproducibilidad de las señales TL, dosis bajas y altas	74
4.5.	Determinación de máximos TL mediante método de McKeever de $T_{stop} - T_{max}$	75
4.5.1.	Variación de los picos principales TL de las muestras	76
Capitulo 5. Conclusiones		78
Bibliografía		82
Anexos		87



Índice de figuras



	Páginas	
Figura 1.	Pimentón rojo Mexicano entero y deshidratado	3
Figura 2.	Planta de la pimentera (<i>Capsicum annuum</i>)	7
Figura 3.	a) Flores en la planta de la pimentera <i>Capsicum annuum</i> , b) Semillas en el fruto	8
Figura 4.	Símbolo radura que debe presentar una etiqueta de algún alimento irradiado	15
Figura 5.	Espectro electromagnético	17
Figura 6.	Poder de penetración de la radiación α , β y γ	18
Figura 7.	Decaimiento del cobalto 60	22
Figura 8.	Efecto fotoeléctrico, se produce un fotoelectrón y ocurre una transición interna	23
Figura 9.	Efecto Compton	23
Figura 10.	Formación de pares	24
Figura 11.	Estructuras cristalinas de los silicatos	34
Figura 12.	Una muestra de cuarzo (SiO_2) y sus características físicas	34
Figura 13.	Variedades de cuarzo	36
Figura 14.	Modelo de cristal	39
Figura 15.	Modelo del fenómeno de TL en un cristal simple	41
Figura 16.	Caja de cartón recubierta de aluminio utilizada para la irradiación de muestras	47
Figura 17.	Posición de irradiación (flecha) de las muestras en la cámara de irradiación del irradiador Gammabeam 651PT del ICN UNAM. La fotografía muestra una cara de la zona de irradiación.	48
Figura 18.	Equipo de Termoluminiscencia Harshaw 3500, con software acoplado a una computadora	52
Figura 19.	Plancheta del equipo Harshaw 3500 para el disco con los poliminerales	52
Figura 20.	Curvas de brillo de poliminerales del Pimentón rojo expuestos a dosis relativamente bajas de 1 – 120 Gy, de radiación gamma de ^{60}Co y tamaños de partícula 10, 53, 74 y 149 μm	53
Figura 21.	Curvas de brillo de las muestras poliminerales irradiadas de 120 Gy a 500 Gy, tamaño de partícula 10, 53, 74 y 149 μm	56
Figura 22.	Respuesta TL de poliminerales del pimentón rojo en los intervalos de dosis; 1-500 Gy y de 0.5-120 kGy, para los cuatro tamaños de partícula	58
Figura 23.	Curvas de brillo de poliminerales del pimentón rojo sometidas a diferentes dosis altas de irradiación (20 kGy a 100 kGy), tamaño de partícula 149 micras	59
Figura 24.	Comportamiento de los picos TL principales, a distintas temperaturas, para tamaños de 53, 74 y 149 μm	62
Figura 25.	Pérdida TL de pimentón rojo provocado por luz UV, para los	

Figura 26.	cuatro tamaños expuestos a una dosis inicial de 30 Gy Desvanecimiento de curvas de brillo expuestos a luz UV, tamaños 10, 53, 74, y 149 μm	64 65
Figura 27.	Pérdida de la señal TL del Pimentón rojo provocado por luz solar (22-23°C) e irradiado a 30 Gy	66
Figura 28.	Curvas de brillo de comparación y diferencia de TL entre la primera lectura y su duplicado (35 min después) para tamaño de partícula de 10 micras para exponer al sol	68
Figura 29.	Disminución de las curvas de brillo de los poliminerales expuestos a la luz del Sol	69
Figura 30.	Fading de pimentón rojo a temperatura ambiente (22-23°C), para los cuatro tamaños expuestos a una dosis inicial de 30 Gy	71
Figura 31.	Del lado izquierdo aparecen las curvas de brillo de comparación y diferencia de TL entre la primera lectura y su duplicado (35 min después) y del lado derecho las curvas de brillo de 30 Gy y 24 horas después, a temperatura ambiente, para distintos tamaño de partícula, con el pico de baja temperatura desaparecido	72
Figura 32.	Curvas de brillo del pimentón rojo con una dosis inicial de 30 Gy para decaimiento a temperatura ambiente, tamaño de partícula 10 micras	74
Figura 33.	Reproducibilidad de las señales TL para partículas de 10, 53, 74 y 149 μm expuestas a 30 y 1,000 Gy	75
Figura 34.	Gráfica de Tstop vs Tmax (Método de McKeever) para los tamaños 53, 74 y 149 μm expuestas a 20 Gy	76
Figura 35.	Estructura de las curvas de brillo a 20, 60 y 120 Gy de distintos tamaños de partícula	77
Figura 36.	Una cara del irradiador Gammabeam 651 PT y de protección a las fuentes	96
Figura 37.	Consola de Control de todo el sistema y de las fuentes del irradiador Gammabeam GB651 PT	97
Figura 38.	Laberinto de acceso con muros de 2.10 m de espesor y piso falso de seguridad	97
Figura 39.	Señalización de presencia de radiación, enseguida la caja de verificación de niveles de radiación, fuente de prueba y funcionamiento del monitor portátil del operador.	98
Figura 40.	1) Fuentes de ^{60}Co y piscina para almacenamiento y blindaje de las fuentes, 2) Cámara de irradiación, 3) Control del sistema neumático del movimiento de las fuentes radiactivas, 4) Laberinto de acceso, 5) Area de la Consola de Control de todo el sistema del irradiador y de las fuentes.	98
Figura 41.	Irradiador Gammacell-200 tipo autoblandado	99
Figura 42.	Cilindro hueco donde se encuentra el émbolo y dimensiones	100



Índice de tablas



	Páginas
Tabla 1. Composición nutricional del pimentón por cada 100 g	10
Tabla 2. Principales países importadores de pimientos o de chiles dulces (FAO, 2003)	11
Tabla 3. Principales países productores de pimentón	11
Tabla 4. Diferentes tipos de radiaciones	17
Tabla 5. Algunos Métodos de conservación de alimentos	26
Tabla 6. Clasificación de dosis, según su finalidad	28
Tabla 7. La dosis según el producto (Calderón, 2000; NOM-033-SSA1-1993)	29
Tabla 8. Métodos físicos para la detección de alimentos irradiados (Delincée, 1998)	30
Tabla 9. Clasificación química de los minerales	33
Tabla 10. Clasificación de silicatos	33
Tabla 11. Modificaciones del Cuarzo (SiO ₂)	36
Tabla 12. Material y equipos utilizados	43
Tabla 13. Reactivos y materia prima utilizados	43
Tabla 14. Rendimiento del Pimentón rojo Mexicano	46
Tabla 15. Límite mínimo de detección TL para los cuatro tamaños de partícula 10, 53, 74 y 149 µm en las dosis bajas de 1,2,4,10 Gy	55
Tabla 16. Porcentaje de pérdida de la señal TL de Pimentón rojo para los cuatro tamaños de partícula expuestos a UV, con una dosis inicial de 30 Gy	64
Tabla 17. Porcentaje de pérdida de la señal TL de pimentón rojo para los cuatro tamaños de partícula expuestos al sol (22-23°C), con una dosis inicial de 30 Gy	66
Tabla 18. Porcentaje de pérdida de la señal TL de pimentón rojo para cuatro tamaños de partícula a temperatura ambiente (22-23°C), con una dosis inicial de 30 Gy	71



Índice de Diagramas



	Páginas
Diagrama 1. Diagrama de flujo del desarrollo experimental	44

Resumen

En esta tesis se presentan resultados de la caracterización termoluminiscente (TL) de los poliminerales del Pimentón rojo (*Capsicum annum* L.) de origen Mexicano irradiado a dosis altas y bajas.

Para la realización de este trabajo se llevó a cabo la extracción de los poliminerales de la muestra de Pimentón rojo (*Capsicum annum* L.) de muestras deshidratadas. Los poliminerales son considerados como micronutrientes sólidos adheridos naturalmente a los alimentos, se sabe que son los portadores de información por tiempos prolongados acerca de los procesos de tratamiento por radiación que haya sufrido los alimentos. Se obtuvieron cuatro tamaños de partícula de 10, 53, 74 y 149 μm de las muestras de un solo lote de Pimentón rojo de la industria.

Las muestras fueron expuestas a la radiación gamma para hacer una caracterización de sus propiedades termoluminiscentes (TL), así como el análisis de la influencia que provocan en las mismas emisiones TL a dosis altas de 0.5 a 120 kGy, y también en el intervalo de dosis bajas de 1 Gy a 500 Gy. Para lograr las dosis bajas se utilizó el irradiador Gammacell-200, y para las dosis altas se usó el irradiador Gammabeam 651PT de alberca profunda. Ambos irradiadores utilizan fuentes de Cobalto-60 que son emisoras de fotones gamma de alta energía de 1.17 y 1.33 MeV. Los resultados obtenidos pueden resumirse como sigue:

- De las señales TL y mediante el análisis de las curvas de brillo obtenidas se determinó el límite de detección TL a la dosis de 2 Gy, esto es, que si las muestras de poliminerales del Pimentón habían sido expuestas a la radiación ionizante gamma. La región lineal de la dosis-respuesta se observó entre 0.5-20 Gy, mientras que a dosis altas se encontró una segunda linealidad entre 0.5-3 kGy.
- Se realizaron mediciones TL para analizar la estabilidad de las señales TL como el desvanecimiento de las señales ante la influencia de la luz UV utilizando una lámpara de mercurio. Así también se analiza la influencia sobre las señales de decaimiento TL del espectro solar iluminando las muestras directamente ante el sol a temperatura ambiente (22-23 °C), observándose que la luz UV tiene mayor influencia en la disminución de las señales TL del Pimentón.

- Se realizó un fading o pérdida de señal TL de manera periódica en el tiempo de almacenamiento. Se encontró que a 45 días de almacenamiento las muestras presentaron un fading de 75% para el tamaño de 10 μm , mientras que las de tamaño 53, 74 y 149 μm presentaron 44% de disminución de las señales TL. La metodología de este experimento puede ser utilizado como una medición de control de calidad de la dosis en la industria.
- Dado que las curvas de brillo del Pimentón presentaron cierta complejidad presentando tres picos TL, se realizó un blanqueo térmico mediante calor controlado sobre las señales TL. Se observaron los tres picos por separado; para el caso de 53 μm el pico I ubicado entre 116-118°C en la región de menor temperatura y el pico II (~202°C) tuvieron la tendencia de disminución en sus intensidades TL. Mientras el pico III (~350°C) el de mayor temperatura, se encontró que su tendencia fue de aumento en la intensidad. Un comportamiento similar se observó para el mayor tamaño, 149 μm , solo que el pico III aumentó rápidamente. Este tipo de comportamiento hace suponer que el tamaño de partícula es relevante para el desarrollo de los picos TL del Pimentón. Se observó que el pico III crece al aumentar las dosis entre 20-100 kGy pero disminuye el pico I, mientras que el pico III crece con la dosis de irradiación. Esto indicaría que participan de manera aún no muy clara las trampas superficiales cercanas a la banda de conducción y son altamente inestables por lo que en principio generan al pico I pero son tan inestables que el fading a temperatura ambiente reveló que ese pico se desplazó hacia 132-144°C, dando lugar al crecimiento de los otros dos picos que se formaron mejor hacia mayor temperatura muy probablemente por la posibilidad que pudieran transferir cargas o electrones hacia las trampas de mayor temperatura principalmente.
- La reproducibilidad de las emisiones TL es una característica importante de los poliminerales que pueden utilizarse para detección de la radiación. Con el fin de buscar la reproducibilidad de las señales TL del Pimentón rojo, se realizó una serie de irradiaciones en los dos irradiadores, Gammacell 200 con una razón de dosis de 0.458 Gy/min y Gammabeam 651PT con una razón de dosis de 172.22 Gy/min. Se irradiaron a una dosis baja de 30 Gy y una alta de 1 kGy. Las muestras fueron irradiadas 11 veces para la misma dosis siempre, y se leyeron

en el equipo termoluminiscente Harshaw TLD 3500. Las señales TL dieron información de que el tamaño de partícula de 10 μm presentó mejor reproducibilidad con 4.17 y 0.08 de desviación estándar, a la dosis de 30 Gy y 1 kGy, respectivamente. Así las señales del polimineral del Pimentón es confiable para ese tamaño de partícula, pero debe tenerse cuidado para los otros tamaños debido a que su reproducibilidad es escasa comparada con el de 10 μm . Este proceso de medición puede ser de utilidad para la irradiación industrial, donde esa fracción polimineral puede usarse como un detector de la dosis.

- Para determinar la conformación de las curvas de brillo experimentales del Pimentón para 53, 74 y 149 μm que fueron expuestos a 20 Gy, se realizó el experimento de Tstop en función del máximo TL de cada curva obtenida siguiendo el método de McKeever. Se observó que el mayor tamaño de partícula mostró claramente los “escalones” de Tstop-Tmax, indicando la presencia de al menos seis picos TL que conformarían a cada curva de brillo. Cada uno de los seis picos encontrados pueden influir en el comportamiento total de cada curva de brillo a las distintas dosis que a su vez se observaron más claras de acuerdo al tamaño de partícula.
- La influencia mayor de las dosis altas sobre la propiedad de la dosis-respuesta del polimineral del Pimentón rojo es el efecto de la saturación de las señales TL a partir de 10 kGy, en donde se notó incluso la disminución de la respuesta conforme aumentaba la dosis. Esa disminución puede deberse a la pérdida de la intensidad TL que se tiene mediante la recombinación de los defectos durante la irradiación de la muestra. A esa región de saturación se observó que le sigue una región llamada de daño que es probablemente debida al mismo fenómeno de pérdida de la respuesta TL.

Capítulo 1. Introducción

En América los primeros países en cultivar pimientos fueron Perú y México, incluso antes de la colonización. Hoy día su cultivo se encuentra extendido por todo el mundo, y actualmente España posee la denominación de origen, sus zonas pimentoneras más importantes son Murcia y la comarca de la Vera, en Cáceres. Por definición de la Norma Mexicana NMX-F-001-1982, se entiende por pimentón al producto obtenido de la molienda y pulverización de los frutos maduros, secos, sanos y limpios de las plantas solanáceas *Capsicum annuum* L.

El Pimentón es ahora un cultivo de importancia como producto no perecedero con una gran perspectiva económica para el mercado de agro exportación. Actualmente el objetivo es lograr materias primas con óptima calidad sanitaria, libres de toxinas, materias extrañas, posibles de transmitir enfermedades y/o disminuir la calidad del producto. Para su comercialización se debe tomar en cuenta la presentación del producto, exigidas por las normas nacionales o bien en el caso del comercio exterior por las regulaciones de cada país. Frecuentemente se adoptan criterios acorde con las recomendaciones del tratamiento postcosechas, como es el caso del Codex Alimentarius (<http://www.codexalimentarius.net>) que ha sido una norma sugerida y adoptada entre los países Europeos con una perspectiva a una comercialización armónica entre ellos.

El mercado internacional de hierbas y especias es tradicionalmente abastecido por distribuidores expertos y con exigencias estándares para la exportación. Para principios del 2007 se calculaba que el comercio de las especias se situaba alrededor de US \$6 000 millones en el mercado mundial y que ese sector está creciendo entre 5 a 6 % por año. De ahí la importancia sobre la desinfectación y/o esterilización de especias a ciertas dosis de radiación. Esto se empezó a estudiar al inicio de la década de los 60's, así como los primeros cursos impartidos sobre el uso seguro de radioisótopos en irradiadores para investigación y de uso semi-industrial (Josephson and Peterson, 1982). Esas actividades fueron promovidas por organismos internacionales como la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO), la Organización Mundial de la Salud (OMS), así como la Agencia Internacional de Energía Atómica (AIEA), cuya conclusión general fue que los alimentos irradiados (especias, frutas, vegetales,

cereales, carne, principalmente) no representan riesgo alguno para la salud del consumidor.

En México se irradia gran volumen de productos y materias primas de origen Mexicano para consumo humano, pero uno de los pendientes es contar con métodos confiables de detección para alimentos procesados por irradiación ya sea productos de consumo interno o para la exportación.

Existen varios métodos (Calderón, 2000; Delincée, 1998) para la detección de los alimentos irradiados: métodos químicos, físicos, y biológicos. Sin embargo, para los alimentos deshidratados el más fiable, es el método físico que se basa en el fenómeno de la termoluminiscencia (TL) o emisión de luz por calor. Aunque es un método probado para productos Europeos no es aplicable directamente a los alimentos de origen Mexicano, pues éstos contienen distintas proporciones de las fracciones minerales que lo componen; principalmente cuarzo y feldespato. Razón suficiente que motiva a obtener metodologías de identificación para alimentos de origen Mexicano deshidratados e irradiados. Así también lograr la identificación de los alimentos que no están irradiados.

La identificación puede realizarse mediante las propiedades de emisión de luz, haciendo una excitación de los defectos que se generaron en el mineral al irradiar el alimento que los contiene. Para ello es de utilidad indagar las propiedades llamadas de luminiscencia, siendo empleada la excitación por calor lo que se conoce como termoluminiscencia (Engin, 2007) o luminiscencia térmicamente estimulada (TL). Cabe decir que existen otros métodos de identificación, que más adelante se explicarán. Empleando el fenómeno de TL también se pueden determinar las propiedades de termoluminiscencia del alimento: la respuesta TL a la dosis, el comportamiento de las curvas de brillo, la pérdida de las señales TL a temperatura ambiente, bajo luz UV y luz solar, también indagar que las señales sean reproducibles. El comportamiento de los minerales en alimentos irradiados, puede ofrecer procedimientos a emplearse como una técnica de control de calidad para asegurar las dosis que hayan recibido los alimentos expuestos a la radiación para fines de preservación o de sanitización.

Actualmente en México se realiza investigación sobre la detección de alimentos irradiados, y dada la complejidad de los mismos, se realizan estudios en esfuerzo conjunto entre instituciones nacionales como el Instituto de Ciencias Nucleares UNAM

con la Universidad de Sonora, además en colaboración con otras instituciones extranjeras, con el fin de determinar las propiedades básicas termoluminiscentes (TL) y la detección de los alimentos deshidratados e irradiados. Una de las especias de interés por estudiar es el Pimentón rojo (*Capsicum annuum* L.) deshidratado de origen Mexicano (Figura 1).



Figura 1. Pimentón rojo (*Capsicum annuum* L.) Mexicano entero y deshidratado

El fenómeno de termoluminiscencia (TL) de acuerdo con varios autores (Cruz-Zaragoza, 2006a; Engin, 2007; Correcher *et al*, 1998) muestra que la señal de TL está relacionada con la presencia de la fracción mineral asociada a los mismos alimentos, siendo las señales TL mayores en aquellas muestra irradiadas, en contraste con aquellas sin irradiar que pueden ser naturales. De esta manera la TL puede discriminar poblaciones de alimentos irradiados de aquellos que no lo están (Correcher *et al*, 1998). Para identificar a los macronutrientes de las especias, se utiliza comúnmente la técnica de difracción de rayos X (Stoneham and Stokes, 1991; Calderón, 2000), principalmente se han encontrado minerales como: cuarzo, calcita, feldespatos potásicos, sódicos y minerales de la arcilla excepcionalmente yeso (CaSO_4), estos minerales forman parte de los alimentos y más adelante los denominaremos poliminerales o la fracción mineral.

Los objetivos de esta tesis son:

Como primer objetivo es identificar las señales de luminiscencia en muestras de pimentón rojo (*Capsicum annuum* L.) de origen Mexicano.

Para lograr el objetivo los poliminerales extraídos de las muestras del pimentón se expusieron a la radiación gamma en el intervalo de dosis bajas (1 Gy a 500 Gy), y altas (0.5 a 100 kGy).

Se realizaron mediciones TL utilizando un equipo lector de TL que genera datos de la intensidad de emisión en el intervalo de temperatura ambiente hasta 400 °C.

De las señales TL y mediante el análisis de los datos obtenidos se determinó, si las muestras de poliminerales han sido expuestas o no a la radiación ionizante gamma.

Se obtuvieron los límites de detección TL en función de la dosis mínima tanto en los decaimientos provocados en experimentos con luz ultravioleta, luz solar, y a temperatura ambiente. Así también se realizó una limpieza térmica generada por calor controlado sobre las señales TL. El decaimiento o desvanecimiento de las señales permitirían identificar a los alimentos como en el caso del pimentón, el tiempo de almacenamiento en función de la señal TL disminuida, lo cual puede emplearse como una medición de control en la industria.

Las medidas de reproducibilidad de las señales TL dieron información de cuantas veces el polimineral del Pimentón resulta ser la misma señal confiable, lo cual puede ser de utilidad en el proceso de irradiación industrial como un detector o casi dosímetro de dosis. Los alimentos con los que pudiera utilizarse el mencionado polimineral serían productos alimenticios deshidratados tales como hierbas, especias, condimentos, frutas secas, semillas, etc., cuyas dosis para la preservación están entre 1 y 10 kGy, sin afectar sus propiedades organolépticas.

Nuestra **hipótesis de trabajo**, se fundamenta en la existencia de macronutrientes sólidos naturales en los alimentos, conocidos como minerales (que llamamos aquí poliminerales) estos pueden ser portadores de información relativa a procesos de tratamiento o conservación por radiación que han sufrido los alimentos. La ventaja que tiene la fracción polimineral de estructura policristalina, es que guarda la información durante largos periodos de tiempo en forma de defectos atrapados, esto es, electrones libres debido a la ionización de la muestra y son retenidos en las vacancias. La recombinación de ellos al excitarse con calor emitirá la luminiscencia. Así pues la detección TL puede obtenerse aún transcurrido cierto tiempo desde que fueron irradiadas las muestras de manera controlada o accidental. La emisión luminosa en forma de luz, finalmente se obtiene como curvas de brillo para distintas dosis que son expuestas las muestras de Pimentón rojo.

Capítulo 2. Antecedentes

2.1. Generalidades del Pimentón rojo (*Capsicum annuum* L.)

El pimentón es un condimento en polvo de color rojo y sabor característico obtenido a partir del secado y molido de ciertas clases de pimientos totalmente rojos, recolectados maduros, sanos, limpios y secos, totalmente libres de plagas o enfermedades. Originario de América, fue sembrado en diversos lugares del sur del continente antes del descubrimiento aunque España ha conseguido la denominación de origen del pimentón. El fruto según las variedades y países, se llama pimiento, páprika, chile, guindilla, etc., muchas de ellas de gran interés en la cocina de todo el mundo (<http://taninos.tripod.com/siembra2.htm>).

En la elaboración del pimentón podemos diferenciar tres fases: La primera es el cuidado de la plantación; la segunda fase el secado del fruto, secado natural, por exposición al sol y/o secado mediante aire caliente; y como tercera fase el molido, una vez secos los pimientos se realizan varios pasos de molienda dando origen a un polvo fino de color rojo intenso.

2.1.1. Origen

El pimiento es originario de la zona de Bolivia y Perú, donde además de *Capsicum annuum* L. se cultivaban al menos otras cuatro especies. Fue llevado a Europa por Colón en su primer viaje en 1493, al arribo de los conquistadores estos confundieron el fruto con la pimienta, que ya la conocían por influencia de los comerciantes en Europa. Le dieron el nombre de pimentón o pimiento, curiosamente esta confusión incluso persiste hoy en día en Europa.

En el siglo XVI ya se había difundido su cultivo en España, desde donde se distribuyó al resto de Europa y del mundo con la colaboración de los portugueses. Su introducción en Europa supuso un avance culinario, ya que vino a complementar e incluso sustituir a otro condimento muy empleado como era la pimienta negra (*Piper nigrum* L.), de gran importancia comercial entre Oriente y Occidente. Su importancia en Europa fue tal que durante los siguientes doscientos años, revolucionara la gastronomía de los pueblos mediterráneos.

2.1.2. Taxonomía y características morfológicas



Clasificación científica	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Asteridae
Orden	Solanales
Familia	Solanaceae
Género	Capsicum
Especie	<i>annuum</i>

Figura 2. Planta de la pimentera (*Capsicum annuum*)

La pimentera (*Capsicum annuum*) es la planta del pimiento (Figura 2), es procedente de América de la familia de las solanáceas. Su cultivo se encuentra prácticamente extendido por todo el mundo. Es especialmente importante en el este y sur de Asia, donde su fruto forma parte de la cocina tradicional, apareciendo en muchos platillos. Dentro de esta misma especie podemos encontrar variedades que van desde el pimiento verde dulce hasta los pimientos picantes.

Una descripción en general de la planta del pimiento (<http://www.botanical-online.com/pimimientos.htm>.) podemos mencionar que:

La Planta: Es herbácea perenne, con ciclo de cultivo anual de porte variable entre 0,5 metro en determinadas variedades de cultivo al aire libre, y más de 2 metros en gran parte de los híbridos cultivados en invernaderos (Figura 3a).

El sistema radicular: Pivotal y profundo (dependiendo de la profundidad y textura del suelo), con numerosas raíces adventicias que horizontalmente pueden alcanzar una longitud comprendida entre 50 centímetros y 1 metro.

Tallo principal: Crecimiento limitado y erecto. A partir de cierta altura emite 2 o 3 ramificaciones, dependiendo de la variedad, y continua ramificándose de forma dicotómica hasta el final de su ciclo, los tallos secundarios se bifurcan después de brotar varias hojas.

La Hoja: Se considera entera, lampiña y lanceolada, con un ápice muy pronunciado y un pecíolo largo y poco aparente. El haz es liso y suave al tacto y de color verde más o

menos intenso y brillante dependiendo de la variedad. El nervio principal parte de la base de la hoja, como una prolongación del pecíolo, del mismo modo que las nerviaciones secundarias que son pronunciadas y llegan casi al borde de la hoja. La inserción de las hojas en el tallo tiene lugar de forma alterna y su tamaño es variable en función de la variedad, existiendo cierta correlación entre el tamaño de la hoja adulta y el peso medio del fruto.

La Flor: Aparece solitaria en cada nudo del tallo, con inserción en las axilas de las hojas. Son pequeñas y constan de una corola blanca. La polinización es autógama, aunque puede presentarse un porcentaje de alogamia que no supera el 10 % (Figura 3a).

El Fruto: Es una baya hueca, semicartilaginosa y deprimida, de color variable (verde, rojo, amarillo, naranja, violeta o blanco); algunas variedades van pasando del verde al anaranjado y al rojo a medida que van madurando. Su tamaño es variable, llegando a pesar desde escasos gramos hasta más de 500 gramos. Las semillas se encuentran insertas en una placenta cónica de disposición central. Son redondeadas, ligeramente reniformes, de color amarillo pálido y longitud variable entre 3 y 5 centímetros (Figura 3b).

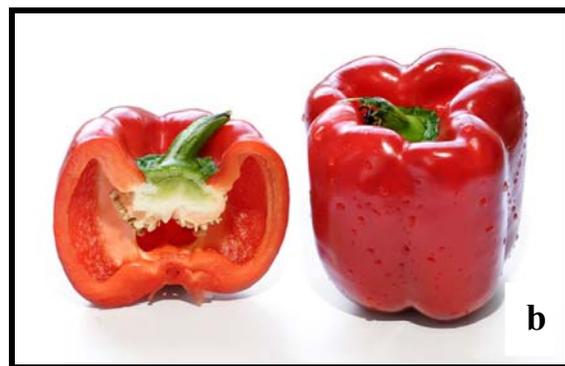
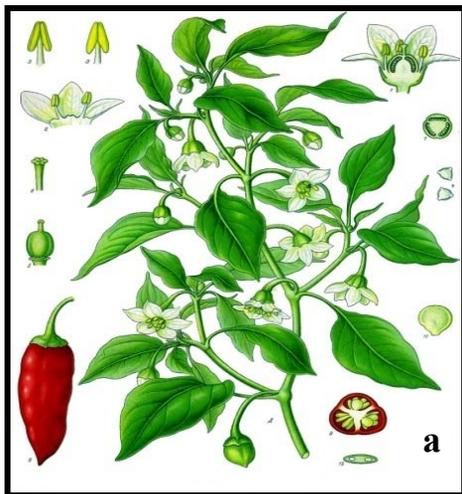


Figura 3. a) Flores en la planta pimentera *Capsicum annuum*, b) Semillas en el fruto

2.1.3. Principales variedades

Pueden considerarse tres grupos del pimiento desde un punto de vista práctico.

♦ **Variedades dulces:** Se cultivan en los invernaderos. Presentan frutos de gran tamaño para consumo en fresco, en conserva y en la industria.

Dentro de las variedades de fruto dulce se pueden diferenciar tres tipos de pimiento:

Tipo California: Frutos cortos (7 – 10 cm), anchos (6 – 9 cm), con tres o cuatro cascotes bien marcados, con el cáliz y la base del pedúnculo por debajo o a nivel de los hombros y de carne más o menos gruesa (3 – 7 mm). Son cultivos exigentes en temperatura, por lo que la plantación se realiza temprano (desde mediados de mayo a comienzos de agosto, dependiendo de la climatología de la zona).

Tipo Lamuyo: Denominados así en honor a la variedad obtenida por el INRA francés (Instituto Nacional de Investigación Agronómica), con frutos largos y cuadrados de carne gruesa. Los cultivos suelen ser más vigorosos (de mayor porte y entrenudos más largos) y menos sensibles al frío que los de tipo California, por lo que es frecuente cultivarlos en ciclos más tardíos.

Tipo Italiano: Son frutos alargados, estrechos, acabados en punta, de carne fina, más tolerantes al clima frío, se cultivan normalmente en ciclo único, con plantación tardía en el mes de septiembre u octubre y recolección entre los meses de diciembre y mayo, dando producciones de aproximadamente 6 - 7 kg/m² (http://www.agrobit.com.ar/Info_tecnica/Alternativos/horticultura/AL_000020ho.htm).

♦ **Variedades de sabor picante:** Cultivadas en Sudamérica, con variedades de fruto largo y delgado.

♦ **Variedades para la obtención de pimentón:** Son un subgrupo de las variedades dulces.

2.1.4. Composición nutricional

El fruto fresco de pimiento destaca por sus altos contenidos en vitaminas A, C y en calcio. Dependiendo de variedades puede tener diversos contenidos de capsainoides, alcaloides responsables del sabor picante y de pigmentos carotenoides, tabla 1, (Duke, 2000).

Tabla 1. Composición nutricional del pimentón por cada 100g

Composición por 100 g	Crudos verdes	Crudos rojos	Chiles
Agua	92,1 g	92,1 g	92,5 g
Energía	113 kcal	113 kcal	21 kcal
Grasa	0,19 g	0,19 g	0,10 g
Proteína	0,89 g	0,89 g	0,90 g
Hidratos de carbono	6,43 g	6,43 g	5,3 g
Fibra	1,8 g	2 g	1,3 g
Potasio	177 mg	177 mg	187 mg
Fósforo	19 mg	19 mg	17 mg
Magnesio	10 mg	10 mg	14 mg
Calcio	9 mg	9 mg	7 mg
Vitamina C	89,3 mg	190 mg	68 mg
Vitamina B2	0,03 mg	0,03 mg	0,050 mg
Vitamina B6	0,248 mg	0,248 mg	0,153 mg
Vitamina A	632 IU	5700 IU	610 IU
Vitamina E	0,69 mg	0,69 mg	0,69 mg
Niacina	0,5 mg	0,5 mg	0,8 mg

2.1.5. Producción de pimientos

El éxito del pimentón radica en que es un fruto ampliamente utilizado en la cocina y que puede comercializarse como en fresco, para elaborar condimentos y para conservas.

Desde un punto de vista práctico se acepta la existencia de tres variedades, dulces, picantes y las variedades para la obtención de oleorresinas.

El chile, junto con el maíz y el frijol, fue básico en la alimentación de las culturas Mesoamericanas, que es considerada su lugar de origen y domesticación. El nombre *chile* viene del náhuatl *chilli*, pero en Sudamérica se le llama *ají*, palabra de las lenguas Aruaca y Taína, habladas por los grupos étnicos que habitaban en la isla Española (compartida hoy en día por República Dominicana y Haití), y en España se le denomina *guindilla*. En Inglés se le llama *Pepper*, en Francés, *Piment*, y en Portugués, *Pimenta*. El pimentón rojo según la variedad y el país es conocido con diferentes nombres como: pimiento morrón, páprika, chile dulce, chile bell, pimienta española, algunas variedades

de chiles o pimientos tienen la denominación de origen, como el pimentón de España. El pimentón fresco tiene una alta demanda en el mercado internacional en el que las importaciones son volúmenes importantes (Tabla 2) y es bien cotizado aún cuando algunos países importadores son también productores del pimentón. México se encuentra entre los primeros países productores del pimentón (Tabla 3), sin embargo los datos de las dependencias oficiales como el INEGI y SAGARPA (INEGI, 2007) son confusos en cuanto a la exportación y de la importación probable que ocurre en México.

Tabla 2. Principales países importadores de pimientos o chiles dulces
(http://www.icta.gob.gt/fpdf/publi_/chiles.pdf)

País	Cantidad (Ton)	Valor X 1000 US\$
Estados Unidos	401 195	458 279
Alemania	284 300	378 767
Francia	114 510	105 080
Inglaterra	93 988	168 985
Canadá	93 662	102, 85
Italia	57 517	56 758
Australia	48 526	51 313
Holanda	47 362	61 401

Nota: datos tomados de la FAO en el año 2003.

Tabla 3. Principales países productores de pimentón

Países	Producción pimiento frescos año 2002 (Ton)	Países	Producción pimiento frescos año 2002 (Ton)
China	10 533 584	Argelia	175 000
México	1 733 900	Japón	159 300
Turquía	1 500 000	Rep. Fed. Yugoslavia	135 100
España	989 600	Ucrania	125 000
Estados Unidos	885 630	Argentina	121 000
Nigeria	715 000	Grecia	110 000
Indonesia	550 000	Hungría	100 000
Egipto	386 687	Rep. Islámica de Irán	100 000
República de Corea	380 000	Israel	99 970
Italia	380 000	Chile	62 000
Países Bajos	290 000	Australia	50 000
Túnez	244 000	India	50 000
Bulgaria	205 000	Rep. Pop. Dem. Corea	55 000
Rumania	185 000	Canadá	48 000

Fuente: F.A.O.

2.1.6. Denominación de origen

La planta del pimiento es originaria de México, Centroamérica aunque también se encuentra en las regiones del Sur de Asia. El género *Capsicum annum* L., o pimiento empezó a introducirse en España en el siglo XVI. Actualmente España es el que tiene la denominación de origen y solo dos variedades de pimentón la poseen, una procedente de la comarca de la Vera de Plasencia (Jaraíz de la vera), introducido por los monjes Jerónimos procedentes del Monasterio de Yuste, y el pimentón de Murcia procedente de pimientos rojos de la variedad "bola".

El pimentón español se diferencia de las variedades de otros países europeos en el aroma ahumado característico que desprende, debido a la forma en como es secado, mediante humo de madera de roble en los meses de Octubre y Noviembre. En España se suele encontrar fácilmente el pimentón en supermercados o tiendas. Suele comercializarse en latas metálicas con un tapón hermético característico para mantener el aroma (<http://www.valencia.com>).

2.1.7. Aplicaciones y usos

Los pimientos no picantes o dulces se presentan en numerosas variedades, en colores rojos, amarillos, verdes, en formas y tamaños muy diversos. Se atribuye el color rojo a la presencia de carotenoides en pequeñas cantidades, los pimientos rojos constituyen una fuente muy elevada de vitamina C y de vitamina A alcanzando hasta 200 miligramos por cada 100 gramos. Cuando llega a la madurez y se torna de color rojo contiene un componente denominado licopeno que al igual que la vitamina C constituyen uno de los mejores antioxidantes más importantes. Los antioxidantes se encargan de eliminar radicales libres en el organismo que se pueden generar por diversos factores, incluyendo los alimentos que ingerimos a diario. Su contenido en β -carotenos es considerable inferior a la zanahoria, pero mayor en comparación con otros frutos, siendo rico en triptófano un aminoácido esencial (Maroto, 1986).

Otro derivado es la oleorresina que es un aceite viscoso que tiene color intenso y aroma típico del pimentón. Su oleorresina se utiliza como colorante natural en productos alimenticios procesados, fundamentalmente carnes, sopas, salsas, etc.; además se

emplea en la industria cosmética, los usos de los frutos naturales o procesados son múltiples.

Aparte del consumo en fresco, cocido o como un condimento o "especia" en comidas típicas de diversos países. Existe una gran gama de productos industriales que se usan en la alimentación humana: congelados, deshidratados, encurtidos, enlatados, salsas, etc. El pimentón en polvo además de saborizante, se utiliza como agente colorante en la cocina y en la industria alimenticia.

2.2. Normatividad

La Norma Mexicana NMX-F-001-1982 contiene las especificaciones fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales para el pimentón (Anexo 1).

Esta Norma Mexicana establece las especificaciones que debe cumplir el producto denominado "PIMENTÓN". Las especificaciones que se establecen sólo podrán satisfacerse cuando en la elaboración del producto se utilicen materias primas e ingredientes de calidad sanitaria, que se apliquen buenas técnicas de elaboración, y se realicen en locales e instalaciones bajo condiciones higiénicas, que aseguren que el producto es apto para el consumo humano.

Establece la definición de Pimentón, la clasificación y designación del producto, especificaciones sensoriales, las características físicas, químicas, y microbiológicas, contaminantes químicos y la adición de aditivos.

La Norma NOM-033-SSA1-1993 contiene las especificaciones de dosis permitidas en alimentos, materias primas y aditivos alimentarios (Anexo 1).

Esta Norma Oficial Mexicana establece las dosis permitidas para la irradiación de alimentos, materias primas y aditivos alimentarios, es de observancia obligatoria en el Territorio Nacional para las personas físicas o morales que se dedican a su proceso o importación.

Es una norma que controla y regula este proceso de irradiación en alimentos, materias primas y aditivos alimentarios, por medio de la aplicación de dosis permitidas con propósitos definidos, reduciendo el número de casos reportados como enfermedades transmitidas por alimentos.

La irradiación de alimentos consiste básicamente en la exposición de éstos a la acción de la radiación ionizante proveniente de una fuente de radiación permitida para tal efecto. La irradiación constituye una alternativa para reducir las cargas bacterianas y eliminar microorganismos patógenos, que ponen en peligro la salud del hombre o bien que llevan al deterioro de los mismos.

La irradiación de alimentos se propone por la Organización Mundial de la Salud como medida para reducir la incidencia de enfermedades transmitidas por alimentos, que afectan la salud y productividad de la mayoría de los países.

Por lo tanto, la salud de los habitantes de un país, está condicionada de manera importante a la inocuidad de los alimentos y de las condiciones de su abastecimiento.

En esta norma se encuentran las definiciones, símbolos y abreviaturas utilizadas en la irradiación de alimentos, así como las disposiciones y especificaciones sanitarias, su envase, empaque y embalaje para posteriormente su transporte.

La etiqueta de los productos Mexicanos objeto de esta Norma, además de cumplir con lo establecido en el Reglamento y la Norma Oficial Mexicana (CODEX STAN-146, 1985 Etiquetado) correspondiente, no declaran en su etiqueta si han sido irradiados o no. Este hecho contraviene la Norma, pues en los productos alimenticios tratados con radiación debe aparecer impreso en el etiquetado el símbolo de radura con color verde (Figura 4). El etiquetado correcto sería con la finalidad de llevar un control reglamentario de los productos alimenticios irradiados y confirmaría que el tratamiento se lleva a cabo de manera inocua y correcta. Esta acción estaría conforme a todas las normas y códigos de prácticas de higiene del Codex pertinentes (Norma general del Codex para los alimentos irradiados CODEX 106-1983, Rev.1-2003).



Figura 4. Símbolo radura que debe presentar una etiqueta de un alimento irradiado

Entre 1976 y 1980 las investigaciones realizadas, permitieron al comité de expertos sobre el consumo de alimentos irradiados, concluir que la irradiación de alimentos hasta una dosis máxima de 10 kGy no constituye ningún peligro para la salud humana y tampoco presenta problemas nutricionales o que cambien las características organolépticas del producto.

En 1983 la Comisión del *Codex Alimentarius* del Programa Conjunto sobre Normas Alimentarias de la Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), aprobaron en forma de norma de carácter mundial las conclusiones sobre la irradiación de alimentos. La Norma brinda garantías a los gobiernos y a los consumidores respecto de la inocuidad y la eficacia de esta tecnología. Los organismos elaboraron un protocolo general para alimentos irradiados y un código de recomendaciones internacionales sobre el correcto uso de radiaciones en alimentos. Así se inició la base legal para la aceptación de alimentos irradiados (Josephson and Peterson, 1982) donde numerosos países han adecuado sus propias leyes o reglamentos para la comercialización y aceptación.

Actualmente un gran grupo de países están aplicando esta tecnología para el tratamiento de alimentos con fines comerciales. En México se construyó la primera planta de irradiación en 1970 para el tratamiento de especias, alimentos secos, frutas, hortalizas y productos médicos, y en 1986 la UNAM inició irradiaciones de productos con fines de investigación y comercialización parcial (Cruz Zaragoza, 2004).

En México para la irradiación de alimentos, especias, condimentos así como materias primas y aditivos alimentarios fue reglamentada y aprobada la Norma correspondiente (NOM-033-SSA1-1993) estableciéndose las dosis mínimas y máximas de irradiación permitidas, y pese a que esta norma ha sido cancelada en el 2004 se espera sea analizada para una nueva publicación.

2.3. Radiación

La radiación consiste en la propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas a través del vacío o de un medio material. Se dividen según su naturaleza. La radiación propagada en forma de ondas electromagnéticas como los rayos X, gamma, rayos UV, etc. se llama radiación electromagnética, mientras que la radiación corpuscular es la radiación transmitida en forma de partículas subatómicas tales como partículas α , β , neutrones, protones, electrones, etc., que se mueven a gran velocidad en un medio o el vacío, con apreciable transporte de energía.

Si la radiación transporta energía suficientemente como para provocar ionización en el medio que atraviesa, se dice que es una radiación ionizante, de lo contrario se habla de radiación no ionizante. El carácter ionizante o no ionizante de la radiación es independiente de su naturaleza corpuscular u ondulatoria.

La irradiación de alimentos, es un tratamiento que puede darse a ciertos alimentos mediante radiaciones ionizantes, generalmente electrones de alta energía u ondas electromagnéticas. El proceso involucra exponer los alimentos a cantidades controladas de esa radiación para lograr ciertos objetivos, por mencionar algunos; evitar la reproducción y desarrollo de microorganismos como bacterias y hongos que causan el deterioro de los alimentos, alterando sus propiedades químicas y organolépticas, también mediante la irradiación se puede reducir la velocidad de maduración o el rebrote de ciertas frutas y verduras.

El efecto que provocan estas radiaciones en el tejido del ser humano va a depender de la cantidad de energía de la fuente. Cuando una radiación ionizante de alta energía incide sobre un tejido, es capaz de separar algunos electrones de los átomos que lo componen y dar lugar a la formación de iones. Esto provoca distintas alteraciones bioquímicas en el organismo que favorecerán la aparición de determinados procesos patológicos. Este tipo de radiaciones ionizantes, se diferencia de las radiaciones de baja energía, que son incapaces de ionizar a los átomos pero pueden excitarlos y se denominan radiaciones no ionizantes (Calderón, 2000; Navarrete y Cabrera, 1993).

2.3.1. Tipos de radiaciones

La emisión electromagnética es comúnmente clasificada según la frecuencia, como: radiofrecuencia, microonda, infrarrojo, visible (luz), ultravioleta, rayos X y rayos gamma. Existen diferentes tipos de radiación (Tabla 4), en seguida se muestra un espectro del intervalo de frecuencias o longitudes de onda de la radiación electromagnética (Figura 5).

Tabla 4.- Diferentes tipos de radiaciones

Ionizantes	Radiación alfa
	Radiación beta
	Protones (partícula)
	Neutrones (partícula)
	Rayos X
	Rayos gamma
No ionizantes	Radiofrecuencia
	Microondas
	Infrarrojo
	Visible
	Ultravioleta

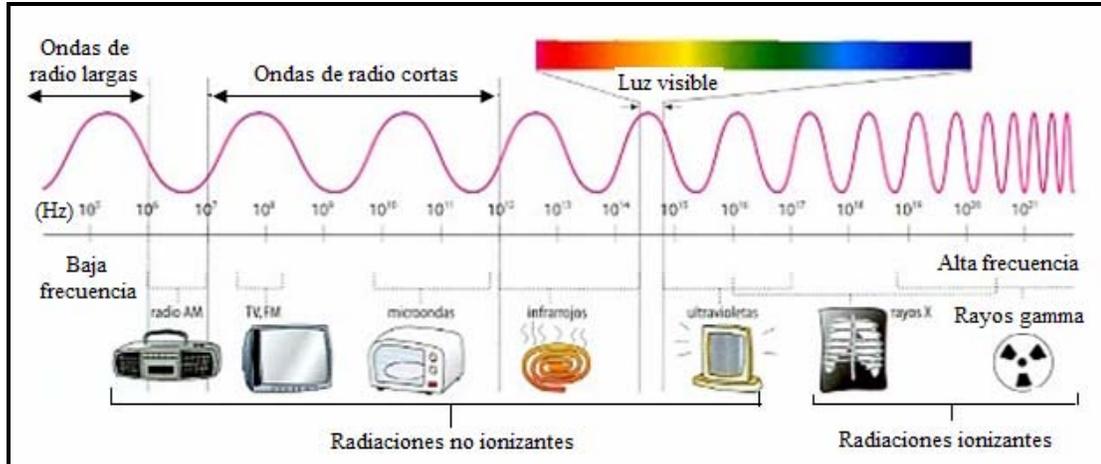


Figura 5. Espectro electromagnético

Las partículas α y β , y los fotones γ tienen diferentes niveles de energía y difieren en su capacidad para penetrar materiales. Por ejemplo, si damos el valor de 1 al poder de penetración de las α y β tendrían un valor de 100 y los rayos γ tendrían un valor de 10,000. Mientras las α apenas penetran las capas superficiales de la piel, las β pueden

penetrar desde una hoja fina de papel hasta el grosor de un dedo de tejido vivo (Calderón, 2000).

Los rayos gamma, son tan energéticos que sólo pueden ser detenidos por materiales densos tales como una pared de concreto, plomo o varios metros de agua tal como se observa en la figura 6.

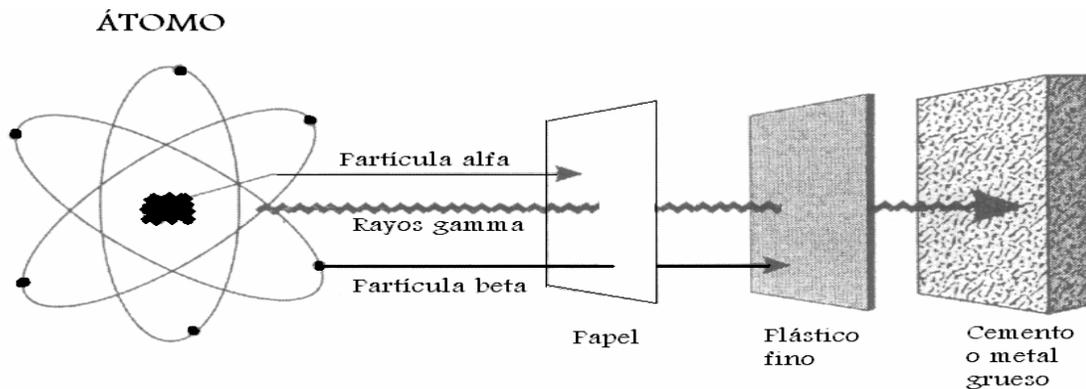


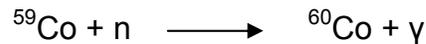
Figura 6. Poder de penetración de la radiación α , β y γ

2.3.1.1. Radiaciones ionizantes

Los rayos gamma, igual que los rayos X y los haces de electrones, son fotones o radiaciones ionizantes, ya que son capaces de liberar electrones de los átomos del material -con el que interactúan- fuera de sus órbitas normales, lo que se conoce como ionización. Esto hace que los átomos y moléculas de dicho material expuesto a la radiación ionizante, no sean eléctricamente neutros y por ello busquen electrones que los neutralicen nuevamente. Cuando los átomos o moléculas están cargados eléctricamente, se llaman iones o radicales libres y se dice que han sido ionizados. Los radicales libres son moléculas que tienen un electrón desapareado en capacidad de aparearse, por lo que son muy reactivos. El uso de la radiación ionizante es muy amplio y actualmente, las instalaciones como los irradiadores gamma emplean elementos radiactivos producidos en los reactores nucleares, como es el caso del ^{60}Co . Este radioisótopo es empleado principalmente como una fuente de rayos gamma en los procesos de uso industrial o de investigación (Potter, 1973).

2.3.2. Cobalto 60 (^{60}Co)

El ^{60}Co es la fuente de radiación gamma más empleada en investigación y procesos industriales, el cual es un isótopo radiactivo del ^{59}Co (estable). La reacción nuclear para obtenerlo es la siguiente:



La cual en forma breve se representa generalmente como $^{59}\text{Co} (n, \gamma) ^{60}\text{Co}$. El radioisótopo es producido en forma de óxido metálico, en los reactores nucleares puede alcanzar una actividad específica de 3.7×10^{12} Bq/g, dependiendo del tiempo que permanezca enriqueciéndose en el reactor nuclear.

Otra fuente de radiación gamma también empleada, pero en menos medida cada vez es el radioisótopo ^{137}Cs . El cesio se produce en forma de una sal CsCl_2 , muy soluble en agua, lo que le da una desventaja frente al óxido de cobalto insoluble en agua y presenta un alto punto de fusión. Además el ^{60}Co es eficaz como fuente de radiación gamma de alta intensidad. Las fuentes de cobalto para los irradiadores, se fabrica en pellets o pastillas y se encapsulan en barras de acero tipo lápices herméticos, los cuales son sometidos a pruebas estándares de calidad internacional contra fugas del ^{60}Co .

Las fuentes de este tipo deben confinarse en un blindaje adecuado para ofrecer al operador la seguridad ante la radiación que se requiere en alguna instalación radiactiva. Hay fuentes intensas o de alta actividad de aproximadamente 3.7×10^{12} Bq que se emplean con fines de investigación en las universidades e industria y las fuentes cercanas o mayores a 3.7×10^{14} Bq se utilizan en procesos industriales principalmente para modificar propiedades de materiales (Woods & Pikaev, 1994).

2.4. Radiactividad

La radiactividad fue descubierta en 1896, hace más de 100 años, por Henri Becquerel, como una consecuencia directa del descubrimiento de los rayos X por Roentgen. Algunos meses antes. Becquerel estaba trabajando con una sal de uranio, cuando encontró que emitía radiaciones similares a los rayos X, con un poder de penetración considerable. El término actual radiactividad aparece un año después en una publicación de Pierre y Marie Curie sobre sus investigaciones químicas de pechblenda, un mineral que contiene radio y uranio. Desde esta época, las radiaciones, los materiales que las emiten así como sus aplicaciones han sido continuamente estudiadas, dando lugar a la creación de nuevas disciplinas científicas, tales como la radioquímica, química de radiaciones, química nuclear, la física nuclear, medicina nuclear, por mencionar algunas.

La materia es radiactiva cuando los núcleos atómicos emiten partículas subatómicas o radiación electromagnética sin masa ni carga, teniendo lugar un intercambio de energía al mismo tiempo. El proceso por el cual los núcleos emiten partículas o rayos, perdiendo masa o únicamente energía, y convirtiéndose en otro elemento o cambiando solo su estado de energía del mismo elemento, es llamado decaimiento radiactivo. Existen en la naturaleza elementos radiactivos, constituidos principalmente por elementos pesados es decir con gran número de protones y neutrones o número de masa, sin embargo un elemento puede hacerse radiactivo cuando captura un neutrón incrementando en una unidad su masa atómica.

Las radiaciones emitidas por el núcleo atómico son cuatro especies principalmente:

- 1.-Partículas α consisten de 2 neutrones y 2 protones, por lo que son considerados como núcleos de helio con masa de 4 uma y 2 cargas positivas.
- 2.-Partículas β tienen carga negativa o positiva. Las partículas β^- es un electrón emitido por el núcleo al transformarse un neutrón en protón, y las partículas β^+ son emitidas cuando un protón se transforma en neutrón.
- 3.-Los neutrones, son partículas sin carga teniendo una masa de aproximadamente 1 uma. Si un núcleo pierde neutrones no cambia su número atómico pero su número de masa disminuye una unidad por cada neutrón emitido.

4.- Los rayos γ que es la radiación utilizada para la conservación de alimentos y sobre la cual enfocaremos nuestra atención; son radiaciones electromagnéticas con longitud de onda menores a los rayos X y en consecuencia con mayor energía. La energía emitida en la radiación γ proviene de la excitación o transición entre los niveles de energía emitidas por el núcleo de los átomos (Navarrete y Cabrera, 1993).

Debido a su corta longitud de onda y alta energía este tipo de radiación puede propagarse e interactuar con la materia en general. Es capaz de liberar electrones, esto es ionizar, y dependiendo del medio de interacción se formarán iones o radicales libres muy reactivos que pueden agregarse y formar nuevos compuestos, principalmente en un medio acuoso. La radiación ionizante es por tanto, otra forma de ionizar átomos o moléculas para llevar a cabo reacciones en la materia.

2.5. Decaimiento radiactivo

Los rayos γ son frecuentemente llamados fotones cuando se consideran como paquetes de energía con valor constante, emitidos por un núcleo radiactivo al decaer lo que hará que se convierta en algún otro elemento con otro estado de energía, proceso denominado como decaimiento radiactivo, dicho decaimiento se cuantifica por las vidas medias, que en el caso de ^{60}Co posee un vida media de 5.24 años, lo que significa que en ese periodo se reducirá a la mitad el número de átomos radiactivos constituyentes del núcleo.

Para alcanzar su estado base el ^{60}Co decae a ^{60}Ni mediante la desintegración vía emisiones β^- de 0.318 MeV que permite generar dos fotones gamma de energías de 1.33 y 1.17 MeV. El ^{60}Co decae al ^{60}Ni emitiendo radiación beta de baja energía y dos rayos gamma de 1.17 y 1.33 MeV. La reacción se representa como:



La figura 7, muestra el decaimiento del radioisótopo ^{60}Co a ^{60}Ni (estable), así como sus respectivas emisiones beta y gamma con energías de 1.17 MeV y 1.33 MeV (Josephson and Peterson, 1982).

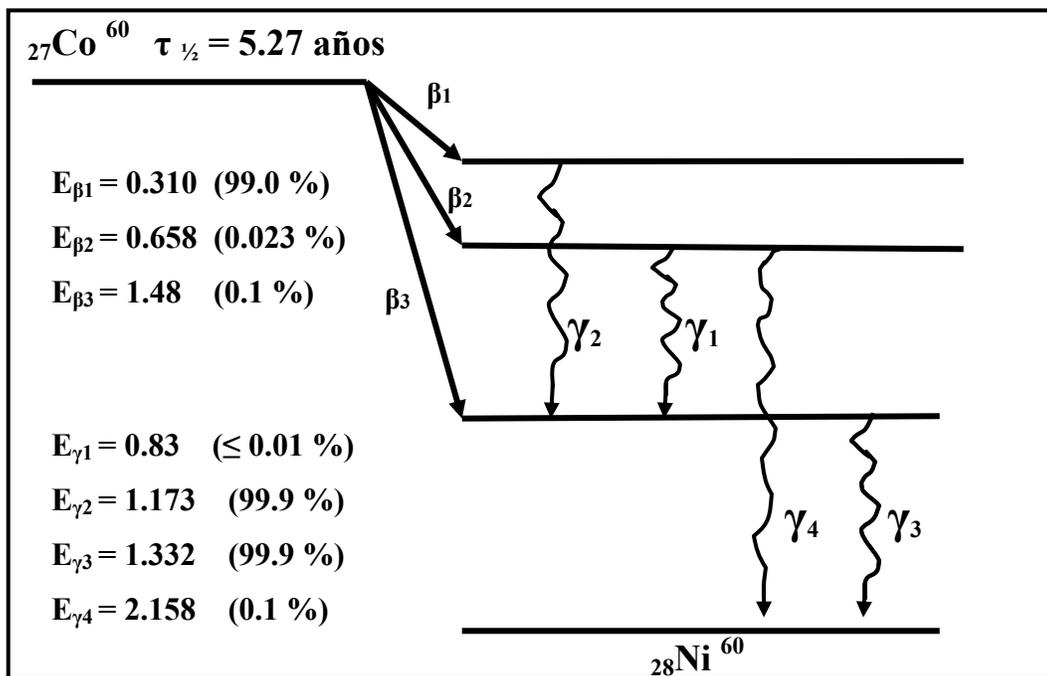


Figura 7. Decaimiento del ${}^{60}\text{Co}$, las energías están en MeV

2.6. Efectos de la radiación

Los rayos γ son emitidos por el núcleo, cuando éste se encuentra en un estado excitado y decae a un nivel inferior de energía. Este tipo de radiación no posee carga eléctrica ni masa, por lo que la interacción con la materia no es por atracción o repulsión eléctrica. Aunque existe un gran número de tipos de interacción de la radiación con la materia, sólo tres tienen importancia en la detección de la radiación y en la protección radiológica (Navarrete y Cabrera, 1993).

Los tres mecanismos de interacción de la radiación con la materia son: Efecto fotoeléctrico, Efecto Compton, y la Producción de pares. Estos tres procesos principales, además de otros, los electrones producidos o la radiación serán capaces de generar la ionización de la materia.

2.6.1. Efecto Fotoeléctrico

Se produce en la interacción con la materia de la radiación electromagnética de energía entre 0.08 a 0.1 MeV (Draganić and Draganić, 1971; Lovell, 1979). El fotón que interacciona como paquetes de energía $h\nu$ cede en su totalidad a un electrón del átomo, o desde una capa exterior al núcleo, haciendo que este salga a cierta velocidad,

perdiendo así energía y produciendo iones. La energía de los fotones es $h\nu$ y cuanto mayor es la frecuencia mayor es la energía. Por ello el fotón incidente debe tener mayor energía que la de enlace electrón-núcleo para desligar al electrón del potencial coulombiano que lo une al núcleo (Figura 8).

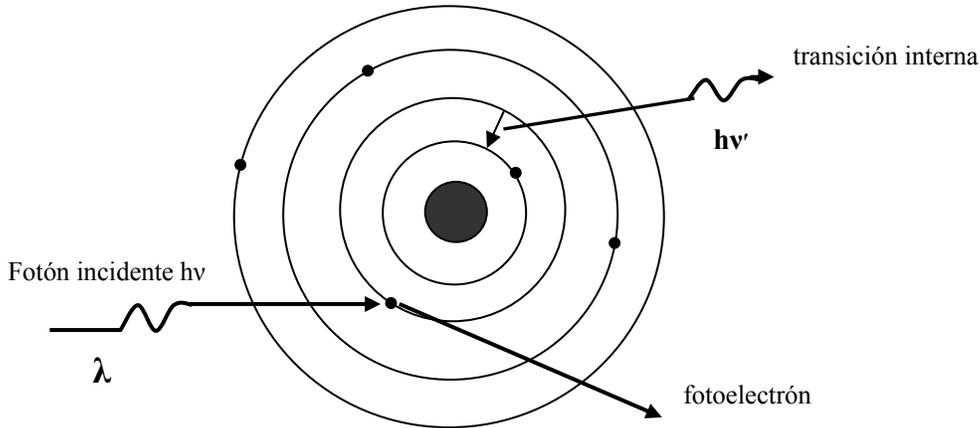


Figura 8. Efecto fotoeléctrico. Se produce un fotoelectrón y ocurre una transición interna

2.6.2. Efecto Compton

En éste efecto el fotón no transfiere toda su energía a un electrón, si no que el fotón incidente cede parte de su energía a un electrón en reposo (blanco) produciendo que el electrón salga con retroceso, mientras el fotón sale con menor energía y con una longitud de onda mayor (Figura 9). Ambos pueden ser desviados formando ángulos diferentes con respecto a la trayectoria original. Este efecto se produce a mayor energía que el efecto fotoeléctrico, y va de 0.1-10 MeV para fotones gamma y para átomo referidos al agua.

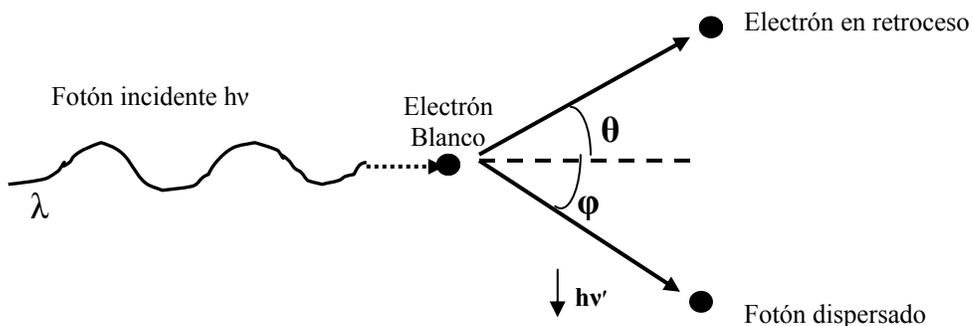


Figura 9. Efecto Compton

2.6.3. Formación de pares

En el proceso de producción de pares, ocurre solamente si el rayo gamma incidente tiene una energía en exceso de 1.02 MeV y que interacciona con un núcleo atómico (Figura 10). El proceso resulta en la conversión simultánea de la energía en dos partículas; el par electrón-positrón. La energía del rayo γ incidente puede ser muy alta (de 5-100 MeV en agua). El par producido será una β negativa y una positiva que se dirigen en direcciones contrarias. La probabilidad de producir el par crecerá rápidamente al aumentar el número atómico Z del medio. El negatrón a su vez causa ionización y el positrón existe hasta que interacciona con otro electrón para aniquilar el par, produciendo dos (a veces tres) fotones gamma de energía equivalente a la masa combinada de 0.511 MeV cada uno. Para que se conserve la energía y el momentum, este efecto debe ocurrir en las cercanías del núcleo atómico (Josephson and Peterson, 1982).

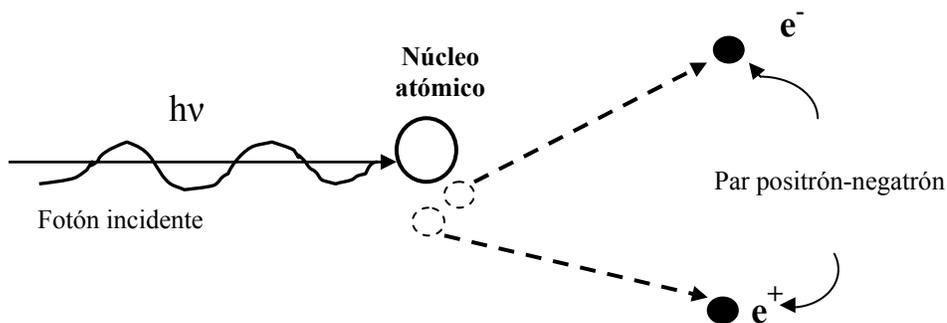


Figura 10. Formación de pares

2.7. Unidades utilizadas en la radiación

Durante el tiempo de interacción que la radiación hace con la materia, la radiación deposita cierta cantidad de energía medida como dosis, que comúnmente se llama dosis absorbida. Esta es la cantidad de energía depositada por cada unidad de masa como un kilogramo. El Sistema Internacional de Unidades adoptó el término de Gray (Gy), que se refiere a la dosis absorbida. Un Gray se define en términos de energía como la dosis de un joule en cada kilogramo de masa ($1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$) del material que

absorbe la energía impartida. Anteriormente se utilizaba el rad que era la cantidad de radiación de 100 ergios de energía absorbida por gramo de material irradiado (1 rad = 100 erg/g). La relación entre rad y gray es 1 Gy = 100 rad (Martin and Harbison, 1979). La razón de dosis absorbida (D) es el cambio de la dosis absorbida o la rapidez de dosis, por unidad de tiempo, es decir $D = dD/dt$ en unidades de [Gy/s].

2.8. Conservación de Alimentos

Los alimentos debido a su composición química son por lo general perecederos, por lo que necesitan ciertas condiciones de tratamiento, conservación y manipulación. Esto tiene implicaciones económicas, tanto para los fabricantes debido al deterioro de materias primas y productos elaborados antes de su comercialización, como para distribuidores y consumidores en el deterioro de productos después de su adquisición y antes de su consumo.

El ataque por microorganismos como bacterias y hongos, deterioran los alimentos con rapidez. Las enzimas, que están presentes en todos los alimentos frescos, son sustancias catalizadoras que favorecen la degradación de los mismos así como causando cambios químicos perjudiciales, en especial, la textura y el sabor. El oxígeno atmosférico puede reaccionar con componentes de los alimentos, produciendo rancidez o cambios en su color natural. Igualmente dañinas resultan las plagas de insectos y roedores, que son responsables de enormes pérdidas en las reservas de alimentos. No hay ningún método de conservación que ofrezca protección frente a todos los riesgos posibles durante un periodo ilimitado de tiempo. El enlatado y la congelación, son sólo algunos de los métodos más comúnmente empleados, aunque existen otros métodos tradicionales de conservación como el secado, el salado y el ahumado. Entre las nuevas técnicas experimentales se encuentran el uso de antibióticos y la exposición de los alimentos a la radiación ionizante. En la tabla 5 se presentan algunos de los métodos más comunes, utilizados para la conservación de alimentos, así como las características generales de cada uno de éstos (Calderón, 2000; Guzmán, 2007; Molins, 2001).

Tabla 5. Algunos Métodos de conservación de alimentos

Métodos de conservación	Características
Enlatado	Proceso de conservación por vacío. Evitando riesgo de botulismo.
Sustancias Químicas	Adición de conservadores como benzoato de sodio.
Refrigeración	Se mantienen los productos a bajas temperaturas entre -1 y 8 °C, pero por encima de su temperatura de congelación para no modificar su valor nutricional y sus características organolépticas, inhibiendo durante algunos días el crecimiento de microorganismos termófilos y mesófilos.
Congelación	Una fracción elevada de agua contenida en el alimento, cambia de estado físico formando cristales de hielo, aumentando la concentración de solutos en el agua no congelada, la combinación de bajas temperaturas y la reducción de la actividad del agua impide la multiplicación de los microorganismos. Temperatura mínima de -18°C
Deshidratación	Consiste en reducir a menos del 13% su contenido de agua, mediante una corriente de aire caliente, hasta que el nivel del agua sea adecuada para su conservación, depende del producto, en el caso de frutas secas (8 – 10 %), para nueces y semillas (3 – 5 %).
Ebullición	Los alimentos se someten a 95-105 °C por tiempo variable, asegura la destrucción de la mayor parte de la flora microbiana.
Esterilización	Destruye en los alimentos todas las formas de vida de microorganismos patógenos o no patógenos (115 -130 °C durante 15 - 30 minutos).
Pasteurización	Temperatura entre 63 y 65 °C durante 30 minutos, y la pasteurización en caliente, a una temperatura de 72 – 75 °C durante 15 minutos. Los alimentos pasteurizados se conservan sólo unos días ya que aunque los gérmenes patógenos se destruyen, se siguen produciendo modificaciones físicas y bacteriológicas.
UHT o Uperización	En la ultrapasteurización, la temperatura sube hasta 150°C con vapor saturado o seco durante 1 o 2 segundos produciendo la destrucción total de bacterias y sus esporas.
Liofilización	Proceso que consiste en la deshidratación de una sustancia por sublimación al vacío.
Radiación	Principalmente aplicar rayos gamma por un lapso de tiempo, para eliminar parásitos, microorganismos patógenos, evitar el desarrollo de brotes en bulbos, tubérculos y raíces

2.9. Irradiación de alimentos

La irradiación de alimentos se considera principalmente un método de conservación, pero también es una operación unitaria más general, utilizada para producir cambios específicos, tales como acelerar o retrasar la maduración. Estos efectos ocurren gracias al depósito de una parte de la energía proveniente de la radiación ionizante en el producto. Desde hace unas décadas varios países han empleado radiación gamma para la conservación de alimentos y en México se inició en la década de los 80's, aunque ya se habían iniciado investigaciones formales en 1967 utilizando el primer irradiador de ⁶⁰Co en el país instalado en la UNAM, el Gammacell-200 en el anterior

Laboratorio Nuclear, que originó al Centro de Estudios Nucleares y ahora Instituto de Ciencias Nucleares de la UNAM.

2.9.1. Empleo de las radiaciones ionizantes en alimentos

La principal radiación ionizante empleada en la irradiación de alimentos es hoy día los rayos gamma de elementos radiactivos como el ^{60}Co , haces de electrones y rayos X, de energías limitadas.

Para la irradiación de alimentos conviene emplear emisiones que tengan una mayor penetración, de manera que no sólo inactiven a los microorganismos y a las enzimas de la superficie sino que también produzcan los mismos efectos en el interior del alimento. Por lo que generalmente se emplean partículas beta y rayos gamma, para la irradiación de alimentos, siendo éste último el tipo de radiación seleccionada para esta tesis. En el caso de los haces de electrones que se producen por aceleradores, pueden producirse rayos X y el límite superior de energía es de 5 MeV, para ser usados en alimentos aunque también se pueden utilizar electrones de hasta 10 MeV de energía. Estos límites son los permisibles en las normas de irradiación de alimentos (NOM-033-SSA1-1993).

2.9.2. Aplicaciones de la irradiación de alimentos

El interés por la irradiación de alimentos se ha incrementado debido a las pérdidas de alimentos a nivel mundial, la FAO estima que las pérdidas de alimentos, después de haber sido cosechados son del 25%, debido a los insectos, las bacterias y los roedores, provocadas por la infestación, la contaminación y la degradación. Utilizar la irradiación de alimentos como única técnica de conservación no resolverá todos esos problemas, pero puede jugar un papel relevante en reducirlas, así como reducir también la dependencia con algunos fumigantes.

La irradiación de alimentos ofrece varios beneficios a la industria alimenticia y a los consumidores. De acuerdo con la cantidad de energía entregada, se pueden lograr distintos efectos. La Organización Mundial de la Salud (OMS) tiene la siguiente

clasificación, según la dosis aplicada como se muestra en la tabla 6 (Potter, 1973; Calderón, 2000, FAO/IAEA, 1970; http://www.codexalimentarius.net/web/index_es.jsp). Sin embargo el uso de la radiación de alimentos es específica para determinado tipo de alimentos, es decir, que la dosis depende de las características propias del producto (Tabla 7).

2.9.3. Irradiación de especias

Las hierbas y especias son un ejemplo de la irradiación en los alimentos. Estos productos crecen y se secan al aire. Incluso cuando se cubren con finas películas, los insectos, pájaros o roedores pueden depositar sus excrementos directamente sobre ellos, también, pueden contaminarse por el polvo que es arrastrado por el viento. Una vez desecadas estas hierbas o especias, son un buen hábitat para ciertos microorganismos como bacterias y hongos, si no se tienen buenas prácticas de manufactura, como condiciones ideales de almacenamiento o empaques que no permitan el paso de oxígeno, si están expuestos a la humedad, suelen desarrollarse los microorganismos, contaminando así el producto final (Molins, 2001).

Tabla 6. Clasificación de dosis, según su finalidad

Tipo de radiación	Rango	Acción en el alimento
Dosis bajas o Radurización	No más de 1 kGy	Se aplica para retardar los procesos fisiológicos como la maduración de frutas frescas y vegetales, produce inhibición de brotes, desinfectación de insectos e inactivación de parásitos
Dosis medias o Radurización	Entre 1 y 10 kGy.	Produce reducción en el número de microorganismos dañinos y patógenos que producen la descomposición de distintos alimentos (<i>salmonella</i> , <i>lactobacillus</i> , etc); reduciendo la posibilidad de enfermedades provocadas por alimentos contaminados. Se utiliza para mejorar propiedades tecnológicas de los alimentos, como reducir los tiempos de cocción de vegetales deshidratados; y para extender la vida en anaquel de varios alimentos (ciertas frutas, verduras y varios tipos de carne)
Dosis Altas o Radapertización	Mayores de 10 kGy	Consigue una reducción en el número de microorganismos hasta la esterilidad. Se aplica para esterilización de carne, pollo, mariscos y pescados, y otras preparaciones en combinación con un leve calentamiento para inactivar enzimas. Destrucción de microorganismos patógenos como <i>Sallmonella</i> , <i>Listaría</i> , <i>Estafilococos</i> , <i>Clostridium</i> , etc.

Tabla 7. La dosis según el producto (Calderón, 2000; NOM-033-SSA1-1993)

Producto	Dosis máxima	Finalidad de la irradiación
Productos pesqueros frescos y congelados.	1 kGy	Control de infestación por insectos durante el almacenamiento.
	2.2 kGy	Reducir carga microbiana y reducir número de microorganismos patógenos.
Bulbos y tubérculos	0.15 kGy	Inhibir germinación durante el almacenamiento. (inhibición de brotes)
Cereales	1 kGy	Control de infestación por insectos en el almacenamiento.
	5 kGy	Reducir carga microbiana
Frutos frescos, vegetales y leguminosas	1 kGy	Controlar ingestación por insectos, reducir carga microbiana y retardar procesos de maduración
Especias y condimentos	1 kGy	Control de infestación por insectos.
	10 kGy	Reducir número de microorganismos patógenos.
Carne	7 kGy	Controlar infestación por insectos, reducir carga microbiana y reducir microorganismos patógenos.

Los componentes que imparten el sabor a las hierbas y especias son aceites esenciales, pero la mayoría de estos aceites son sensibles a la temperatura, lo que complica su tratamiento con calor o vapor de agua. Anteriormente se utilizaba óxido de etileno para la sanitización de las especias, sin embargo el óxido de etileno es un gas tóxico, ataca la capa de ozono, y forma con el aire una mezcla explosiva e inflamable y puede ser un riesgo para la salud de los trabajadores y consumidores de los productos. A pesar de ello fue el método más utilizado para la eliminación de bacterias en las especias durante muchos años. La mayoría de los consumidores no lo saben, porque nunca hubo indicación de este tratamiento en las etiquetas del alimento. Como el dilema de los patógenos en las hierbas y especias seguía existiendo, los científicos consideraron que la irradiación era el método más efectivo y seguro para su control, además el proceso de irradiación permite que estos productos conserven sus aromas y sus sabores originales (Villavicencio *et al*, 1998). Actualmente existen diversas hierbas y especias que son tratadas por radiación para su consumo. Entre ellas tenemos a la albahaca, alcaravea, cebolleta, curry, hinojo, enebro, jengibre, cáscara del limón, nuez moscada molida, cúrcuma, paprika, sabia, tomillo, canela, pimienta, orégano, hojas de hierbabuena, manzanilla, etc., cuyas dosis varían de 0.05 – 10 kGy dependiendo del objetivo de la irradiación (Cruz Zaragoza, 2004).

2.10. Detección de alimentos irradiados

El tratamiento de alimentos con radiación ionizante es empleado en más de 42 países, desarrollados y en vías de desarrollo. Los beneficios de la irradiación son muchos, entre los que se encuentran la higiene en el manejo de los alimentos, la disminución de la flora microbiana, el retraso de los procesos de maduración en algunos y la aceleración en otros.

Sin embargo, es necesario monitorear los alimentos que han sido irradiados para conocer las dosis a las que fueron expuestos, así como detectar cuales sufrieron este proceso y cuales no, lo cual es importante para informar al consumidor de dichos productos además de cumplir con las normas establecidas para ello. En años recientes se han empleado diversos métodos físicos, químicos y biológicos para la detección de alimentos irradiados. En la tabla 8 se presentan los métodos físicos empleados para la detección de alimentos irradiados y los alimentos en los cuales se emplea (Delincée, 1998; Delincée and Christiane, 2002; Calderón, 2000; Lawrence *et al*, 1997).

Tabla 8. Métodos físicos para la detección de alimentos irradiados

Métodos Físicos	Alimento
Cambio en las propiedades físicas Impedancia eléctrica Viscosidad de suspensiones Espectroscopía de IR cercano Resonancia Magnética Nuclear (RMN)	Papas Pimienta Especias Alimentos que contienen celulosa
Detección de radicales libres Resonancia Paramagnética Electrónica (RPE)	Alimentos que contienen azúcar cristalizada Algunos crustáceos Alimentos deshidratados
Luminiscencia Quimioluminiscencia	Algunas especias, hierbas y alimentos deshidratados Pollo congelado y crustáceos Alimentos con trazas de silicatos (hierbas y especias)
Termoluminiscencia	
Métodos Químicos	
Detección de ciclobutanonas Evolución de gas (H ₂ , CO posiblemente H ₂ S y NH ₃) Hidrocarbonos Hidroperóxidos	Pollo crudo, aguacate, mango, etc. Pollo, huevo Pescado, huevo blanco, mariscos. Pollo, mariscos.
Métodos Biológicos	
DEFT (técnica de filtrado directo de epifluorescencia) DNA (ácido desoxiribonucleico) Germinación GNB (cuenta de bacterias gram negativa)	Bulbos Frutos cítricos Pollo, pescado Especias, pollo

A parte de la termoluminiscencia (TL) para la detección de alimentos deshidratados como las especias, se tiene otro método físico alternativo para la detección de alimentos irradiados, utilizado solo para la detección de radicales libres, es el método de la Resonancia Paramagnética Electrónica (RPE). Es una técnica no destructiva, altamente sensitiva (10^{-8} M) y selectiva en comparación con la técnica termoluminiscente, detecta la población de radicales producidos por la radiación que depende de la dosis recibida por el producto comestible, sin embargo la vida de duración de esos radicales son cortas por lo que la información se pierde y para fines de aplicación en la industria de la sanitización de condimentos principalmente no sería de utilidad pues se requiere de información completa, lo cual si nos proporciona el fenómeno de la TL.

La especie que se investigue en RPE debe tener por lo menos un electrón desapareado para presentar el fenómeno de resonancia, como los metales de transición, especies orgánicas con carga, radicales libres o moléculas que tengan un número impar de electrones.

En contraste con el fenómeno de termoluminiscencia (TL) consiste en la emisión de luz cuando se calienta un material previamente irradiado, donde los electrones liberados por la radiación (ionización), serán atraídos por fuerzas eléctricas a dichas vacancias y se quedan atrapados. Posterior a este proceso se someten a un tratamiento térmico donde adquieren la suficiente energía cinética para liberarse. Los electrones se liberan y dan como resultado la emisión de fotones del sólido que generan a las curvas de brillo (Molins, 2001; Bortolin *et al*, 2005).

2.11. Poliminerales

Un mineral es un sólido homogéneo por naturaleza con una composición química definida, pero generalmente no fija la cual puede variar dentro de ciertos límites. Un mineral posee una disposición atómica ordenada de átomos de los elementos que está compuesto, y esto da como resultado el desarrollo de superficies planas conocidas como caras. Si el mineral ha sido capaz de crecer sin interferencias, las caras pueden

intersecarse para producir formas geométricas características conocidas como cristales. Normalmente se forma mediante un proceso inorgánico (Dana *et al*, 1996; Phillips, 1986).

La palabra cristal se deriva de *Krustallos*, el nombre dado por los antiguos griegos a los hermosos cristales de cuarzo de seis caras. La belleza depende de una combinación de cualidades tales como el color, la forma, la proporción o apariencia agradable a la vista; esto introduce el concepto de simetría de la forma, que es muy importante en el estudio de los cristales.

En los alimentos existen minerales, que pueden ser portadores de información a procesos de tratamiento que han sufrido lo mismos, y que puede ser de gran utilidad cuando queremos establecer parámetros que sirvan para identificar si el alimento fue sometido a alguna irradiación, ya que estando estos presentes durante la irradiación, guardan la información en forma de defectos en la red cristalina, entonces se espera obtener señales TL, aun en largos periodos de tiempo.

Generalmente, los minerales se clasifican atendiendo a la forma en que se originan, a sus características cristalográficas, a su composición química, mencion aparte merecen los cristales y, entre ellos, los llamados "piedras preciosas" que siempre han cautivado a la humanidad. Los elementos nativos son los elementos que aparecen sin combinarse con los átomos de otros elementos como el oro (Au), plata (Ag), cobre (Cu), azufre (S), diamante (C).

Aparte de la clase de los elementos nativos los minerales se clasifican de acuerdo con el carácter del ion negativo (anión) o grupo de los aniones, los cuales están combinados con iones positivos, tales como podemos ver en la tabla 9 (Díaz, 1976; Calderón, 2000).

Tabla 9. Clasificación química de los minerales

	Características
Sulfuros	Se distinguen con base en su proporción metal: azufre. Como son: galena PbS, esfalerita ZnS, pirita FeS ₂ . Incluido compuestos de selenio (Selenide), arseniuros (Arsenide), telururos (Telluride), antimoniuros (Antimonide) y compuestos de bismuto (Bismutide).
Haluros	Los aniones característicos son los halógenos F, Cl, Br, los cuales están combinados con cationes relativamente grandes y con una valencia pequeña, como la halita NaCl, silvinita KCl, fluorita Ca F ₂
Hidróxidos Y Óxidos	Los hidróxidos están caracterizados por iones de hidróxido (OH ⁻) o moléculas de H ₂ O ⁻ , como son: limonita FeOOH: goethita - FeOOH, lepidocrocita -FeOOH. Los óxidos son compuestos de metales con oxígeno como son: cuprita Cu ₂ O, corindón Al ₂ O ₃ , hematita Fe ₂ O ₃ , cuarzo SiO ₂ , rutilo TiO ₂ , magnetita Fe ₃ O ₄ .
Carbonatos	El anión es el radical carbonato (CO ₃) ²⁻ , como son: calcita CaCO ₃ , dolomita CaMg(CO ₃) ₂ , malaquita Cu ₂ [(OH) ₂ /CO ₃].
Sulfatos	El anión es el grupo (SO ₄) ²⁻ en el cual el azufre tiene una valencia 6+, como son: en la barita BaSO ₄ , en el yeso CaSO ₄ *2H ₂ O.
Fosfatos, Arseniatos y Vanadatos	En los fosfatos el complejo aniónico (PO ₄) ³⁻ es el complejo principal, como en el apatito Ca ₅ [(F, Cl, OH)/PO ₄] ₃ los arseniats contienen (AsO ₄) ³⁻ y los vanadatos contienen (VO ₄) ³⁻ como complejo aniónico.
Silicatos	Es el grupo más abundante de los minerales formadores de rocas donde el anión está formado por grupos silicatos del tipo (SiO ₄) ⁴⁻ . Es la combinación de silicio con átomos de O ₂ par formar unidades estructurales de tetraedros de SiO ₂ solas o combinadas entre sí.

Este último grupo de los silicatos pueden presentarse en una estructura de forma aislada (nesosilicatos) o unidos entre sí por compartición de un vértice de oxígeno formando unidades dobles. Los silicatos son clasificados de acuerdo al tipo o unidad estructural que forman las unidades tetraédricas (Tabla 10), (Phillips, 1986; Díaz, 1976).

Tabla 10. Clasificación de silicatos

Tipo de unidad presente	Clasificación	Mineral representativo
Tetraedros aislados	Nesosilicatos	Olivino
Tetraedros dobles	Sorosilicatos	Epidota
Tetraedros en ciclos (3, 4 o 6)	Ciclosilicatos	Berilo, turmalinas
Cadenas simples	Ionosilicatos	piroxenos
Cadenas dobles		Anfiboles
Planos tetraedros	Filosilicatos	Micas
Tetraedros tridimensionales	Tectosilicatos	Cuarzo, plagioclasas (feldespatos Ca-Na, feldespatos potásicos)

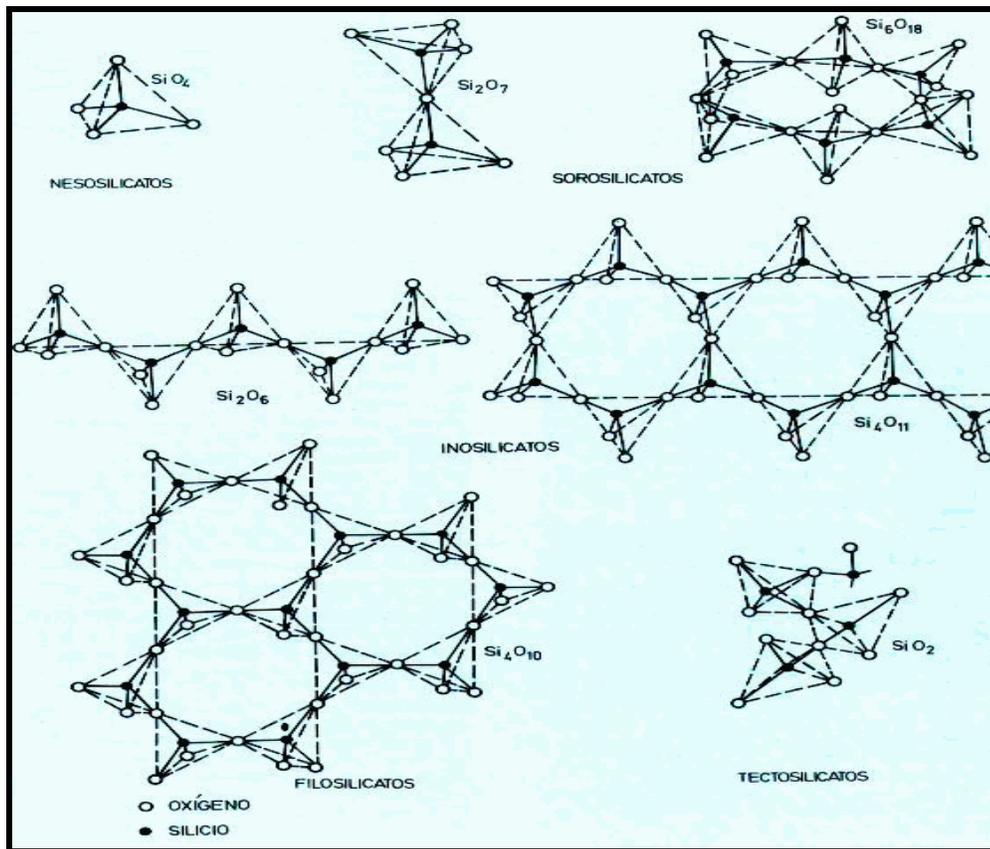


Figura 11. Estructuras cristalinas de los silicatos (<http://gl.pandapedia.com/wiki/Cuarzo>)

2.11.1. El cuarzo (SiO_2)



Fórmula química:	SiO_2
Clase:	Silicatos
Subclase:	Tectosilicatos
Sistema cristalino:	Romboédrico (hexagonal)
Brillo:	Vítreo
Dureza:	7 según la escala de Mohs.
Fractura:	Concoidea
Exfoliación:	Ausente, fractura concoidea.
Densidad:	$2,65 \text{ g/cm}^3$

Figura 12. Una muestra de cuarzo (SiO_2) y sus características físicas

En el caso del cuarzo puede formarse durante la cristalización lenta de los magmas terminales muy ácidos (Figura 12) (<http://gl.pandapedia.com/wiki/Cuarzo>). Los silicatos ferromagnéticos, de color oscuro son los que permanecen de forma residual cuando, durante el ascenso, se van segregando en regiones profundas. El cuarzo es uno de los minerales que caracterizan la composición de las rocas magmáticas plutónicas que forman el zócalo o basamento de los continentes, especialmente el granito, es el último de los minerales en solidificarse durante la formación de estas rocas.

Después de los feldespatos el cuarzo es el mineral más abundante de la corteza terrestre. Cristaliza en dos sistemas cristalinos dependiendo de la temperatura:

1.- Cuarzo alto.- Por encima de los 573 °C en el sistema hexagonal, por ejemplo con la forma típica de bipirámides hexagonales, es considerado del tipo (β), que al enfriarlo puede convertirse en cuarzo tipo alfa (α).

2.- Cuarzo bajo.- Por de bajo de los 573 °C en el sistema trigonal, como cristal trigonal de habito columnar, es considerado del tipo (α), y cristaliza en la clase trigonal trapezoédrica del sistema hexagonal, esta modificación es la más común, se encuentra en granitos, pórfidos y en algunas pegmatitas.

Tiene una distribución de los átomos de silicio, donde un átomo de oxígeno esta entre cada par de átomos de Si. Como el Si y el O tienen diferentes electronegatividades, el enlace Si-O es polar. No obstante el cuarzo tiene gran dureza y el punto de fusión alto. Generalmente presentan impurezas las cuales hacen que pueda adoptar diferentes tonalidades como color amarillo, rojo, rosa, verde, azul y negro, pero bajo algún tratamiento térmico desaparecen sus colores (Figura 13) (<http://gl.pandapedia.com/wiki/Cuarzo>).

Cuando su tono varía al pardo o grisáceo se le llama cuarzo ahumado; amatista si es violeta, citrina si es amarillo. Las cristalizaciones en una cavidad se llaman "geodas", y sobre una superficie plana o convexa se llaman "drusas" (Tabla 11).



Figura 13. Variedades de cuarzo

Tabla 11. Modificaciones del Cuarzo (SiO₂)

Modificaciones de SiO ₂	Sistema cristalino	Densidad en g/cm ³	Condiciones de formación
Cuarzo	trigonal	2,65	T < 573°C
Cuarzo	hexagonal	2,53	T > 573°C
Tridimita	monoclínico	2,27	
Tridimita	hexagonal	2,26	T > 870°C
Cristobalita	tetragonal	2,32	
Cristobalita	cúbico	2,20	T > 1470°C
Coesita	monoclínico	3,01	P > 20kbar
Stishovita	tetragonal	4,35	P > 80kbar
Lechatelierita vidrio natural de sílice	amorfo	2,20	relámpagos incidentes en arena de puro cuarzo, impactos de meteoritos
Ópalo (SiO ₂ aq)	amorfo	2,1 - 2,2	

(<http://gl.pandapedia.com/wiki/Cuarzo>)

Algunas variedades del cuarzo generalmente presentan luminiscencia, y también propiedades piezoeléctricas. Es químicamente muy inerte y resiste a la meteorización química que provoca la intemperie, a la vez que sus granos son muy duros y difíciles de erosionar en su superficie su dureza es tal que puede rayar los aceros comunes. Como consecuencia, el cuarzo del granito permanece entero, mientras que los otros minerales

como micas y feldespatos se convierten en arcillas a la vez que se disgregan. Las arcillas son esenciales en los procesos sedimentarios, mientras que los granos de cuarzo son los que forman la mayor parte de las arenas.

2.11.2. Comportamiento de sólidos cristalinos

Es necesario explicar el comportamiento de los sólidos cristalinos denominados en esta tesis como poliminerales ya que estos se involucran directamente con el fenómeno de la termoluminiscencia. Los poliminerales son sólidos presentes en el Pimentón rojo (*Capsicum annuum* L.) de origen Mexicano, principalmente cuarzo y en menor proporción feldespatos.

En el caso ideal un sólido cristalino está formado por un arreglo de átomos. Esta red cristalina puede generarse repitiendo indefinidamente en todas direcciones, un arreglo elemental llamado celda unitaria. La estructura cristalina específica que forma un sólido, depende de varios factores, siendo uno de ellos el tipo de fuerza que mantiene a los átomos unidos. Es precisamente el tipo de fuerza que clasifica a los sólidos cristalinos en metálicos, covalentes e iónicos, dependiendo del enlace que permite la fuerza de unión (Moffat *et al*, 1986).

En los minerales extraídos del Pimentón rojo (*Capsicum annuum* L.), compite el tipo de fuerza iónica de unión, en la que uno de los átomos participantes cede electrones al otro el cual los captura. Las fuerzas de enlace interatómicas son del tipo coulombiana. Cuando un átomo con un electrón fuera de una capa cerrada cede y otro átomo acepta un electrón, forman así dos iones, uno positivo por que cedió un electrón y el otro negativo por que ganó un electrón adicional, por lo tanto la atracción coulombiana los mantiene unidos. Los cristales iónicos por excelencia son los halogenuros alcalinos, por ejemplo el NaCl, KCl, LiF, KBr, etc. En realidad, todos los cristales en la naturaleza contienen defectos de varias clases. Los defectos en general, serán cualquier alteración de la red cristalina. Los defectos de tipo puntual pueden ser de tipo intrínsecos y extrínsecos (Furetta y Weng, 1998).

Los defectos puntuales, son alteraciones del cristal en algún sitio, y consiste en la ausencia o exceso de iones, estos a su vez pueden ser intrínsecos cuando exista un

átomo o ión extra donde no debía de haber (denominado defecto Frenkel) ó que falte uno de los átomos o iones dentro del cristal (llamada vacancia), esta puede ser de un ión negativo o positivo (defecto Schottky). Mientras los defectos extrínsecos son impurezas, iones distintos a los que forma la red pueden ser sustitucionales (impurezas que reemplazan a algún ion de la red), o intersticiales (impurezas o iones extraños que se acomodan en el espacio libre entre los iones de la red). Estos defectos se agregan de manera que se mantienen la estequiometría y la neutralidad eléctrica.

Los defectos extrínsecos o impurezas pueden ser naturales en el laboratorio, en el caso de los poliminerales extraídos de los alimentos, son defectos de carácter natural. Los sólidos en general pueden impurificarse con iones monovalentes, divalentes, etc., dependiendo de las propiedades que se desean investigar. En el caso de los poliminerales, los iones son impurezas presentes en sus estructuras y son muy particulares dependiendo del alimento que se utilizó, lo que se ve reflejado en las emisiones TL obtenidas. En particular las impurezas en los poliminerales jugarán el papel principal en el proceso termoluminiscente para la detección de alimentos irradiados (Calderón, 2000).

En un modelo simple que describe a los sólidos, se supone que los iones impureza se localizan en la llamada banda "prohibida" o gap. Esta banda se ubica entre la banda de conducción y la de valencia. La banda de conducción corresponde a los electrones de las capas externas, estos son más susceptibles de ionizarse debido a que están menos atraídos al núcleo, mientras que la banda de valencia corresponde a los electrones más cercanos al núcleo, por lo que se necesita mayor energía para ionizar o liberar electrones de los átomos. Los electrones libres pueden atraparse en vacancias (Figura 14) de signo positivo, generando un tipo de defecto que mediante la estimulación con calor puede ocurrir la recombinación entre huecos-electrones. Mientras que si el material fue impurificado con iones entonces se formarían vacancias y también puede ocurrir que los iones impurezas sustituyan a alguno de la red, pero finalmente también los defectos intersticiales con vacancias (Figura 14) pueden formar la pareja impurezas-vacancia que se recombinaría con la estimulación térmica originando la emisión luminosa, fenómeno del cual se habla más adelante.

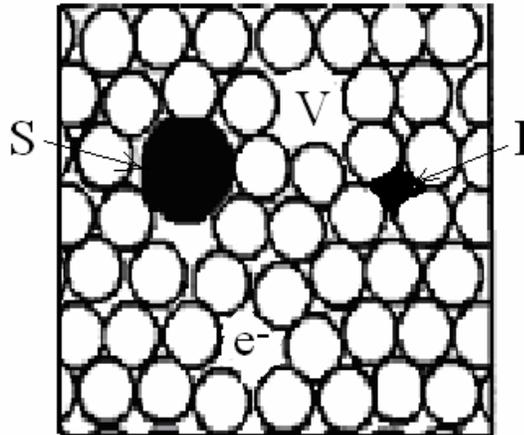


Figura 14. Modelo de cristal cuyo arreglo periódico se ve distorsionado por la presencia de los defectos puntuales. V: vacancia, I: ion impureza intersticial entre los iones, S: ion sustitucional en la red, e⁻: electrón o carga atrapada en una vacancia

2.12. Termoluminiscencia

Es la propiedad que poseen algunos minerales para producir luz visible cuando se calienta a una temperatura por debajo del rojo. Se observa especialmente en minerales no metálicos que contienen iones ajenos a la red como activadores (Mahesh *et al*, 1989), por ejemplo, la Fluorita posee esta propiedad cuya variedad *clorofana* fue denominada así por la luz verde que emite. Otros minerales termoluminiscentes son la calcita, la escapolita, la lepidolita y ciertos feldespatos (Dana, 1996).

El uso de la termoluminiscencia para discriminar entre alimentos irradiados y alimentos no irradiados es un método que tiene mucho futuro. Se sabe que la respuesta termoluminiscente de hierbas, especias y condimentos es el resultado de la materia inorgánica adherida a sus superficies en un proceso natural, esto es, durante el desarrollo de la planta, hierba, especia o condimento la cual toma nutrientes del suelo entre ellos minerales, para su óptimo crecimiento. Paralelamente se impregna de partículas que se encuentran en el aire y otros agentes, algunos minerales como la calcita (CO₃Ca) y el cuarzo (SiO₂) que se incorporan con el aire y secado de estas plantas (Engin, 2007; Tufiño, 2007; Torres y Monsivais, 2007). A este tipo de sólidos son conocidos como extrínsecos. Por otro lado, los sólidos intrínsecos son aquellos

sólidos que en los alimentos forman parte constitutiva de los mismos; los cuales forman la parte orgánica.

El estudio de la respuesta termoluminiscente de hierbas, especias y condimentos como un todo, es decir, parte orgánica e inorgánica, resulta en señales bajas de TL, lo que ocasiona una curva de TL inadecuada y de baja capacidad de reproducción (Torres, 2005). Es por ello que tiene una gran importancia encontrar las condiciones adecuadas en el método de extracción para tener una eficiente separación entre la parte orgánica e inorgánica del pimentón rojo Mexicano (*Capsicum annuum* L.), pues de la fracción polimineral dependerá que la intensidad de la emisión termoluminiscente sea más intensa y más estable (Tufiño, 2007; Correcher *et al*, 1998).

La termoluminiscencia (TL) es un fenómeno que consiste en la emisión de luz cuando se calienta un material previamente irradiado, se puede explicar en términos de vacancias (ausencia de iones o átomos en los sitios correspondientes) donde los electrones liberados por la radiación (ionización), serán atraídos por fuerzas eléctricas a dichas vacancias quedando atrapados (Mahesh *et al*, 1989). Posterior a este proceso se someten a un tratamiento térmico donde adquieren la suficiente energía cinética para liberarse. Los electrones se liberan de esa energía a través de procesos conocidos, de relajación o recombinación, que dan como resultado la emisión de fotones del sólido. A esta capacidad de creación de defectos o vacancias también se le interpreta como una forma de guardar información, es decir que se pueden construir dispositivos que sirvan como “memorias ópticas o magnéticas” (Figura 15). Por lo que la cantidad de luz emitida por medio de calentamiento, conocida como emisión termoluminiscente, en un rango de temperaturas de 20 a 400°C puede dar una medida de la dosis de radiación (curva de brillo) a la que ha sido expuesto el material (Mahesh *et al*, 1989; Cruz-Zaragoza *et al*, 2006b).

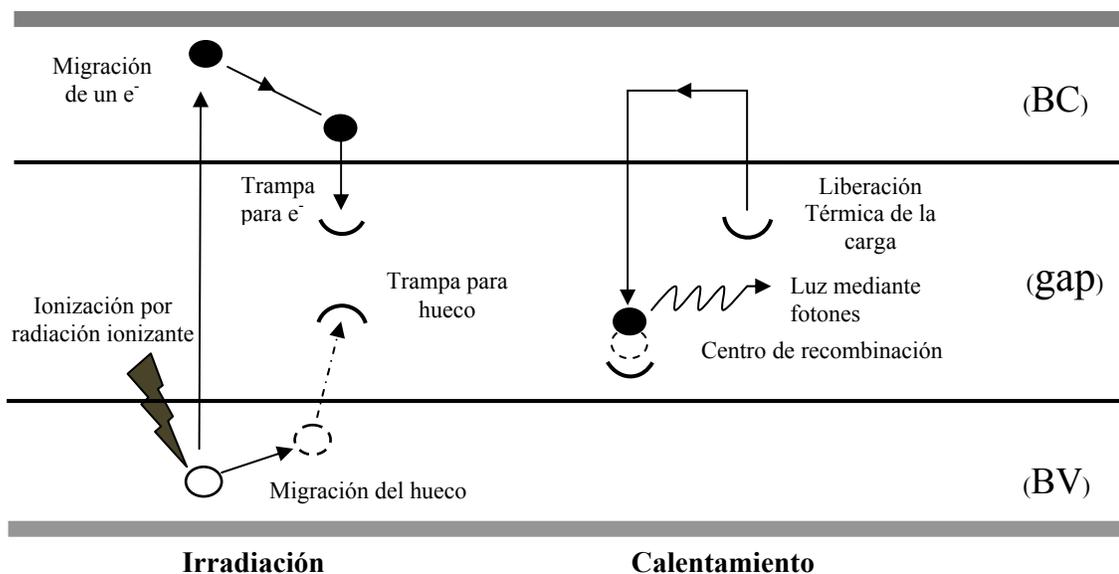


Figura 15. Modelo del fenómeno de TL en un cristal simple. BC: banda de conducción, BV: banda de valencia, gap: banda prohibida.

2.13. Identificación de polimineraleles

Para identificar los polimineraleles contenidos en los alimentos, se realizan procedimientos de caracterización de sólidos. Utilizando métodos ópticos como microscopía electrónica de barrido; o difracción de electrones o de rayos X, espectroscopías Raman y de Resonancia paramagnética electrónica (RPE). Una de las técnicas más utilizadas, por su sencillez y rapidez, para la caracterización de minerales, es sin duda la difracción de rayos X (DRX).

La difracción de rayos X es una técnica muy práctica para la identificación cualitativa de compuestos cristalinos, y se refiere a la dispersión de los rayos X por los iones o átomos de un sólido cristalino. Basada en patrones de difracción de rayos X que son únicos para cada sustancia cristalina, es posible deducir el ordenamiento y finalmente la identidad química de una sustancia; al coincidir la referencia con una muestra desconocida.

Existen en la literatura y en bibliotecas, reportes de la composición mineral obtenidas a través de la identificación por DRX de algunas especies, como por ejemplo para el caso de pimentón de origen español para el cual se reporta la siguiente composición mineral:

en primer lugar cuarzo como la fracción mineral mayoritaria, seguida de feldespato Ca-Na, feldespato potásico y calcita.

Dicha proporción de los minerales presentes en alimentos siempre será diferente y variable según la región, la composición química del suelo en el que haya crecido la planta, y también dependerá del metabolismo de la misma (Skoog, 1990).

La composición de los poliminerales del Pimentón rojo (*Capsicum annuum* L.) de origen mexicano fueron obtenidas por DRX realizadas en una tesis anterior a ésta (Tufiño, 2007), se encontró que la composición porcentual es de un mineral altamente cristalino y conformado por cuarzo en casi 100% en los poliminerales de las muestras. Las muestras fueron del mismo lote de Pimentón rojo proporcionado por la industria mexicana Tres Villas S.A. Los resultados TL de las muestra poliminerales se presentan en el capítulo de resultados de esta tesis.

Capítulo 3. Desarrollo experimental

Para el desarrollo del trabajo experimental, se requirió de materiales, reactivos y equipos de laboratorio (Tabla 12 y 13), los cuales se utilizaron para la separación de poliminerales de la parte orgánica de las muestras, obtención del tamaño de partícula, e irradiación de los poliminerales obtenidos del pimentón rojo (*Capsicum annum L.*) de origen Mexicano. Los pasos que se siguieron para el trabajo experimental se resume en el diagrama 1 que muestra el flujo de actividades y experimentos realizados hasta la obtención de los datos de esta tesis.

Tabla 12. Material y equipos utilizados

Material	Equipos
<ul style="list-style-type: none"> - Probeta de 500 mL - Vasos de precipitado de 1000 mL - Espátula - Pizeta - Agitador magnético - Agitador de vidrio - Pipetas pasteur - Vidrio de reloj - Pincel de cerdas de abanico - Mortero de ágata - Tamiz No. 374, 200 y 100 (tamaño de partícula 149, 74 y 53 μm) - Caja petri de vidrio - Viales de plástico con tapa - Discos de aluminio de 6 mm de diámetro por 1 mm de profundidad - Pinzas para los discos - Caja de cartón (chica) - Papel aluminio - Termómetro - Cronómetro 	<ul style="list-style-type: none"> - Balanza Analítica Ohaus - Equipo para destilación fraccionada - Parrilla eléctrica con agitación magnética (marcas Osyma y Thermolyne) - Sonicator marca Brason 3210R-MT (117 Volts 120 Wats) - Irradiador autoblandado Gammacell 200 con ^{60}Co - Irradiador Gammabeam 651PT tipo alberca profunda con ^{60}Co - Mufla Thermolyne furnace 47900 y Sybron 1500 - Lámpara de luz ultravioleta (UV) de vapor de mercurio, potencia de radiación 218 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$, Modelo OS-9286, 120 VAC/60 Hz, marca Pasco Scientific - Equipo lector termoluminiscente Harshaw modelo TLD 3500 acoplado a una computadora

Tabla 13. Reactivos y materia prima utilizados

Reactivos	Materia prima
<ul style="list-style-type: none"> - Alcohol etílico puro reactivo marca J.T. Baker - Agua Bidestilada - Acetona grado analítico marca J.T. Baker - Peróxido de Hidrógeno al 30% marca J.T. Baker 	<ul style="list-style-type: none"> - Lote de pimentón rojo deshidratado (<i>Capsicum annum L.</i>) de origen mexicano de la industria Mexicana Tres Villas.

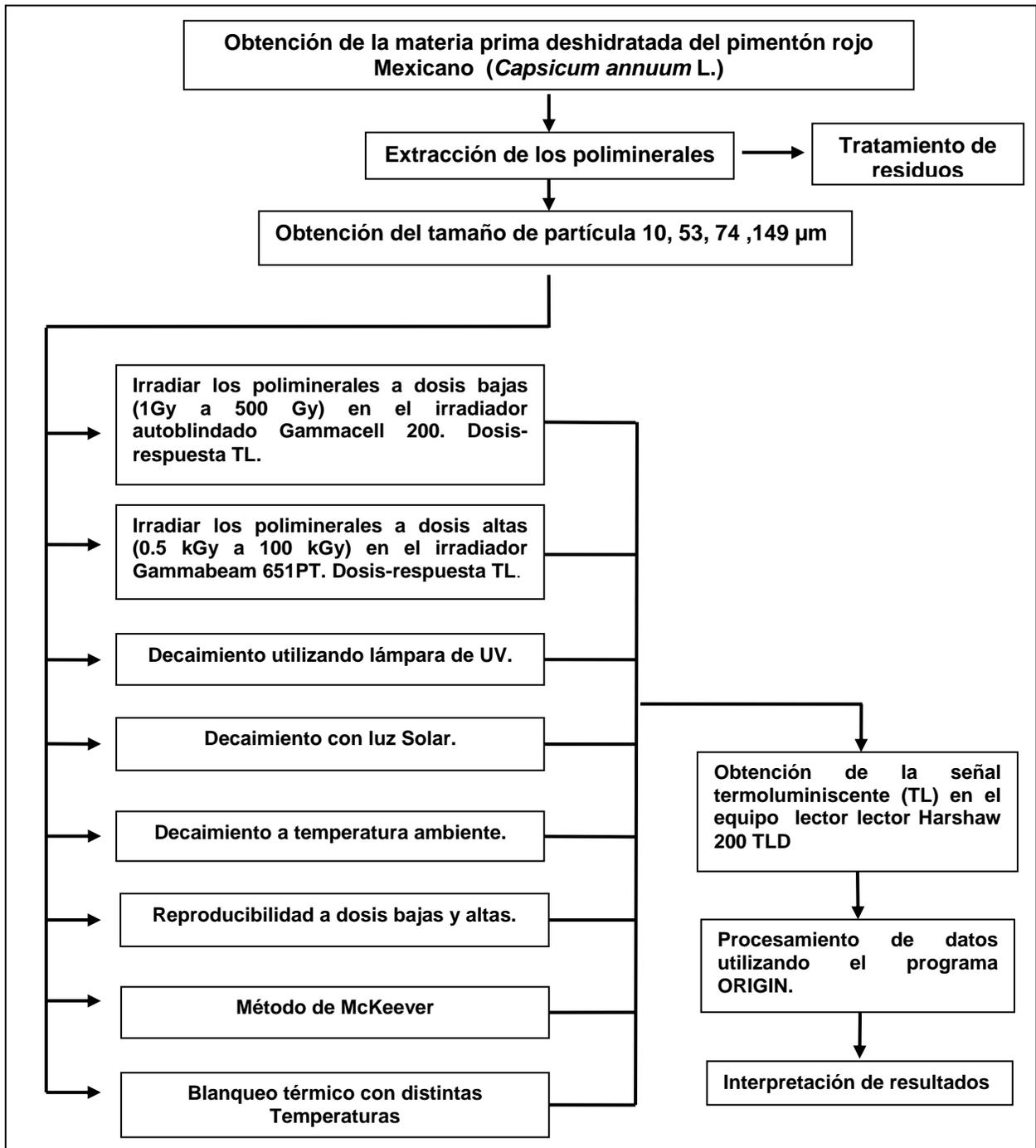


Diagrama 1. Diagrama de flujo del desarrollo experimental

3.1. Separación de poliminerales del pimentón rojo

Se realizó la separación de los poliminerales procedentes del pimentón rojo Mexicano (*Capsicum annuum* L.) de origen mexicano basándose en la separación entre las dos fases orgánica e inorgánica, mediante la suspensión de la muestra en una mezcla de Etanol / Agua, 70:30, la cual permitió una eficiente extracción de la materia orgánica y la precipitación de la materia inorgánica.

Se utilizó un lote de muestras proporcionadas por la industria Mexicana Tres Villas S.A. de C.V., deshidratado en polvo de pimentón rojo. Las muestras se tomaron del lote al azar y antes de ser sometidas a irradiación, por lo que es importante señalar que se trabajó con muestras no irradiadas.

Para la extracción del polimineral, se pesaron 25g aproximadamente y se mezclaron con una solución de etanol/agua 70:30, en un vaso de precipitado de 1L. Se colocó en agitación constante por 24h hasta observar en el fondo del vaso un precipitado que contiene al polimineral. Se dejó sedimentar para eliminar el alcohol, se agregó 100mL de agua bidestilada y se procedió a la extracción de los poliminerales del fondo del vaso con una propipeta. Se hicieron lavados sucesivos con agua bidestilada, se agregó peróxido de hidrógeno para eliminar la materia orgánica residual. Nuevamente se lavó con agua bidestilada y se dejó secar con acetona.

3.2. Tratamiento de residuos

El alcohol etílico que fue separado por decantación de la mezcla, se recuperó mediante una destilación fraccionada, agregando aproximadamente 500mL de residuo en un matraz de bola de 2L y calentando con una parrilla de calentamiento, alcanzando un máximo de 75°C, se recuperó el alcohol en una probeta de 1L para una nueva extracción. Toda la parte orgánica de pimentón rojo es desechada en el contenedor correspondiente para materia orgánica del laboratorio. La cantidad de peróxido que es

eliminado, 15mL aproximadamente en toda la semana, se diluye con suficiente agua y se desecha en la tarja.

3.3. Obtención del tamaño de partícula de las muestras

Los poliminerales obtenidos se pasaron por mallas de diferentes aperturas, lográndose los tamaños de 149, 74 y 53 μm . Para obtener el tamaño de 10 μm se utilizó el método Zimmerman. Este método es para obtener tamaño de partícula de 10 μm , es una técnica utilizada en arqueología útil para datación, propuesta inicialmente por Zimmerman (Zimmerman, 1971). La técnica se adaptó al laboratorio, moliendo en un mortero de ágata los granos grandes para disminuir su tamaño de partícula. Los poliminerales se depositaron en un vaso de precipitado con acetona q.p. Posteriormente el vaso se somete a un baño de agua en un equipo de sonicación por 10 minutos. Pasado el tiempo mencionado, se retira el vaso rápidamente y se decanta, cuidando no arrastrar los sedimentos. El proceso se repite para el baño de sonicación por cinco minutos y se repite la decantación. La solución obtenida al final con el sedimento corresponde a partículas con tamaño de 10 μm . Finalmente se pesaron los poliminerales para obtener el rendimiento por cada lote. El rendimiento que se obtuvo varió entre 0.215 a 0.296 %, como se muestra en la tabla 14.

Tabla 14. Rendimiento del pimentón rojo Mexicano

Lote	Peso de la muestra (g)	Poliminerales (g)	Rendimiento (%)
1	25.052	0.054	0.215
2	25.010	0.065	0.223
3	25.047	0.074	0.295
4	25.000	0.074	0.296
Prom.	25.027	0.067	0.257

3.4. Irradiación de las muestras a dosis altas y bajas

Considerando como base la Norma Oficial Mexicana NOM-033-SSA01-1993, “Bienes y Servicios, Irradiación de Alimentos, Dosis Permitidas en Alimentos, Materias Primas y Aditivos Alimentarios”, se eligieron dosis de interés hasta 10 kGy. Pero debido al interés de la tesis también se consideró el intervalo de dosis entre 1 Gy hasta 100 kGy para la muestra de pimentón rojo Mexicano (*Capsicum annuum* L.). Las dosis altas por arriba de 10 kGy fueron para buscar la región de saturación de las señales TL. Las muestras se sometieron a irradiación, dosis relativamente bajas entre 1 – 500 Gy en el irradiador autoblandado Gammacell 200, y otras muestras a dosis altas 0.5 – 100 kGy que se lograron en el irradiador Gammabeam 651PT de alberca profunda.

En la preparación de las muestras a irradiar, se pesaron 6mg de poliminerales extraídos del pimentón rojo en discos de aluminio. Se utilizaron muestras separadas por duplicado de los tamaños de partícula 10, 53, 74, y 149 μ m, estos se colocaron dentro de una cajita recubierta con aluminio (Figura 16) para evitar la exposición a la luz.

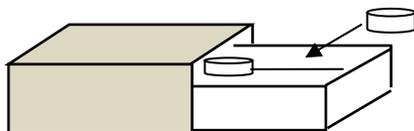


Figura 16. Caja recubierta de aluminio utilizada para la colocación de muestras a irradiar.

La caja con los discos de aluminio, se colocaron en la posición 7B del vértice interno elegido por la dosimetría realizada (Figura 17). Esa posición tiene una razón de dosis de 188 Gy/min al 7 de Mayo de 2007, terminando con una razón de dosis para el 17 de Diciembre de 2007 de 172.22 Gy/min (Anexo 2). Las razones de dosis se fueron actualizando en el transcurso del tiempo.

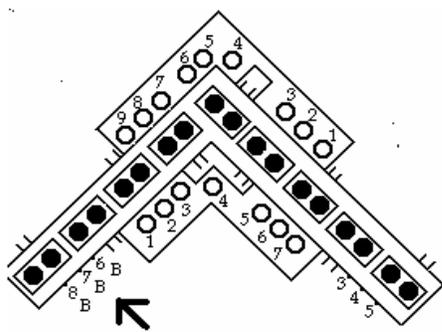


Figura 17. Posición de irradiación (flecha) de las muestras en la cámara de irradiación del irradiator Gammabeam 651PT del ICN UNAM. La fotografía muestra las posiciones de irradiación

Para las muestras que fueron expuestas a dosis bajas (1 - 500 Gy) fueron irradiadas en el irradiator autoblandado Gammacell 200 con una razón de dosis de 0.509 Gy/min al 28 de Febrero del 2007 y terminando con una razón de dosis de 0.458 Gy/min para el 17 de Diciembre del 2007. Las cuales también se actualizaban al irradiar las muestras. Las muestras preparadas fueron colocadas en la cámara del irradiator contenida en un émbolo que se mueve hacia la parte media del blindaje de plomo donde están alojadas permanentemente las fuentes.

Para la identificación del alimento irradiado o no, se utilizaron las señales TL de cada curva de brillo para cada dosis de exposición, la señal termoluminiscente de la muestra irradiada (TL_i) y la señal TL de la muestra sin irradiar (TL_{ni}), es decir, se realizó el cociente de las señales TL_{ni}/TL_i .

De la relación del cociente de las señales TL, se tomó el criterio de que si el valor es <1 la muestra no estaría irradiada, pero si es igual a 1 no sabríamos si la muestra realmente fue irradiada o no. Por consiguiente si el cociente TL es >1 , entonces la muestra estaría irradiada y puede tener un límite de detección TL hacia dosis bajas, lo que sería de utilidad para considerar si se vuelve a irradiar una muestra o producto dependiendo de su naturaleza.

3.5. Decaimiento TL utilizando lámpara de UV

Los poliminerales fueron sometidos a diferentes factores de ambiente para la detección de la pérdida de la señal termoluminiscente. Una de ellas fue la exposición a irradiación UV utilizando la lámpara de luz ultravioleta de vapor de mercurio, con el fin de comparar los datos con los decaimientos TL de exposición al sol y con los obtenidos a temperatura ambiente, y también con el generado por altas temperaturas. También se analizan la estabilidad de las señales TL para obtener los límites de detección TL en función de la dosis mínima.

Las muestras con poliminerales de 6 mg fueron irradiadas en el Gammacell 200, se utilizaron los cuatro tamaños 10, 53, 74, 149 μ m y por duplicado a la dosis de 30 Gy. Enseguida las muestras se expusieron a luz ultravioleta de la lámpara UV en distintos intervalos de tiempo: 1, 2, 4, 10, 50, 120, 270 minutos, para obtener su respectiva pérdida de la señal TL.

3.6. Decaimiento utilizando luz Solar

Para la realización de este experimento necesitamos un día soleado y se tuvo un día con temperatura ambiente entre 20 - 23°C.

Las muestras de poliminerales con 0.006g por duplicado y distintos tamaños de partícula (10, 53, 74, 149 μ m) inicialmente fueron irradiadas a 30 Gy y se expusieron a luz solar en distintos intervalos de tiempo (0.5, 1, 1.5, 2, 4, 10, 50, 120, 270 minutos), para obtener sus respectivas señales TL. Las lecturas en el equipo Harshaw 3500 fueron tomadas en las mismas condiciones.

3.7. Decaimiento a temperatura ambiente

Con el fin de analizar la variación en la intensidad TL y evaluar la pérdida de la señal TL pero ahora a temperatura ambiente, se realizó un decaimiento o fading de las señales en días a temperatura ambiente (20 - 22°C).

Se colocaron 6mg de poliminerales en los discos de aluminio con los cuatro tamaños y por duplicado. Se tomó la lectura del blanco sin irradiar, enseguida se irradiaron a la dosis de 30 Gy en el Gammacell 200 y se hicieron dos lecturas de la señal a esa dosis. Las muestras irradiadas a esa dosis fueron almacenadas a temperatura ambiente y en condiciones de obscuridad para evitar la influencia de la luz sobre las señales TL que pueden disminuir por el efecto de la luz. Periódicamente se fueron leyendo las señales TL de las muestras en el transcurso de los días; 0, 1, 2, 5, 7, 9, 11, 19, 26, 28, 32, y 48 días.

3.8. Reproducibilidad a dosis bajas y altas

Con el fin de buscar la reproducibilidad de las señales TL de los poliminerales del pimentón rojo, se realizó una serie de irradiaciones en los dos irradiadores, Gammacell 200 con una razón de dosis de 0.458 Gy/min y Gammabeam 651PT con una razón de dosis de 172.22 Gy/min para el 17 de Diciembre del 2007, irradiando a una dosis baja de 30 Gy y una dosis alta de 1 kGy. Las muestras fueron irradiadas 11 veces para la misma dosis siempre, y se leyeron en el equipo termoluminiscente Harshaw TLD 3500.

3.9. Método de McKeever $T_{\max} - T_{\text{stop}}$

En este experimento se buscó determinar los picos máximos TL que presentan las curvas de brillo de los poliminerales expuestos. Se eligieron los tamaños 53, 74 y 149µm, se expusieron a 20 Gy y se leyó en el equipo TL desde la temperatura inicial de 10°C a una temperatura Stop dada, y hasta 400°C, cambiando continuamente los intervalos de temperatura en el equipo. Los pasos de temperatura T_{stop} fueron de 7 grados y se refinaron con 2°C hasta completar la serie de mediciones.

3.10. Blanqueo térmico utilizando distintas temperaturas

Con el fin de buscar la variación de los picos de brillo de cada curva de brillo, se consideraron los tamaños de partícula de 53 y 149 μm , para obtener sus curvas de brillo variando la temperatura de horneado y obtener las curvas aisladas con sus respectivos máximos TL generadas por la recombinación previa de los defectos al ser estimulados por la alta temperatura utilizada en cada caso.

Para 53 μm se irradió en el Gammabeam 651PT a las dosis de 20, 30, 40, 50, y 60 kGy, y se leyeron en el equipo TL a diferentes intervalos de temperatura desde 10 hasta 400°C para cada dosis. Para el tamaño de partícula de 149 μm se irradiaron a dosis de 5, 6, 8, 10, 15 kGy, leyendo en el equipo TL a diferentes intervalos de temperatura desde 10 hasta 400°C y hasta completar la serie de la dosis de irradiación.

3.11. Obtención de las señales termoluminiscentes (TL)

Para todas las mediciones se utilizó el equipo lector Harshaw 3500 acoplado a una computadora que debe funcionar en ambiente MSDOS. El equipo Harshaw 3500 (Figura 18) funciona con el software WinREMS en ambiente Windows, proporcionando así el interfaz mediante el control del lector y el software en uso. El instrumento incluye una plancheta para la muestra de un solo dosímetro (Figura 19), un sistema de calentamiento lineal, programable y un tubo fotomultiplicador con electrónica asociada para medir la salida sensible de la señal TL. El equipo Harshaw 3500 es utilizado comúnmente en laboratorios de dosimetría para aplicaciones médica y en física de radiaciones para cuantificar dosis recibidas por dosímetros.



Figura 18. Equipo de Termoluminiscencia Harshaw 3500 con software. A la derecha se ve acoplado con la computadora y software asociado



Figura 19. Plancheta del equipo Harshaw 3500 para el disco con los poliminerales

Se hicieron las lecturas de fondo del equipo y las muestras blancas con el fin de tener referencias de las señales TL. Las lecturas de las muestras irradiadas se hicieron en atmósfera inerte inyectando N_2 (g) a la cámara de la plancheta para cada lectura de emisión con el fin de que los elementos presentes en el aire (oxígeno, gases raros, etc.) no afectaran las señales. Todas las lecturas se hicieron desde temperatura ambiente hasta 400 °C utilizando una razón de calentamiento lineal de 2°C/s para reproducir mejor las señales TL de cada muestra. Finalmente para cada experimento se obtuvieron las curvas de brillo para distintas dosis y las gráficas de dosis – respuesta TL. Para hacer las curvas de brillo se utilizó el programa Origin versión 7.5 que permitió el análisis y la interpretación de los datos que se presentan en la parte de resultados de esta tesis.

Capítulo 4. Resultados y discusión

4.1. Irradiación de poliminerales a dosis bajas y altas

La fracción mineral separada de las muestras de Pimentón rojo (*Capsicum annuum L.*) de origen Mexicano, fueron elegidos los tamaños de partícula 10, 53, 74, y 149 μm con el fin de analizar las propiedades termoluminiscentes (TL) del Pimentón rojo. Las muestras de cada tamaño fueron expuestas inicialmente a las dosis de 1 a 500 Gy. Las curvas de brillo obtenidas con los distintos tamaños de partícula muestran bandas TL cuyos máximos de temperatura se ubicaron alrededor de 80 $^{\circ}\text{C}$, 90 $^{\circ}\text{C}$, 130 $^{\circ}\text{C}$ en el intervalo de dosis de 1-120 Gy, como se muestran en las siguientes curvas de brillo (Figura 20).

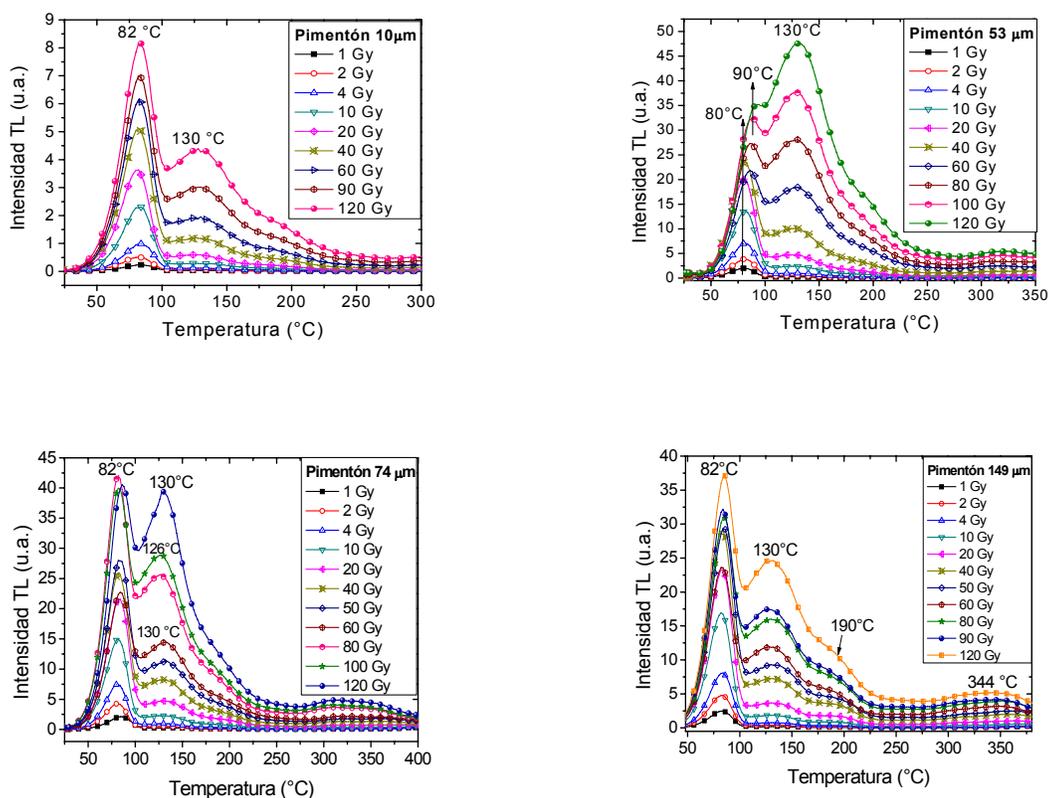


Figura 20. Curvas de brillo de poliminerales del Pimentón rojo expuestos a dosis relativamente bajas de 1 – 120 Gy, de radiación gamma de ^{60}Co y tamaños de partícula 10, 53, 74 y 149 μm

Sin embargo, en los cuatro tamaños de partícula se notan diferencias en la estructura o forma de las curvas de brillo. Para 10 μm el primer pico ubicado hacia 82 $^{\circ}\text{C}$ siempre se observó bien definido en esa temperatura con una banda ancha hacia 130 $^{\circ}\text{C}$, pero cuando el tamaño fue de 53 μm el primer pico se vio menor y se fue desplazando hacia 90 $^{\circ}\text{C}$ conforme aumentaba la dosis a 120 Gy a su vez el máximo se situó cercano al pico de 130 $^{\circ}\text{C}$. Es decir, el efecto de la dosis fue notable en estos dos tamaños de partícula cuyo efecto fue modificar la estructura de las curvas de brillo aunque los máximos se situaron casi siempre en el mismo valor de la temperatura.

El efecto se hizo más notable para el tamaño de 74 μm en el que el segundo pico en 130 $^{\circ}\text{C}$ crece más rápidamente que el primero hasta casi igualarlo en intensidad en la dosis de 120 Gy, situación más evidente en el caso de 53 μm . Una situación distinta se notó para el tamaño de partícula más grande 149 μm , aunque similar en estructura al caso de 10 μm pero con la aparición de un hombro alrededor de 190 $^{\circ}\text{C}$ y otro pico hacia 340 $^{\circ}\text{C}$. Estos dos picos de mayor temperatura son característicos del cuarzo que posee picos TL hacia regiones de alta temperatura de la curva de brillo.

El comportamiento no es del todo claro, pero está relacionado al efecto de las dosis (Huntley *et al*, 1991; Huntley *et al*, 1988; Stoneham and Stokes, 1991) relativamente bajas que son ya capaces de poblar los subniveles del gap y que a mayor tamaño de partícula pueden tener mayor probabilidad de que las trampas reatrapen las cargas que previamente fueron liberadas en otros subniveles por lo que otros picos TL pueden aparecer a mayor temperatura en las curvas de brillo.

Para la identificación del Pimentón irradiado y su límite de detección, se consideró un intervalo de dosis bajas; de 1-10 Gy. Se utilizaron las señales TL de cada curva de brillo para cada dosis de exposición (Tabla 15) para cada tamaño de partícula. Se tomó la señal termoluminiscente de la muestra irradiada (TL_i) y la señal TL de la muestra sin irradiar (TL_{ni}), realizando el cociente de las señales TL_{ni}/TL_i . De esa relación se tomó el criterio de que si el valor es <1 la muestra no estaría irradiada, pero si es igual a 1 no

sabríamos si la muestra realmente fue sometida a irradiación o no. Por consiguiente si el cociente TL es >1 , entonces la muestra estaría irradiada y puede tener un límite de detección TL, lo que sería de utilidad para considerar si se vuelve a irradiar una muestra o producto dependiendo de su naturaleza. Se encontró que las muestras del pimentón fueron identificadas a partir de 2 Gy en todos los tamaños de partícula. Las señales TL de las muestras no irradiadas aumentaban también al aumentar el tamaño de partícula, debido posiblemente a que mayor tamaño de la partículas habría mayor cantidad de restos orgánicos incrustados todavía en el cuarzo.

Tabla 15. Límite mínimo de detección TL para los cuatro tamaños de partícula 10, 53, 74 y 149 μm , en las dosis bajas de 1, 2, 4 y 10 Gy

Tamaño de polimeral (μm)	Señal TL sin irradiar (nC)	Dosis (Gy)	Señal TL irradiado (nC)	$\frac{\text{TLi}}{\text{TLni}}$
10	9.480	1	9.614	1.01
		2	14.90	1.6
		4	24.68	2.6
		10	51.53	5.4
53	42.41	1	45.04	1.06
		2	85.42	2.01
		4	153.5	3.6
		10	319.5	7.5
74	46.70	1	50.84	1.08
		2	93.69	2
		4	159.8	3.4
		10	340.7	7.3
149	50.18	1	53.22	1.06
		2	78.78	1.6
		4	82.08	1.6
		10	365.7	7.3

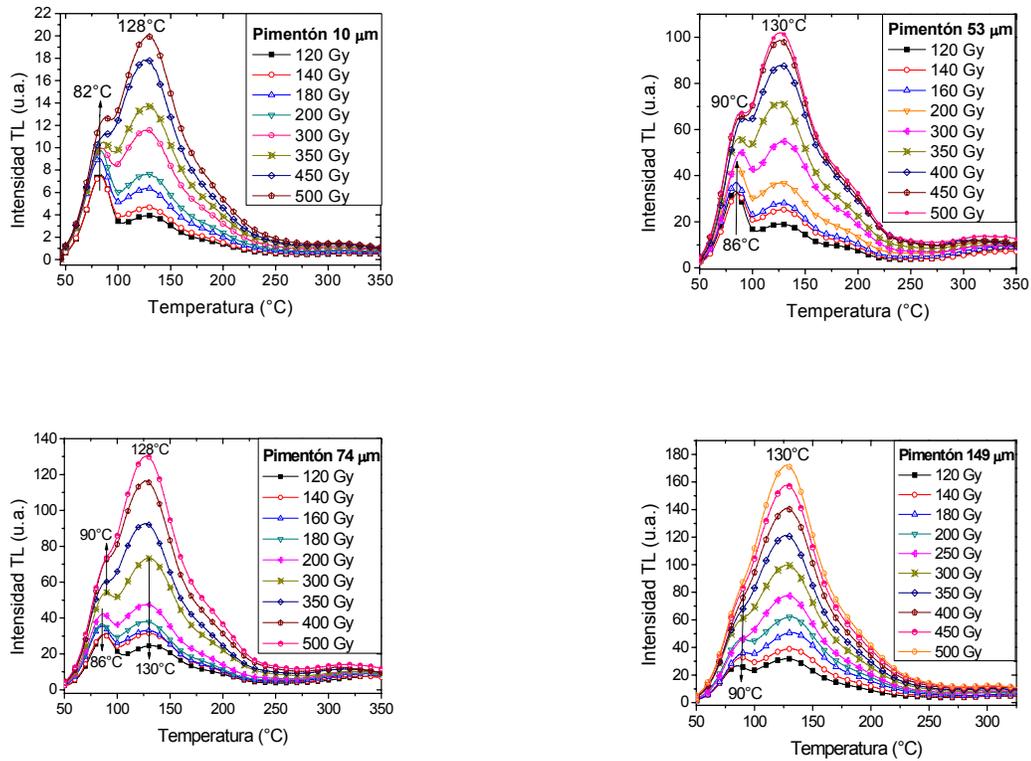


Figura 21. Curvas de brillo de las muestras poliminerales irradiadas de 120 Gy a 500 Gy, tamaño de partícula 10, 53, 74 y 149 μm

Cuando las muestras fueron irradiadas a dosis mayores, de 120 – 500 Gy (Figura 21), la estructura de las curvas de brillo, el primer pico de 82 se desplazó hacia 90 °C, pero creció lentamente comparado con el segundo pico en 128-130 °C que a su vez predominó hasta la dosis de 500 Gy, que en el caso de 149 μm este último pico fue muy ancho. En este último tamaño, se nota claramente que existe un fenómeno de reatrapamiento de cargas durante el calentamiento de la muestra en la obtención de la emisión TL. Situación que debe investigarse pues la fracción mineral separada del Pimentón rojo se ve claramente influenciada por la dosis de hasta 500 Gy en los distintos tamaños de partícula expuestos a la radiación ionizante gamma. Posiblemente una deconvolución de tales curvas de brillo ayudaría a entender el tipo de distribución de trampas y su mecanismo de interacción que es responsable de tales

comportamientos de las curvas de brillo a dosis relativamente altas. Sin embargo, para fines de detección TL, es claro que aún a la menor dosis es posible detectar la curva de brillo distinta a la del fondo de la muestra sin irradiar, por lo que la fracción mineral obtenida del Pimentón rojo es de utilidad en la detección del alimento irradiado.

Al integrar el área bajo cada curva de brillo (Figura 22), para cada dosis, y para cada tamaño de partícula, se notó que la fracción mineral del Pimentón rojo de origen Mexicano presentó una tendencia creciente más allá de 500 Gy, pero con una relación lineal de la respuesta TL en función de la dosis de irradiación hasta 100 Gy, lo que fue distinto para 10 μm donde el intervalo lineal de la dosis fue de 0.5-20 Gy probablemente debido en gran parte al tamaño de partícula aunque también siempre fue creciendo la respuesta TL conforme se aumentó la dosis de irradiación. Se hizo un seguimiento sistemático a dosis altas de hasta 120 kGy, con el objetivo de buscar la región de saturación y también el comportamiento más allá de la saturación, esto es, buscar la región de daño posible de la fracción mineral del Pimentón rojo puesto que el cuarzo contenido en los alimentos (Favalli *et al*, 2006; Cruz-Zaragoza *et al*, 2006a) tienen regiones de saturación alta. Se encontró que respuesta TL en los tamaños de 53, 74, y 149 μm presentan una segunda región lineal entre 0.5 - 3 kGy y a partir de esa dosis se nota una región de saturación de las muestras, para cuando se llega a 10 kGy se nota que existe la región de daño TL, entendido como la disminución de la respuesta TL del mineral a la dosis y también lo presenta el tamaño de 10 μm . Otra aportación de esta tesis es que esa región de daño TL no se había indagado en minerales contenidos en los alimentos deshidratados de consumo como el Pimentón rojo Mexicano.

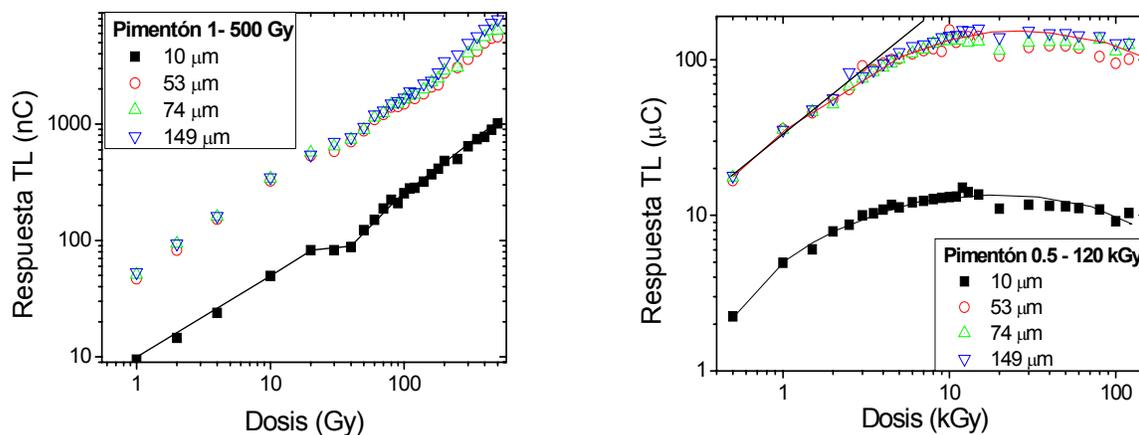


Figura 22. Respuesta TL de poliminerales del Pimentón rojo en los intervalos de dosis; 1-500 Gy y de 0.5-120 kGy, para los cuatro tamaños de partícula

Por otra parte, las curvas de brillo correspondientes a las dosis altas, muestran cambios en la estructura de las mismas, como puede apreciarse en la figura 23 para el tamaño de 10 μm había dos picos TL ubicados en 90 y 130 $^{\circ}\text{C}$ y este último se ve desplazado hacia 118 $^{\circ}\text{C}$ cuando la dosis fue de 20-100 kGy, a la dosis más alta de 100 kGy se nota solamente una banda ancha TL que es formada por la alta ionización del mineral de la muestra. Para la muestra de 53 μm se observaron tres picos claramente; uno en 108-116 $^{\circ}\text{C}$, otro en 302 $^{\circ}\text{C}$ y el tercero en 328 $^{\circ}\text{C}$ cuando la muestra fue expuesta de 0.5 a 15 kGy. Cuando la muestra fue expuesta a dosis mayores, de 20 a 100 kGy, el primer pico se ubicó entre 102 a 122 $^{\circ}\text{C}$. Mientras el segundo pico se mantuvo en 202 $^{\circ}\text{C}$ más claramente, y el tercero estuvo 336 y 348 $^{\circ}\text{C}$. Cuando el tamaño fue de 74 μm (Figura 23), se observó un comportamiento similar al de 10 μm ; el pico de baja temperatura que se observó en 84 $^{\circ}\text{C}$ se desplazó hacia 100 $^{\circ}\text{C}$, el segundo se formó en 126 $^{\circ}\text{C}$ y cuando la dosis fue de hasta 15 kGy esos dos picos TL presentaron tendencia de unirse en casi un solo pico.

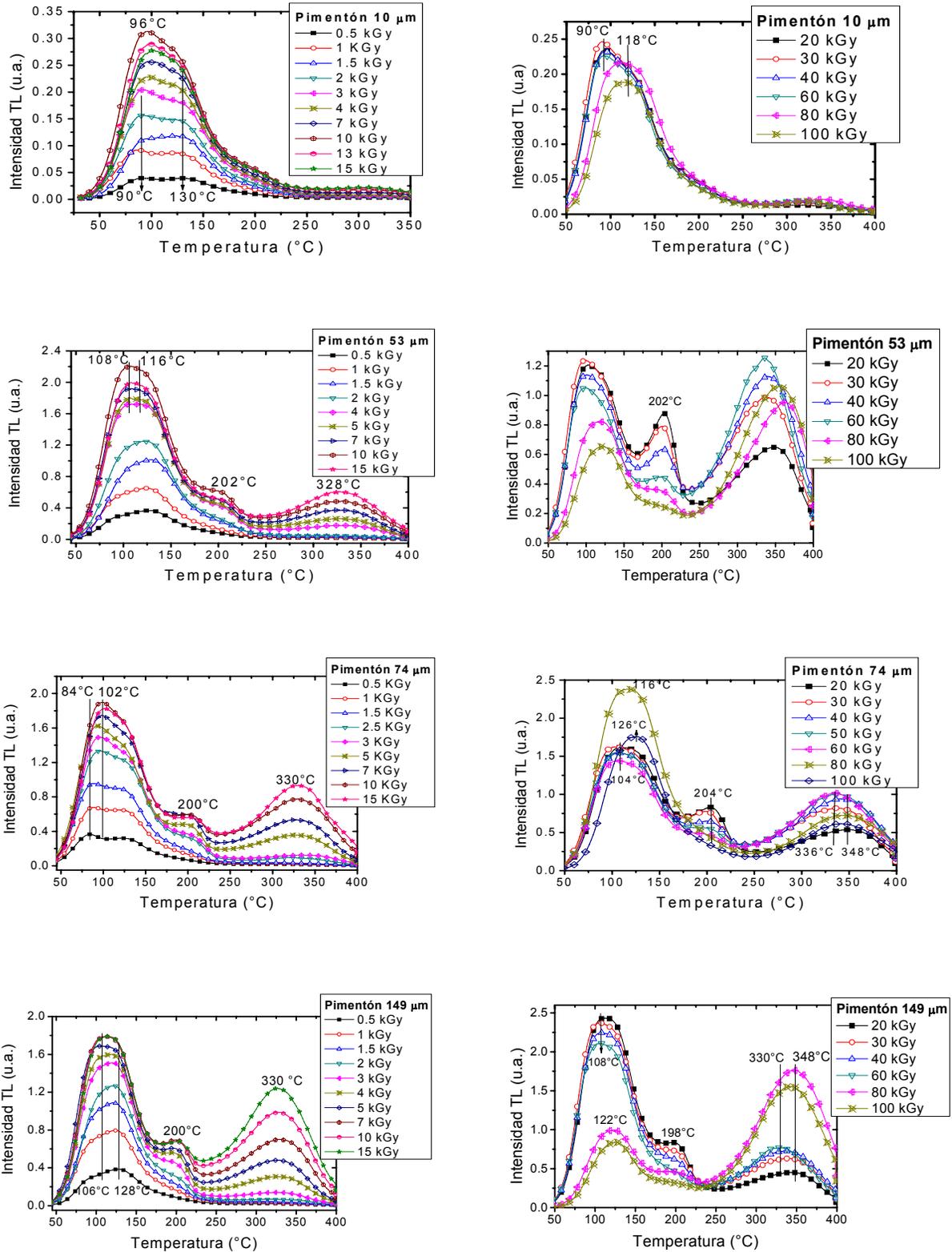


Figura 23. Curvas de brillo de poliminerales del Pimentón rojo sometidas a diferentes dosis altas de irradiación (20 kGy a 100 kGy), tamaño de partícula 149 μm

Considerando que la alta ionización hace el efecto de que probablemente solo permanezcan estables las trampas más profundas y cuando son excitadas por el calor la recombinación de los defectos provoca que se note como un solo pico los dos que antes se habían observado como en la dosis de 0.5 kGy. Aunque los dos picos siguientes; en 204 y 330 °C. A las dosis altas de hasta 100 kGy, se observaron algunos corrimientos de los máximos pero es difícil dar una explicación adecuada pues en los intervalos de dosis altas ocurre una fuerte saturación y aún más una etapa de daño provocado por la alta ionización en la fracción mineral.

Para el tamaño de partícula de 149 µm (Figura 23), se observaron un comportamiento similar de los picos TL, aunque el primer pico que se ubicaba en 108 °C se desplazó hacia temperatura mayores en 122 °C y disminuyó en intensidad claramente, lo que indica que las trampas de menor temperatura se vuelven inestables a dosis altas de 20 a 100 kGy y probablemente ocurra el fenómeno de transferencia de cargas de niveles menos profundos a niveles de atrapamiento más profundos por lo que el primer pico y el segundo ubicado en 200 °C disminuyen en intensidad TL. Mientras tanto el tercer pico ubicado entre 330 y 348 °C se ve favorecido por la disminución anterior de los picos y exhibe un crecimiento cuando las dosis se aumentaron hasta 100 kGy.

Es interesante observar que el pico de menor temperatura (entre 90-108 °C) que correspondería al bien conocido pico de 110 °C del cuarzo, cuando la dosis tiende a aumentar ese pico se une a otro de mayor temperatura, lo que indicaría que ocurre un despoblamiento de cargas atrapadas debido a la alta ionización y ellas son reatrapadas hacia subniveles de mayor temperatura o por las llamadas trampas profundas. Se sabe que ese pico de 110 °C se puede poblar nuevamente si se excita la muestra con luz UV a muestras poliminerales con cuarzo y feldespato previamente irradiadas (Gastélum *et al*, 2001), lo cual constituye el fenómeno de fototransferencia de cargas desde subniveles profundos donde son liberadas las cargas y son reatrapadas en trampas superficiales regenerando el pico de 110 °C.

Podemos notar que a las dosis más altas (del orden de 100 kGy) (Figura 23) que el pico de menor temperatura tiende a disminuir y crecen los de alta temperatura (328-348 °C), es probable que en este comportamiento alguna fracción muy pequeña de feldespato

esté jugando el papel relevante frente al cuarzo, es decir que la parte policristalina sufra daño a muy altas dosis y que una parte del posible feldespatos incrustado en los granos se vuelva importante para generar el crecimiento de los picos de alta temperatura, dada la complejidad del comportamiento se vuelve un aspecto por investigar aún.

4.2. Blanqueamiento térmico con diferentes temperaturas

Un seguimiento del comportamiento de cada pico para las curvas de brillo de las muestras de 53 y 149 μm en función de la temperatura mostró claramente tendencias de aumento y disminución TL en las curvas de brillo (Figura 24). Se realizó una serie de mediciones en función de la temperatura, experimentalmente se aislaron los tres picos principales y se notó claramente que para el tamaño de 53 μm el primer pico disminuye conforme se aumentó la dosis hasta 60 kGy, mientras que el pico de mayor temperatura en la curva de brillo aumentó considerablemente lo que involucra que el aumento de este es beneficiado por la disminución del primero. Mientras que en el mayor tamaño de partícula se notó cierto grado de saturación del primer pico y el de alta temperatura y el pico intermedio se mostraron muy claramente que aumentaban su respuesta TL conforme a la dosis de irradiación. Este comportamiento es muy probablemente debido a la cantidad mayor de feldespatos o cuarzo en la muestras de mayor tamaño de grano y por ende tendría mayor probabilidad de recombinaciones TL debido a la enorme cantidad de defectos generados por la irradiación a las dosis en aumento. Situación esta que no se refleja en el tamaño de partícula de 53 μm donde el segundo pico también disminuye como lo hace el primer pico TL. Este comportamiento está ligado a que a cierta dosis como entre 90-120 Gy la intensidad de los picos cambian y el segundo pico entra en competencia con muy clara ventaja de crecimiento sobre el primero ubicado hacia baja temperatura, comportamiento que se muy clara para las emisiones TL de las muestras de mayor tamaño de partícula.

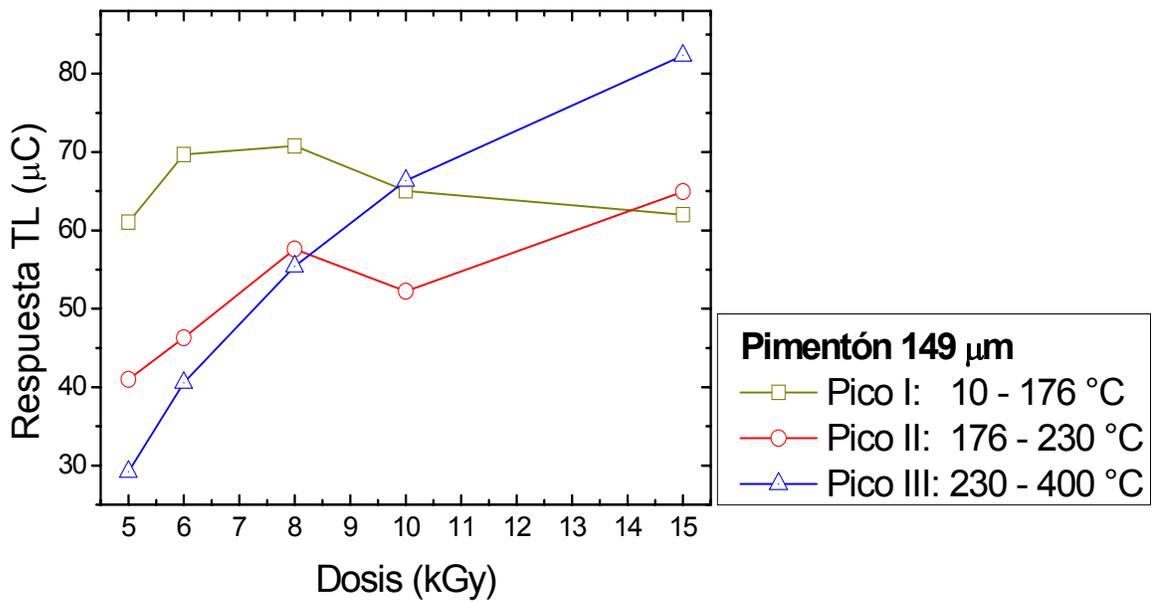
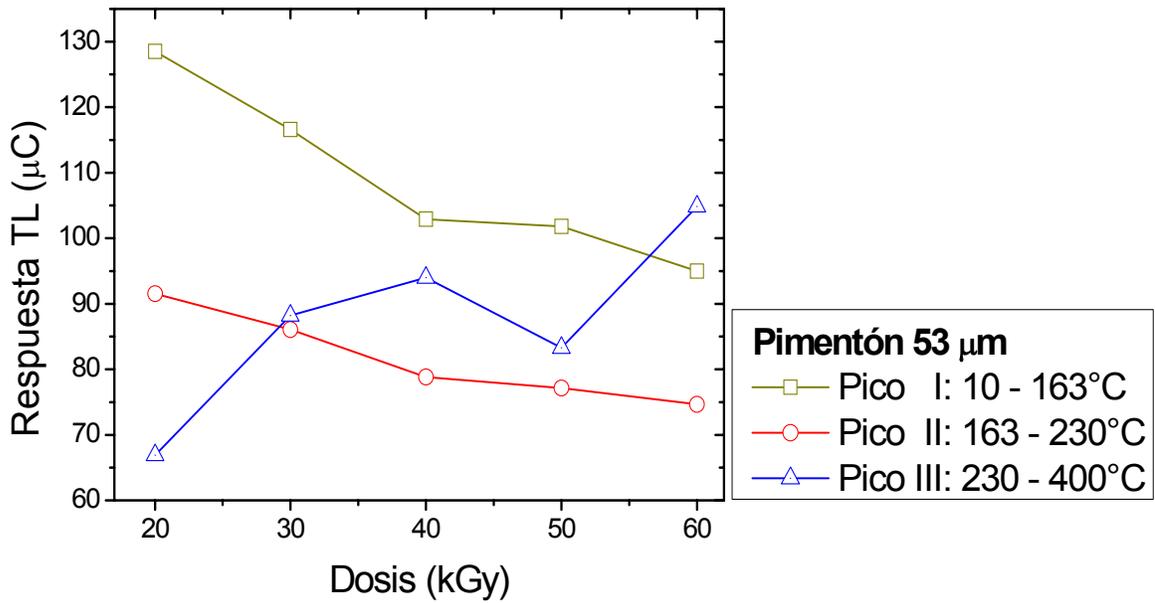


Figura 24. Comportamiento de los picos TL principales, a distintas temperaturas, para tamaños de 53 y 149 µm

4.3. Estabilidad de las señales TL bajo condiciones de ambiente con luz

Dado que a dosis altas la fracción polimineral presentó saturación en la señal TL, seguida por una región de daño, fue importante buscar la estabilidad de las señales TL ante condiciones de temperatura ambiente, con luz UV de una lámpara de mercurio y también bajo la excitación de luz del sol. A su vez, esto es una manera de simular también el manejo de los productos de especias y condimentos en la industria o en los procesos de irradiación, donde los contenedores están expuestos a la luz del día y a lámparas de todo tipo durante su almacenamiento y transportación.

4.3.1. Desvanecimiento de la señal TL bajo luz UV

Se hizo un seguimiento periódico de la pérdida de la señal TL o fading provocado por la luz UV de las muestras que inicialmente se irradiaron a 30 Gy. Se consideraron los cuatro tamaños de partícula o grano; 10, 53, 74, y 149 μm . El comportamiento del decaimiento TL (Figura 25) de los últimos tres tamaños fue muy similar y sus decaimientos se ajustaron a una función de doble exponencial, dado que un alto porcentaje de fading (aproximadamente a 73-79 %) ocurrió en los primeros 10 minutos de exposición con luz UV. El menor tamaño de grano tuvo la menor pérdida en el primer minuto cercano al 11 % (Tabla 16), mientras que los otros tamaños de grano fueron alrededor de 26 % del valor inicial de la respuesta TL. Al cabo de 4.5 h el fading o pérdida de la respuesta TL fue entre 85 - 89 % del valor inicial de la respuesta correspondiente de cada tamaño de grano de los poliminerales del Pimentón.

Una inspección a sus curvas de brillo muestran que el pico de menor temperatura atribuido al cuarzo, disminuyó conforme se expuso por más tiempo a la luz UV y los máximos de las curvas de brillo se desplazaron hacia mayores temperaturas (Figura 26), lo que implica que la luz UV liberó las cargas retenidas en las trampas más superficiales generando recombinaciones y no ocurrió probablemente el reatrapamiento de las cargas que se estaban liberando bajo la iluminación con la luz UV, por lo que todo los máximos de las curvas de brillo tendieron a disminuir sus intensidades de

manera muy similar como se muestra en las gráficas de la figura 26, ese comportamiento está de acuerdo a lo observado en la figura 25.

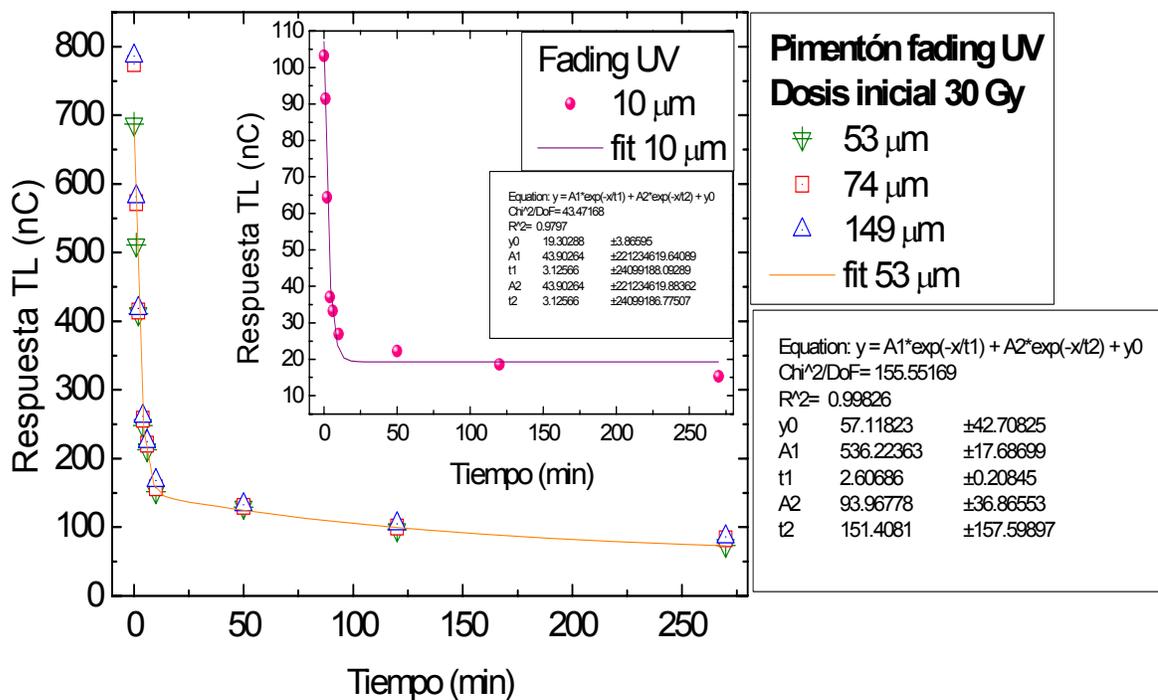


Figura 25. Pérdida TL de Pimentón rojo provocado por luz UV, para los cuatro tamaños expuestos a una dosis inicial de 30 Gy

Tabla 16. Porcentaje de pérdida de la señal TL de Pimentón rojo para los cuatro tamaños de partícula expuestos a UV, con una dosis inicial de 30 Gy

Tamaño	10 μm		53 μm		74 μm		149 μm	
	TL (nC)	Pérdida (%)						
0	103.2	0	687.3	0	775.1	0	786	0
1	91.4	11.4	511.2	25.6	572.6	26.1	581.3	26
2	64.4	37.6	410.9	40.2	414.6	46.5	418.6	46.7
4	37	64	248.1	64	257.1	66.8	261.6	66.7
6	33.3	67.7	212.7	69	220.8	71.1	224.7	71.4
10	26.9	73.9	151.6	78	157.6	79.6	168.2	78.6
50	22.2	78.4	129.4	81.1	130.1	83.2	132.7	83.1
120	18.6	81.9	96.2	86	100.2	87	105	86.6
270	15.3	85.1	73.7	89.2	82.87	89.3	85.8	89

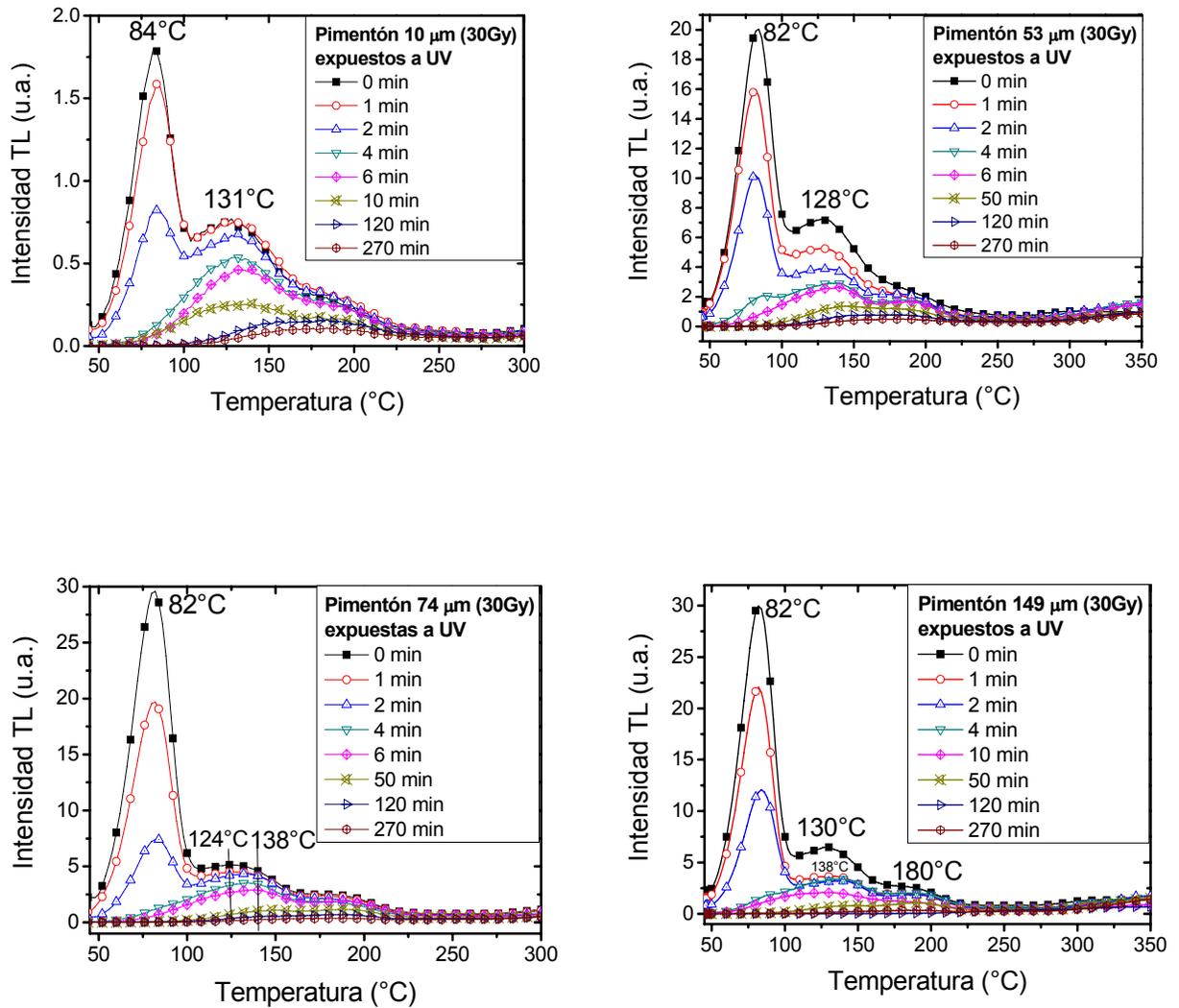


Figura 26. Desvanecimiento de curvas de brillo expuestas a luz UV, tamaños 10, 53, 74, y 149 μm

4.3.2. Desvanecimiento de la señal TL con luz solar

Para los distintos tamaños de partícula se observó que las señales termoluminiscentes (TL) se disminuyeron de manera muy similar, como se parecía en la figura 27, con un comportamiento de doble exponencial. Casi la mitad de la señal TL se perdió en los primeros 1.5 minutos de exposición directa al sol, con una temperatura del ambiente entre 22 y 23 °C. Al cabo de 4.5h se alcanzó a detectar aproximadamente el 5-6 % de

la señal inicial, esto es, se había perdido el 95% de la señal original obtenida a 30 Gy sin excitación con la luz solar (Tabla 17).

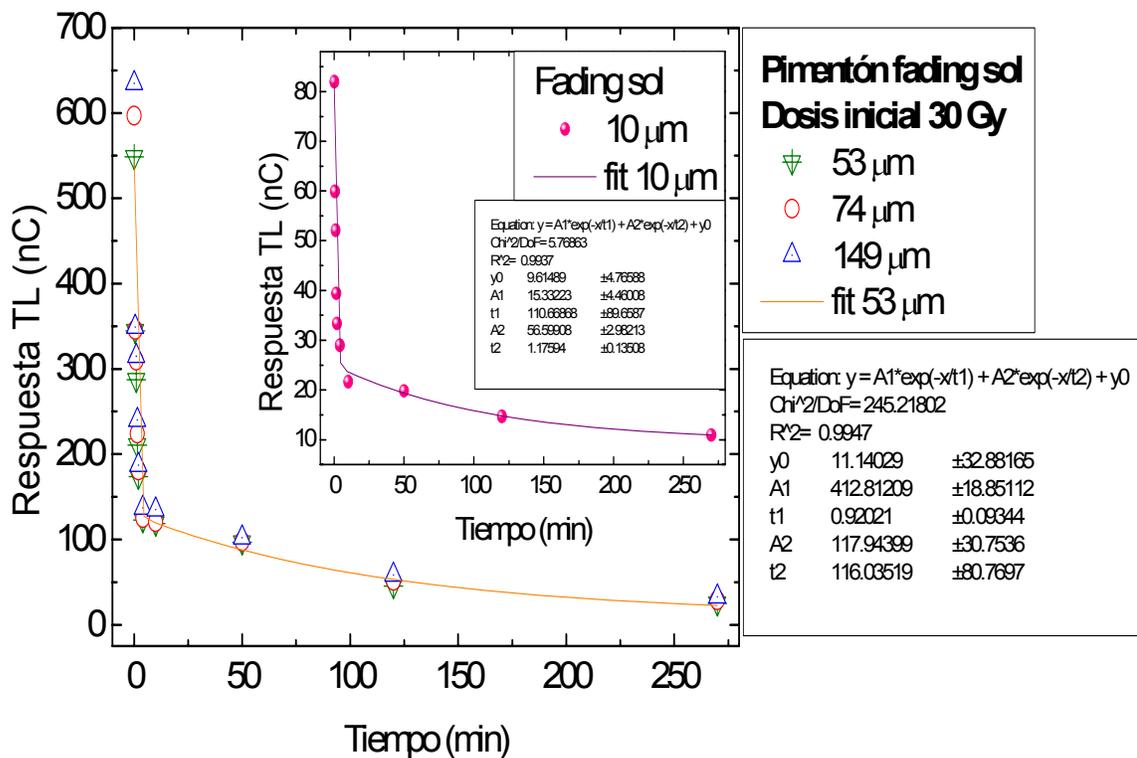


Figura 27. Pérdida de la señal TL del Pimentón rojo provocado por luz solar (22-23°C) e irradiado a 30 Gy

Tabla 17. Porcentaje de pérdida de la señal TL de Pimentón rojo para los cuatro tamaños de partícula expuestos al sol (22-23°C), con una dosis inicial de 30 Gy

Tamaño tiempo (min)	10 μm		53 μm		74 μm		149 μm	
	TL (nC)	Pérdida (%)	TL (nC)	Pérdida (%)	TL (nC)	Pérdida (%)	TL (nC)	Pérdida (%)
0	82	0	548.7	0	597	0	634.7	0
0.5	59.93	27	344.5	37.2	346	42	349	45
1	52.1	36.4	287.3	47.6	309.5	48.1	315	50.3
1.5	39.45	51.8	210.7	61.6	224.3	62.4	240.1	62.1
2	33.39	59.2	173.7	68.3	181	69.7	187.1	70.5
4	28.99	64.6	122.7	77.6	125.4	79	137	78.4
10	21.67	73.5	118.6	78.3	120.4	79.8	134.8	78.7
50	19.84	75.8	96.9	82.3	97.39	83.6	102	84
120	14.68	82	45.38	91.7	51.46	91.3	58.33	90.8
270	8.2	86.6	24.87	95.4	28.67	95.1	32.72	95

Este comportamiento indica que la luz solar es similar de eficiente que la luz UV de la lámpara de mercurio para causar la recombinación de los defectos que se excitaron y cuyo mecanismo de recombinación aún no está claro.

Pero de acuerdo a la literatura se presume que la luz UV dispara un el mecanismo tal que se propaga para continuar la recombinación primero de las trampas más superficiales y ello provoca un efecto de inestabilidad en trampas selectivas para que se vean reatrapadas algunas mientras que otras se recombinan para disminuir las señales TL, como se aprecia en la figura 28, y del lado derecho de cada figura se observa la curva del decaimiento provocado por la iluminación del sol.

Las curvas de brillo que muestran el desvanecimiento cuando las muestras fueron expuestas a la luz Solar se aprecia en la figura 29, en donde se observa que a medida que aumenta el tamaño de partícula de las muestras se nota que los picos en las curvas de brillo se ven más claros.

El primer pico principal atribuido al cuarzo siempre apareció grande comparado con los otros picos situados a mayor temperatura en las curvas de brillo para los distintos tamaños de partícula.

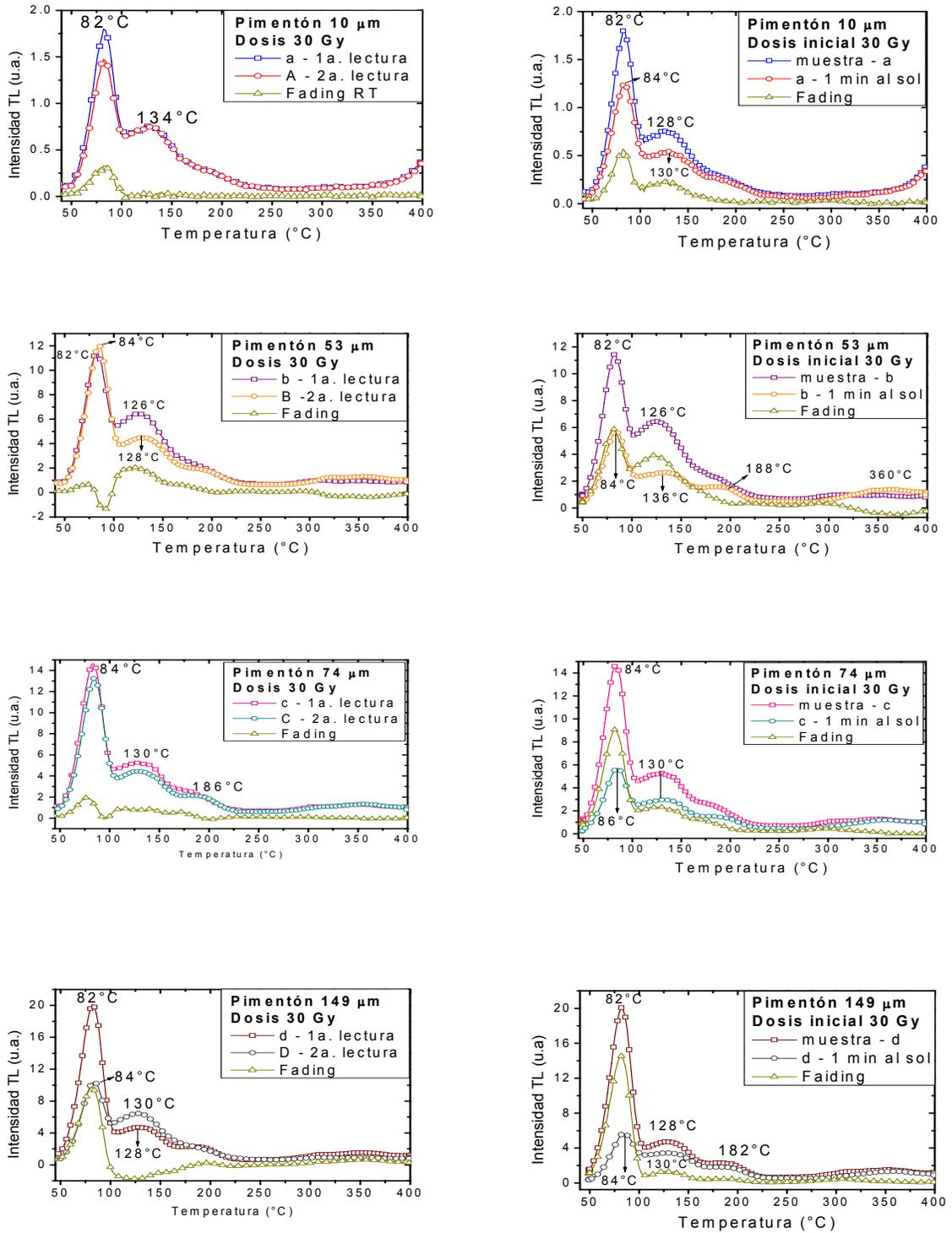


Figura 28. Curvas de brillo de comparación y diferencia de TL entre la primera lectura y su duplicado (35 min después) para tamaño de partícula de 10 micras para exponer al sol

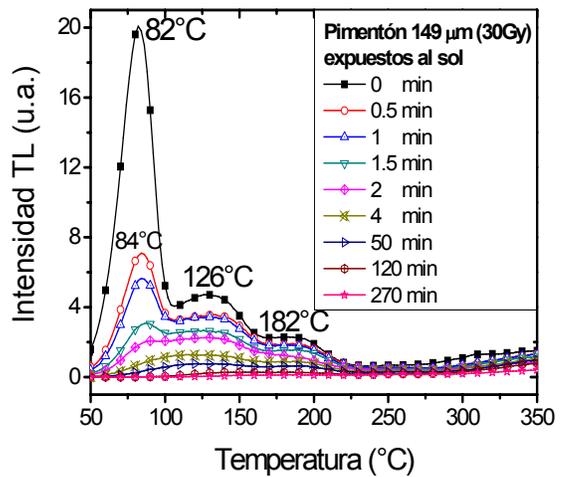
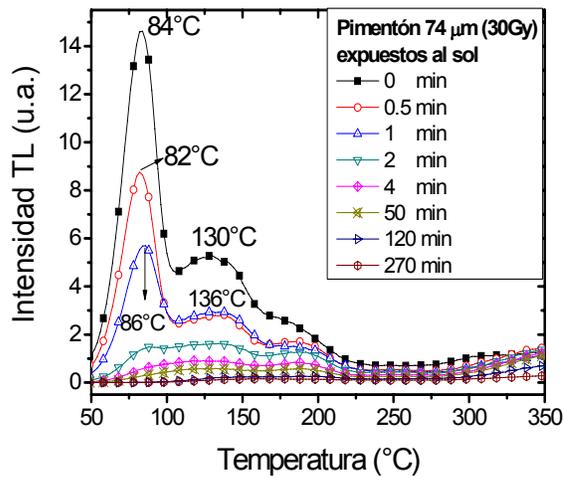
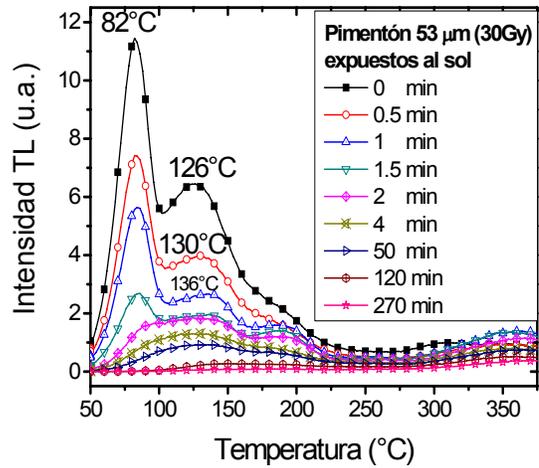
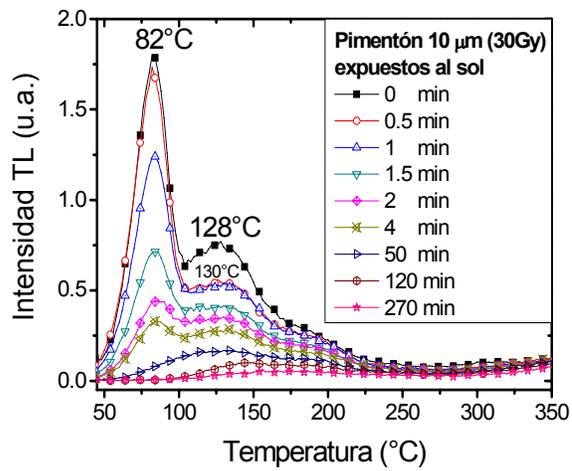


Figura 29. Disminución de las curvas de brillo de los poliminerales expuestos a la luz del Sol

4.3.3. Desvanecimiento de la señal TL a temperatura ambiente

Para indagar la pérdida de las señales TL pero ahora sin ninguna excitación de luz, solamente en almacenamiento a temperatura ambiente, las muestras fueron guardadas en el laboratorio en condiciones de obscuridad y periódicamente se fueron obteniendo sus señales TL. El comportamiento del fading provocado a temperatura ambiente hasta 45 días. Como se observa en la figura 30, el mayor fading se encontró para el tamaño de grano de 10 μm , aunque las otras muestras con los otros tamaños de partícula tuvieron también un comportamiento similar en la pérdida de las señales TL. En la figura 31 de lado izquierdo se observa que el pico ubicado hacia baja temperatura de las curvas de brillos para los distintos tamaños de partícula se nota que disminuye apreciablemente a la media hora de haberse leído la muestra una respecto de la otra. Ese mismo pico desapareció al cabo de 24 h (Figura 31, lado derecho), situación que merece ser investigada aún más. Como se ha reportado por varios autores en la literatura, es un pico muy inestable pero que puede regenerarse mediante tratamientos térmicos con exposición a la luz UV (Fragoulis and Readhead, 1991; Robertson *et al*, 1991; Bailiff and Poolton, 1991). Sin embargo en estas mediciones solamente buscamos la estabilidad de las señales y mostrar que ese pico es sumamente inestable pues como se ha dicho antes se debe a la formación de subniveles superficiales formadas por trampas poco profundas y que mediante el almacenamiento y sin luz se provoca su inestabilidad y por ende su recombinación hasta desaparecer completamente en 24 h.

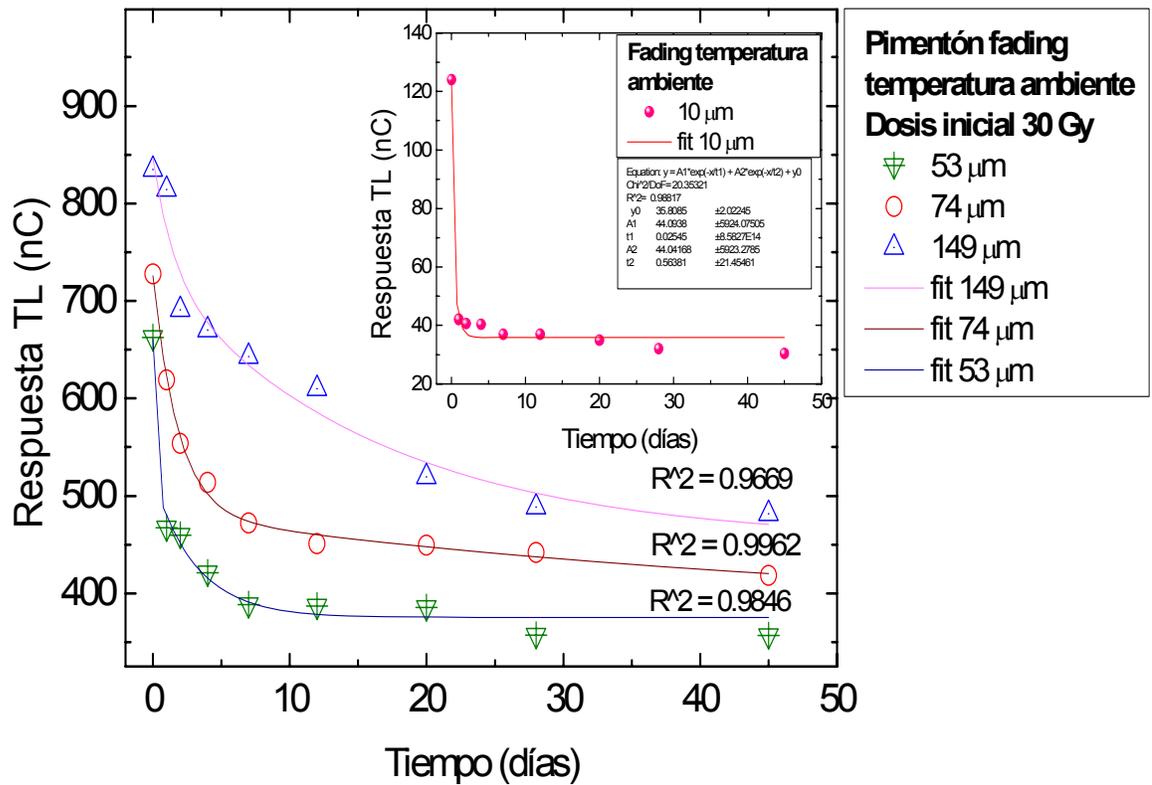


Figura 30. Fading de Pimentón rojo a temperatura ambiente (22-23°C), para los cuatro tamaños expuestos a una dosis inicial de 30 Gy

Tabla 18. Porcentaje de pérdida de la señal TL de Pimentón rojo para cuatro tamaños de partícula a temperatura ambiente (22-23°C), con una dosis inicial de 30 Gy

Tamaño tiempo (días)	10 μm		53 μm		74 μm		149 μm	
	TL (nC)	Pérdida (%)	TL (nC)	Pérdida (%)	TL (nC)	Pérdida (%)	TL (nC)	Pérdida (%)
0	124		662.5		727.7		834.9	
1	42.07	66	467.4	29.4	619.2	15	814.5	2.4
2	40.59	67.2	459.9	30.5	554	23.8	691.1	17.2
4	40.38	67.4	421.1	36.4	514	29.3	670.3	19.7
7	37	70.1	388.5	41.3	472.2	35.1	642.7	23
12	36.98	70.1	386.9	41.6	450.9	38	609.9	26.9
20	34.96	79	385.4	41.8	449.4	38.2	519.7	37.7
28	32.06	74.1	357.1	46	442.1	39.2	488.3	41.5
45	30.38	75.5	356.6	46.1	418.6	42.4	481.5	42.3

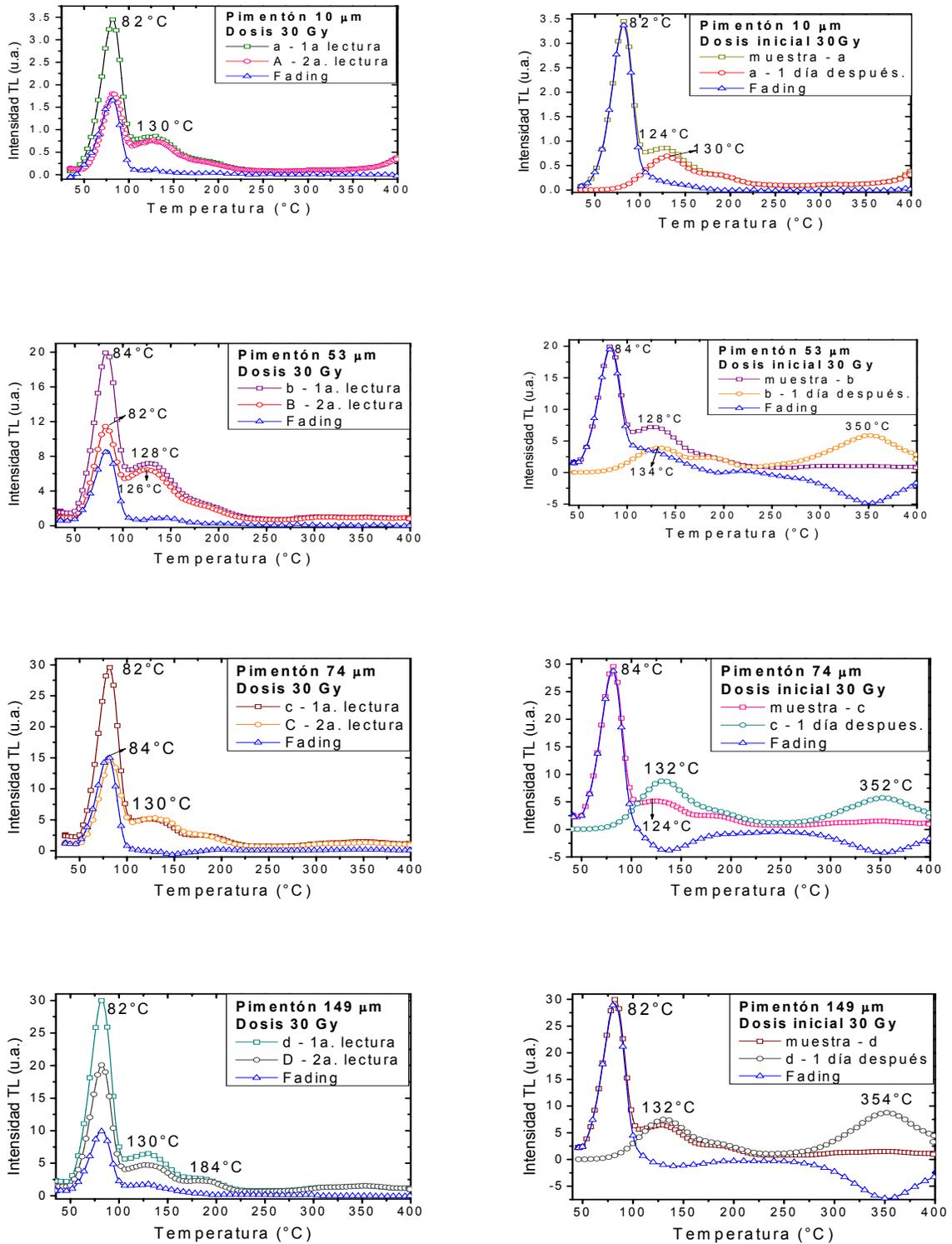


Figura 31. Del lado izquierdo aparecen las curvas de brillo de comparación y diferencia de TL entre la primera lectura y su duplicado (35 min después) y del lado derecho las curvas de brillo de 30 Gy y 24 horas después, a temperatura ambiente, para distintos tamaño de partícula, con el pico de baja temperatura desaparecido

En relación a la estructura de las curvas de brillo se observa que se forma una banda ancha centrada en la temperatura de 350 °C, como se parecía en la figura 31 donde el primer pico de baja temperatura ha desaparecido por lo que se supone que las recombinaciones generadas en ese primer pico se pueden reatrapar en otros subniveles más profundos y ayudan a generar el pico de alta temperatura como se observó en la figura 32.

La generación del pico de alta temperatura en 350 °C se fue notando claramente conforme se aumentaba el tamaño de partícula; 10, 53, 74 y 149 μm y aumentaban los días de almacenamiento en el laboratorio.

Aún más información se obtuvo; el primer pico que situó al inicio en 134 °C se desplazó hacia 148 °C disminuyendo a su vez su intensidad y se fue generando el de alta temperatura y este creció en intensidad pero se mantuvo entre 356 a 358 °C conforme pasaron los días de almacenamiento. Cabe decir que aún a 45 días las muestras exhibieron señales TL muy bien definidas modificando las curvas de brillo pero con una forma similar en el comportamiento y ubicación de los máximos de las curvas de brillo.

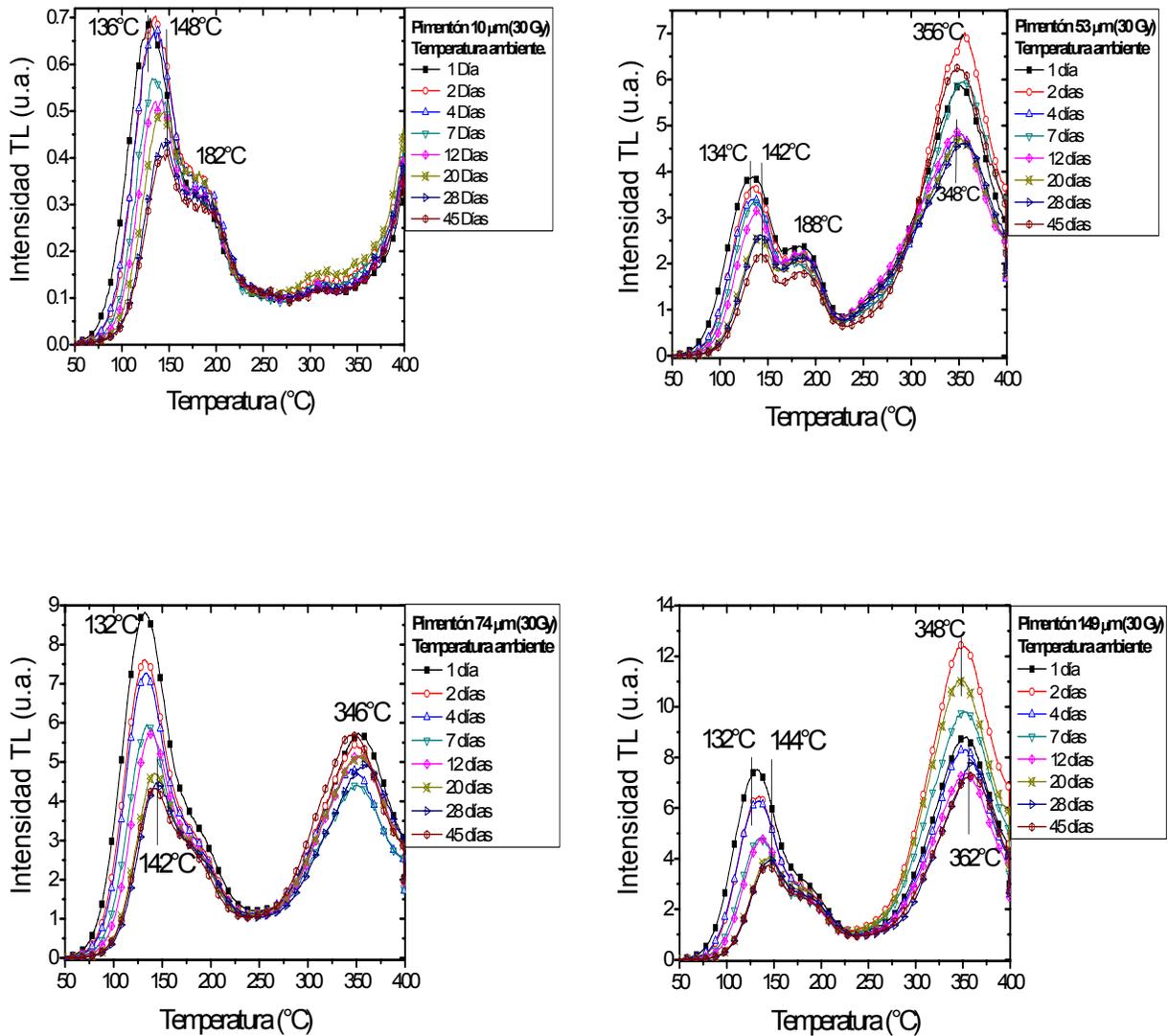


Figura 32. Curvas de brillo del Pimentón rojo con una dosis inicial de 30 Gy para decaimiento a temperatura ambiente, tamaño de partícula 10 μm

4.4. Reproducibilidad de las señales TL, dosis bajas y altas

Dado el comportamiento de las curvas de brillo, se realizaron mediciones de reproducibilidad (Figura 33) de las señales TL a una misma dosis de 30 Gy y también a una dosis alta como 1,000 Gy de radiación gamma de cobalto-60. Se tomaron lecturas hasta 11 veces a la misma dosis con el fin de encontrar la mejor respuesta en

reproducibilidad de las señales, pues es una característica importante de los materiales que se emplean como dosímetros para cuantificar las dosis de radiación. La mejor reproducibilidad fue para el tamaño más homogéneo de 10 y 74 μm . Mientras que el tamaño de 149 μm su reproducibilidad no fue mejor que las muestras de otros tamaños.

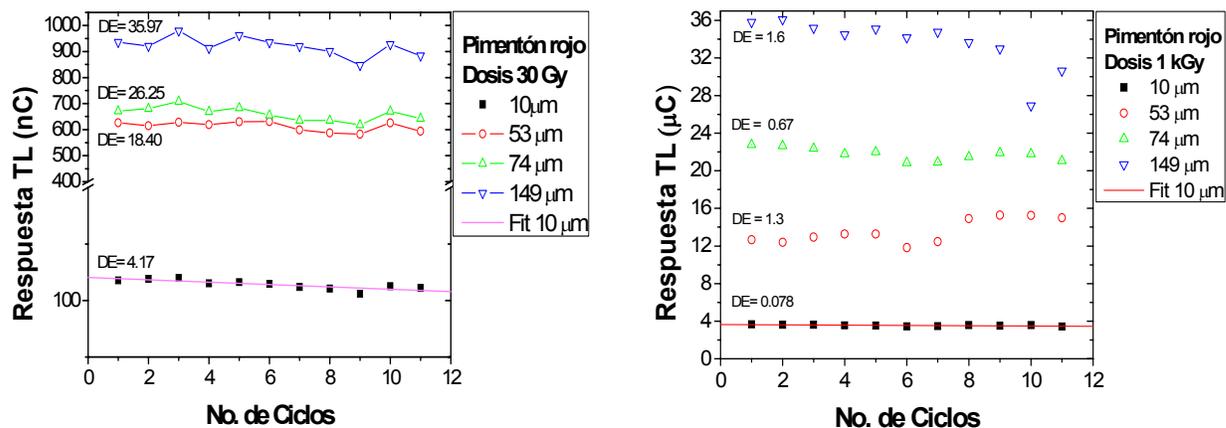


Figura 33. Reproducibilidad de las señales TL para partículas de 10, 53, 74 y 149 μm expuestas a 30 Gy y 1 kGy

4.5. Determinación de máximos TL mediante método de McKeever de Tstop-Tmax

Dada la complejidad del comportamiento de las fracciones minerales de las muestras del Pimentón rojo, se investigó la estructura de las curvas de brillo en cuanto a determinar el número de picos más probables asociados a las trampas que sirven para retener los defectos que más tarde mediante la estimulación con calor o luz serán recombinados. Se utilizó el método propuesto por S. McKeever, de la Universidad de Oklahoma, para determinar la cantidad de picos asociados a las curvas de brillo de las muestras de distintos tamaños de partícula. La resolución mejor de los “escalones” Tstop-Tmax se mostró más claramente para los tamaños de 53 y 74 μm . El resultado muestra que las curvas de brillo para las distintos tamaños de partícula se componen

de al menos seis picos, ubicados cercanos a 80-84 °C, 120-132°C, 175°C, 200°C, otro en 275 °C y el último en 320-370 °C (Figura 34).

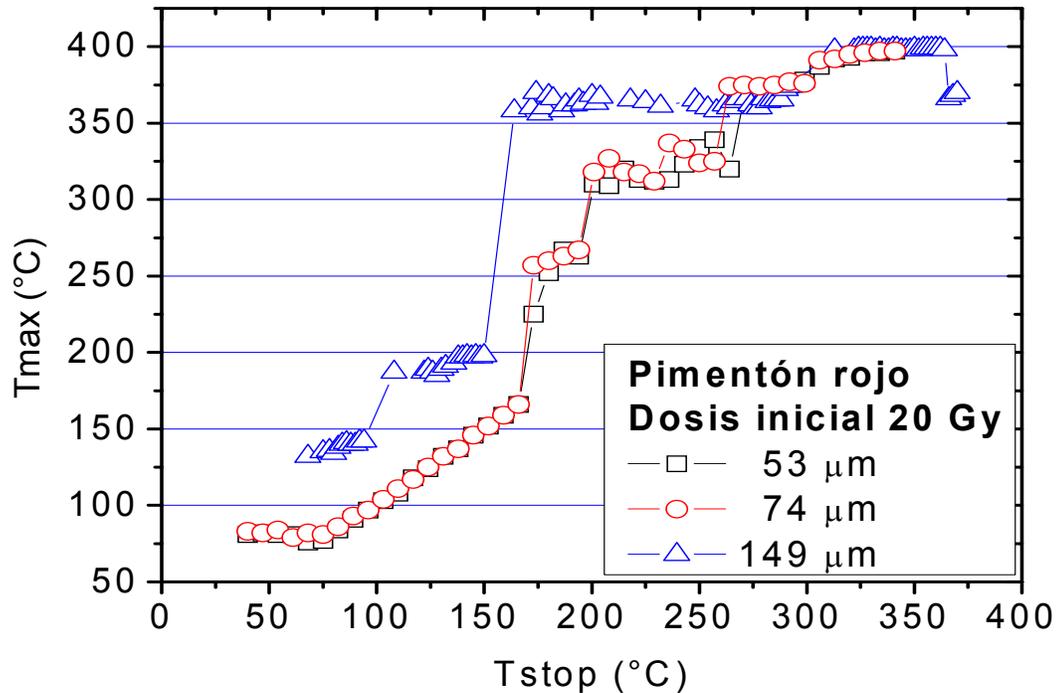


Figura 34. Relación de Tstop vs Tmax (Método de McKeever) para los tamaños 53, 74 y 149 μm expuestas a 20 Gy

4.5.1. Variación de los picos principales TL de las muestras

Por último se contrastaron las curvas de brillo entre los distintos tamaños en cuanto a múltiplos de las dosis de 20 Gy; 60 y 120 °C., se encontró que a tamaño de 53 μm la intensidad TL del primer pico entre 80-86 °C fue mayor que el segundo ubicado en 126-130 °C. El primero se desplazó ligeramente hacia 94°C y se vió junto cada vez más al segundo que se ubicó en 132°C para la dosis de 120 Gy. Una tercera banda ancha TL se empezó a formar hacia 324 °C. Seguramente cuando la dosis se aumentó el mecanismo de recombinación presente se modificó sustancialmente en relación a la competencia entre el número de recombinaciones y de reatrapamiento de las cargas

que son liberadas desde las trampas menos profundas. Este tipo de comportamiento también es necesario estudiar aún más pues los modelos propuestos en la literatura no lo explican cabalmente aún.

Para los otros tamaños el comportamiento fue similar, aunque a las dosis entre 90-120 Gy el primer pico se disminuía y crecía más rápidamente el segundo, situación que se mostró claramente para los tamaños de 74 y 149 μm , y en la muestra con el mayor tamaño de partícula se notaron cuatro picos (Figura 35).

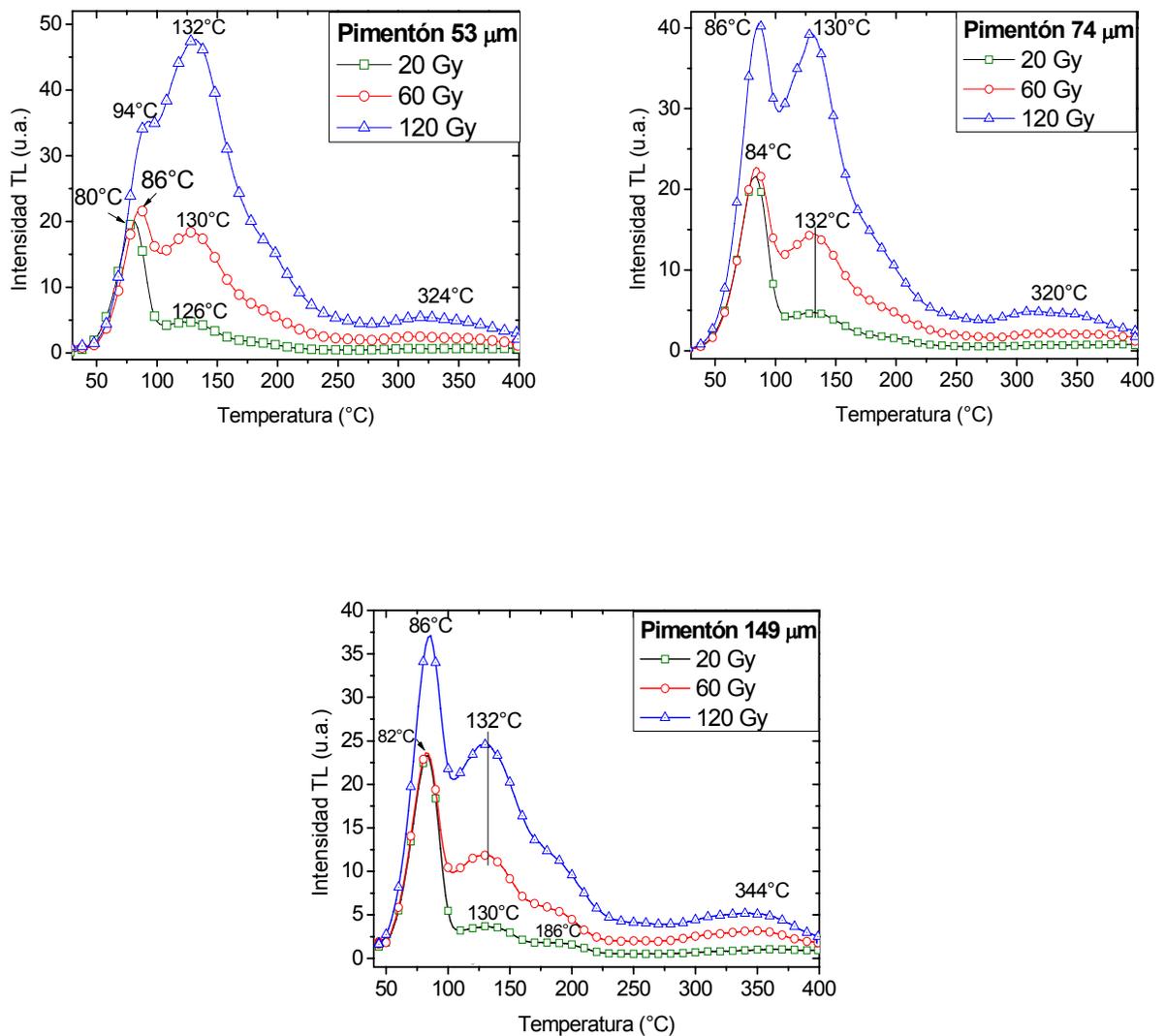


Figura 35. Estructura de las curvas de brillo a 20, 60 y 120 Gy de distintos tamaños de partícula

Capítulo 5. Conclusiones

La producción de casi 1,700,000 toneladas en el año 2002 del pimentón rojo en México es indudablemente de importancia económica para el país. Ello implica que un gran porcentaje es de consumo interno y luego entonces es necesario garantizar su inocuidad desde su cultivo hasta el consumo. Sin duda una alternativa para ello es utilizar el proceso de irradiación que hoy día es un método más eficiente y limpio porque no deja residuos en el alimento. En el caso del pimentón, es común irradiarlo comercialmente en polvo deshidratado. De aquí la importancia de contar con una metodología para la detección del pimentón procesado por radiación. En esta tesis se ha logrado identificar las señales termoluminiscentes (TL) de las muestras de pimentón rojo procedente de la industria comercializadora. El límite mínimo de detección TL de las muestras expuestas a radiación fue a partir de 2 Gy para los cuatro tamaños de partícula.

El polimineral del pimentón en sus distintos tamaños de partícula, la respuesta TL lineal respecto de la dosis impartida a las muestras se encontró entre 0.5 a 20 Gy para 10 μm , mientras que para los tamaños de 53, 74 y 149 μm fue entre 1-30 Gy. Se encontró que para dosis altas una relación lineal se ubicó entre 0.5-3 kGy para 53, 74 y 149 μm , mientras que para 10 μm no existe ninguna relación lineal a dosis altas del orden de kGy.

A las dosis altas las curvas de brillo, evidenciaron la presencia de picos TL relacionados a la presencia del cuarzo en las muestras. Como se sabe en la literatura científica el primer pico del cuarzo se ubica en 110 °C, en las muestras de Pimentón se encontró entre 90-130°C y se desplazó hacia 118°C al aumentar las dosis altas de 20-100 kGy. Cabe decir que en esas regiones de dosis muy altas los cuatro tamaños de partículas de las muestras presentaron regiones de saturación evidente con una región donde la dosis-respuesta se ve disminuida claramente por lo que puede suponerse un eventual daño por radiación al mecanismo de recombinación de los defectos que son responsables de las emisiones TL.

En las curvas de brillo para 53 μm presentaron tres picos; 108-116°C, 302°C y 328°C a las dosis de 0.5-15 kGy. Estos picos fueron relacionados a la presencia del cuarzo en las muestras. En el caso de 74 μm los picos fueron más similares al que se tuvieron en 10 μm , pero el pico de menor temperatura estuvo en 84°C se desplazó hacia 100°C al aumentar la dosis, un segundo pico en 126°C, estos dos últimos tendieron a unirse paulatinamente hasta la dosis de 15 kGy, ello debido a la alta ionización provocada por las dosis altas que provoca una redistribución de trampas con defectos atrapados para ser recombinados por el calor y generar finalmente una curva de brillo con un solo pico ancho.

Para 149 μm se observó un comportamiento similar, pero el primer pico estuvo en 108°C que se desplazó hacia 122°C pero disminuyó en intensidad cuando las dosis fueron altas del orden de 20-100 kGy. El segundo pico estuvo en 200°C y el tercero entre 330-348°C, éste último se ve creciendo conforme aumentó la dosis hasta 100 kGy, lo cual hace suponer que es debido o influenciado fuertemente por reatrapamiento de las cargas o electrones liberados desde las trampas superficiales que antes daban origen a los picos de menor temperatura. Aunque se sabe de otros trabajos (Gastélum *et al*, 2001) que es posible mediante irradiación con luz UV volver a transferir cargas hacia las trampas menos profundas y regenerar los picos ubicados hacia menor temperatura. Este experimento está pendiente como un trabajo a futuro.

Dada la complejidad de la estructura de las curvas de brillo para los distintos tamaños de partícula, se aislaron los tres picos principales mediante un blanqueo térmico. Se observaron cada pico por separado, y el pico I ubicado en la región de baja temperatura siempre tuvo la tendencia de disminución, y mientras que el pico III de mayor temperatura siempre aumentó, mientras que el pico II en la región intermedia de temperatura (Figura 24) disminuyó para 53 μm pero aumentaba para 149 μm . Esto hace suponer que el tamaño de partícula es relevante para el comportamiento del pico II, lo que indicaría que en esa región de temperatura habría trampas inestables que pudieran transferir cargas o electrones hacia las trampas de mayor temperatura principalmente.

Se realizó un análisis de la estabilidad TL de las muestras en condiciones distintas de ambiente como la presencia de UV, luz solar y temperatura ambiente con oscuridad. La pérdida mayor de las señales TL ocurrió cuando las muestras fueron iluminadas con luz solar comparadas con la luz UV de la lámpara de mercurio. A temperatura ambiente para las muestras de 53, 74 y 149 μm se observó una pérdida de aproximadamente 44% a 45 días transcurridos, pero hubo una fuerte pérdida de 75% en el mismo periodo para el tamaño de 10 μm .

Las mediciones de reproducibilidad de las señales TL a la dosis de 30 Gy, indicaron que la mejor desviación estándar fue de 4.17 para el tamaño de partícula de 10 μm . A dosis alta de 1 kGy la mejor reproducibilidad TL fue también para el tamaño de 10 μm , seguida por el tamaño de 74 μm .

Finalmente la estructura de las curvas de brillo fue analizada dada la complejidad de los picos, se realizó el experimento de Tstop en función del máximo TL de cada curva de brillo para 53, 74 y 149 μm . Se observó que el mayor tamaño de partícula mostró más claramente los “escalones” de Tstop-Tmax, refiriendo la presencia de al menos seis picos claramente, lo que influyen en el comportamiento total de cada curva de brillo cuando las muestras fueron expuestas a las distintas dosis altas y aún las mayores a 20 Gy. De aquí la complejidad clara del fenómeno TL de las curvas de brillo del pimentón rojo, cuyo análisis requiere de un mayor estudio. Aunque en el intervalo de 70-175°C de Tstop-Tmax se observó casi una disposición de subida lineal de Tmax lo que es típico de una distribución casi-contínuas de trampas (Favalli *et al*, 2006; Gómez-Ros *et al*, 2006) en el material, que este caso es mayoritariamente cuarzo que compone a la fracción inorgánica del pimentón rojo Mexicano. Un análisis de la variación de los picos TL finalmente reafirma que a las mismas dosis (20, 60 y 120 Gy) los tamaños de partícula influyen notablemente en el comportamiento de los picos de las curvas de brillo. A 120 Gy se notó que para 53 μm el pico en 132°C es mayor que el de menor temperatura en 94°C, sin embargo cuando el tamaño es de 74 μm estos picos se distinguen muy bien separados y casi en igual intensidad TL, situación que varía para el caso del tamaño de partícula mayor 149 μm , el primer pico de 86°C es mayor que el segundo en 132 °C.

En los tres casos se observó el pico de mayor temperatura entre 320-344°C.

Finalmente de los resultados de esta tesis se puede decir que la termoluminiscencia es un fenómeno que sigue siendo útil para la detección del Pimentón rojo irradiado.

Bibliografía

- Bailiff, I.K., and Poolton N.R.J. 1991. Studies of charge transfer mechanisms in feldspars. Nucl. Tracks Radiat. Meas. **18**(1/2), 111-118.
- Bortolin, E., Bustos Griffin, E., Cruz-Zaragoza, E., V. De Coste & S. Onori. 2005. Electron paramagnetic resonance detection of Mexican irradiated spices. International Journal of Food Science and Technology **40**, 1-8.
- Calderón, T. 2000. *La irradiación de alimentos*. (Mc Graw Hill. Madrid España), 16 - 18, 91 - 99, 123 - 136, 139 - 157.
- Correcher, V. José L. Muñiz and José M. Gómez-Ros.1998. Dose dependence and Fading effect of the thermoluminescence signals in γ -irradiated Paprika. J,Sci Food Agric **76**, 149-155.
- Cruz-Zaragoza, E., Furetta, C., Kitis, G., Teuffer, C. and Barboza-Flores, M. 2006a. Oregano and Paprika spices: Their thermoluminescent characteristics for food irradiation and dose assessment. American Journal of Food Technology **1** (1), 66-76.
- Cruz-Zaragoza, E., Furetta, C., Kitis, G., Torres Gómez, B., Polymeris, G. S., Tsirliganis, N. and Loukous, Z. 2006b. Thermoluminescence characterization of the irradiated minerals extracted from nopal. Radiation Effects & Defects in Solids **161** (5), 267-278.
- Cruz Zaragoza, E., 2004. *La irradiación de alimentos en otros países y en México. Experiencia Mexicana en Aceleradores de Partículas*. María de la Paz Ramos Lara, coordinadora. (Siglo XXI editores, México D.F.), 217-237.
- Dana, J., Cornelis, K., Cornelius S., 1996. *Manual de mineralogía*. (Reverté S.A. 4^{ta} edición,) 2-3, 298.
- Delincée, H.1998. Detection of food treated with ionizing radiation. Trends in Food Science & Technology. **9**,73-82.
- Delincée, H. & Christiane. S. 2002. Improvement of the ESR detection of irradiated food containing cellulose employing a simple extraction method. Radiat. Phys. Chem. **63**, 437-441.
- Díaz, M. C. 1976. *Iniciación práctica a la mineralogía*, (Alhambra S.A., España), 484 – 493.
- Draganić, I. G. and Draganić, Z. D., 1971. *The Radiation Chemistry of water*. (Academic Press, New York).

- Duke, James A. 2000. *Handbook of Medicinal Herbs* (CRC press Inc. Boca Raton, Florida).
- Engin, Birol. 2007. Thermoluminescence parameters and kinetics of irradiated inorganic dust collected from black peppers. *Food Control* **18**, 243-249.
- Favalli, A., Furetta, C., Cruz Zaragoza, E., Reyes, A. 2006. Computerized glow curve deconvolution of thermoluminescent emission from polyminerals of Jamaica Mexican Flower, *Radiation Effects and Defects in Solid* **161**(10), 591-602.
- FAO/IAEA, 1970. Division of Atomic Energy in Food and Agriculture. Training Manual on Food Irradiation Technology and Techniques. Technical Reports Series No. 114 (FAO/IAEA, Vienna).
- Fragoulis D.V., and Readhead, M.L., 1991. Feldspar inclusions and the anomalous fading and enhancement of thermoluminescence in quartz grains. *Nucl. Tracks Radiat. Meas.* **18**(3), 291-296.
- Furetta Claudio, Weng Pao-Shang, 1998. *Operational Thermoluminescence Dosimetry.* (World Scientific, Singapore) 3-7.
- Gastéllum, A.S. 2001. *Aplicación del fenómeno de Termoluminiscencia en la detección de Alimentos Irradiados,* (Tesis de licenciatura, Universidad de Sonora, Hermosillo, Son.) 1-20, 25-35, 39-50.
- Gómez-Ros, J.M., Furetta, C., Cruz-Zaragoza, E., Lis, M., Torres, A., Monsivais, G. 2006. Dose dependence and thermal stability of the thermoluminescence emission in inorganic dust from mint and camomile. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* **566** 727-732.
- Guzmán, A.S. 2007. *Análisis del efecto de la radiación gamma en la canela y en sus principales componentes por RPE.* (Tesis de Maestría en Ciencias, Instituto de Ciencias Nucleares, Universidad Nacional Autónoma de México), 7.
- Huntley, D.J., Godfrey-Smith, D.I., and Haskell, E.H. 1991 Light-induced emission spectra from some quartz and feldspars, *Nucl. Tracks Radiat. Meas.* **18** (1/2), 127-131.
- Huntley, D.J., Godfrey-Smith, D.I., Thewalt, M.L.W., Prescott, J.R. and Hutton, J.R. 1988. Some quartz of thermoluminescence spectra relevant to thermoluminescence dating. *Nucl. Tracks Radiat. Meas.* **14**, 27-33.
- INEGI, 2007. Anuario Estadístico del Comercio Exterior de los Estados Unidos Mexicanos. *Sección II: Productos del reino vegetal.* INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía e Informática, México) <http://www.inegi.gob.mx/inegi/default.aspx> (accesado en 27 de Octubre de 2008).

- Josephson, E., Peterson, M. 1982. *Preservation of Food by Ionizing Radiation*, Vol.1. (CRC Press, Inc., Florida), Chapter 2, 108 y 256-257.
- Lawrence Haire, D., Chen, G., Janzen, E. G., Fraser, L., & Lynch J. A.1997. Identification of irradiated foodstuffs: a review of the recent literature. *Food Research International* **30** (3/4), 249 – 264.
- Lehmann, Chr. 1977. *Interacción of radiation with solids and elementary defect production. Series Defects in Crystalline Solid* (S. Amelinckx, R. Gevers, J. Nihoul, Editors, North – Holland Publishing Company, Amsterdam.), 89 – 91.
- Lovell, S. 1979. *An introduction to radiation dosimetry*. (Cambridge university Press, London, New York.), 28 – 35.
- Mahesh, K., Weng, P. S., Furetta, C. 1989. *Thermoluminescence in solids and its applications*. (Nuclear technology publishing Ashford, Kent TN25 4NW, England, U.K.), 45.
- Maroto, J. 1986. *Horticultura herbácea y especial* (Mundi-Prensa, 5^{ta} Edición, Madrid, España).
- Martin, A, and Harbison A.S. 1979. An introduction to radiation protection. (Chapman and Hall, London), 27-31.
- Moffat, W.G., Pearsall, G.W., Wulff, J. 1986. Estructura. Volumen 1. (Editorial Limusa, México). Capítulos 2 y 3.
- Molins, R. A. 2001. *Food irradiation. Principles and Applications*. (John Wiley & Sons, Inc., USA). Cap.10.
- Navarrete, J y Cabrera, L. 1993. *Introducción al estudio de los radioisótopos*. (2^{da} edición, UNAM, México), 13-17, 23.
- Norma Oficial Mexicana NOM-033-SSA01-1993. Bienes y Servicios. *Irradiación de Alimentos. Dosis Permitidas en Alimentos, Materias Primas y Aditivos Alimentarios*. (Diario Oficial de la Federación 1995, México).
- Norma Mexicana NMX-F-001-1982. Dirección General de Normas. Alimentos. *Espicias y condimentos. Pimentón. Food spices and condiments. Paprika*.
- Phillips, W.J. y N. 1986. *Fundamentos de mineralogía para geólogos*. (Limusa, México), 16-18, 254,289.
- Potter, N, 1973. *La ciencia de los alimentos*. (Centro Regional de Ayuda Técnica, México D.F.), 323-348.

- Robertson, G.B., Prescott, J.R. and Hutton, J.T. 1991. Bleaching of the thermoluminescence of feldspars by sunlight. *Nucl. Tracks Radiat. Meas.* **18**(1/2), 101-107..
- Skoog, D. A. 1990. *Análisis instrumental*. (Mc Graw Hill, 2^{da} edición, México).
- Stoneham, D. and Stokes, S. 1991. An investigation of the relationship between the 110 °C TL peak optically stimulated luminescence in sedimentary quartz. *Nucl. Tracks Radiat. Meas.* **18**(1/2), 119-123.
- Torres Gómez, B. K., 2005. *Extracción de poliminerale de nopal deshidratado (Opuntia ficus-indica), irradiación e identificación termoluminiscente*. (Tesis de Licenciatura, Facultad de Química UNAM, México D.F.).
- Torres Pérez, A., y Monsivais Vilchis, M.G., 2007. *Detección y comportamiento termoluminiscente de hierbabuena (Mentha sativa L.) y manzanilla (Matricaria chamomilla) ionizadas a bajas y altas dosis por radiación gamma*. (Tesis de licenciatura, Facultad de Química. Universidad Nacional Autónoma de México).
- Tufiño, V.A. 2007. *Detección termoluminiscente de pimienta negra (piper nigrum L.) y pimentón rojo (Capsicum annuum L.) expuestos a radiación gamma*. (Tesis de licenciatura, Facultad de Química. Universidad Nacional Autónoma de México), 56-57.
- Villavicencio, A., Manzini, J. & Delincée, H. 1998. Application of different techniques to identify the irradiation on Brazilian beans after six months storage. *Radiat. Phys. Chem.* **52**, 161 – 166.
- Woods, R. & Pikaev, A. 1994. *Applied radiation chemistry. Radiation processing*. (John Wiley & Sons, USA).

Direcciones de apoyo de sitios Internet:

- http://www.agrobit.com.ar/Info_tecnica/Alternativos/horticultura/AL_000020ho.htm. Producción Hortícola, el cultivo de pimiento para pimentón (accesado en 29 Mayo 2007)
- <http://www.botanical-online.com/pimimientos.htm>. Botánica en línea, propiedades de los pimientos (accesado en 29 Mayo 2007)
- <http://taninos.tripod.com/siembra2.htm> (accesado en Abril 2008)
- <http://gl.pandapedia.com/wiki/Cuarzo>. Imágenes de variedades de cuarzo (accesado en 2 Marzo 2008)
- http://www.codexalimentarius.net/web/index_es.jsp (Normas alimentarias FAO/OMS) (accesado en 7 Octubre 2008)

CODEX STAN – 146 (1985) Etiquetado

CODEX STAN – 192 (1995) Norma general para aditivos alimentarios

CODEX STAN – 231 (2001) Métodos generales del CODEX para la detección de alimentos irradiados.

- <http://www.geovirtual.cl/geologiageneral/geogenap.html> Definiciones de cuarzo, feldespatos, sílicatos, W.Griem & S.Griem-Klee Apuntes de geología en general (2003), Universidad de Atacama Departamento de Minas, Área de Geología. (accesado en 2 Marzo 2008)
- <http://www.valencia.com> Denominación de origen del pimentón (accesado en 14 de Marzo 2008)
- http://www.icta.gob.gt/fpdf/publi_/chiles.pdf Datos de países importadores de Pimentón (accesado en 27 de Octubre de 2008).

Anexos

Anexo 1.

NMX-F-001-1982. ALIMENTOS. ESPECIAS Y CONDIMENTOS. PIMENTON. FOODS SPICES AND CONDIMENTS. PAPRIKA. NORMAS MEXICANAS. DIRECCIÓN GENERAL DE NORMAS.

INTRODUCCIÓN

Las especificaciones que se establecen en esta Norma sólo podrán satisfacerse cuando en la elaboración del producto se utilicen materias primas e ingredientes de calidad sanitaria, se apliquen buenas técnicas de elaboración, se realicen en locales e instalaciones bajo condiciones higiénicas, que aseguren que el producto es apto para el consumo humano.

OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta Norma Mexicana establece las especificaciones que debe cumplir el producto denominado "PIMENTÓN".

DEFINICIÓN Para los efectos de esta Norma se establece la siguiente definición:

Se entiende por pimentón al producto obtenido de la molienda y pulverización de los frutos maduros, secos, sanos y limpios de las plantas solanáceas *Capsicum annum* L.

CLASIFICACIÓN Y DESIGNACIÓN DEL PRODUCTO

El producto objeto de esta Norma se clasifica en tres tipos con tres grados de calidad.

Tipos:

Tipo I Pimentón dulce

Tipo II Pimentón semidulce

Tipo III Pimentón picante

Grados de calidad:

Grado A. Corresponde al producto obtenido de la molienda de únicamente las cápsulas del fruto, sin mezcla de placentas ni semillas (dulce).

Grado B. Corresponde al producto obtenido de la molienda de la cápsula entera (semidulce).

Grado C. Corresponde al producto obtenido de la molienda de las placentas y semillas (picante).

El producto objeto de esta Norma se designa como "PIMENTÓN".

ESPECIFICACIONES

El pimentón en sus tres tipos con tres grados de calidad debe cumplir con las siguientes especificaciones:

Sensoriales: Para las especificaciones sensoriales véase tabla 1.

Tabla 1.

Grados de calidad			
Calidad	A	B	C
Olor	Fresco, ligeramente dulce, suavemente picante, aromático y libre de rancidez.	Fresco, ligeramente picante, aromático, libre de rancidez y de olores extraños.	Fresco, aromático, picante, libre de rancidez y de olores extraños.
Color	Rojo uniforme y característico del tipo y variedad.	Rojo uniforme y característico del tipo y variedad.	Rojo uniforme y característico del tipo y variedad.
Sabor	Fresco, dulce, suavemente picante y libre de sabores extraños.	Fresco, semidulce, ligeramente picante, y libre de sabores extraños.	Fresco, picante y libre de sabores extraños.
Aspecto	Polvo	Polvo	Polvo

Características Físicas y químicas: El pimentón debe cumplir con las siguientes especificaciones físicas y químicas contenidas en la tabla 2.

Tabla 2.

Especificaciones	A		B		C	
	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
Humedad en %	6	12	6	12	6	12
Cenizas totales en %	7	10	7	10	7	10
Cenizas insolubles en ácido en %	0.40	1.00	0.40	1.00	0.40	1.00
Extracto etéreo total en %	13	20	13	20	13	20
Índice de yodo	125	136	125	136	125	136
Índice de refracción	1.47	1.50	1.47	1.50	1.47	1.50
Fibra cruda en %	17	23	17	23	17	23
Capsaicina en %	0.00	0.03	0.04	0.06	0.07	

Microbiológicas: El producto objeto de esta Norma no debe contener microorganismos patógenos, toxinas microbianas ni otras sustancias tóxicas que puedan afectar la salud del consumidor o provocar deterioro del producto.

Materia extraña objetable

En el producto objeto de esta Norma se permiten los siguientes límites: Por promedio de 3% con plaga o moho, un mg de excreción de mamífero, por cada 454g, 50 fragmentos de insectos, por cada 25g, o 6 pelos de roedor por cada 25g.

Contaminantes químicos

El producto objeto de esta Norma no deberá contener ningún contaminante químico en cantidades que puedan representar un riesgo para la salud. Los límites máximos para estos contaminantes quedan sujetos a lo que establezca la Secretaría de Salubridad y Asistencia.

Aditivos

Se permite agregar hasta 3 % de aceite comestible o 2% máximo de bióxido de silicio como anticompactante al producto para darle mejor presencia y conservación.

Anexo 2

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-033-SSA1-1993, BIENES Y SERVICIOS. IRRADIACIÓN DE ALIMENTOS. DOSIS PERMITIDAS EN ALIMENTOS, MATERIAS PRIMAS Y ADITIVOS ALIMENTARIOS.

INDICE

- 0 INTRODUCCION
- 1 OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION
- 2 DEFINICIONES
- 3 SIMBOLOS Y ABREVIATURAS
- 4 DISPOSICIONES SANITARIAS
- 5 ESPECIFICACIONES SANITARIAS
- 6 MUESTREO
- 7 ETIQUETADO
- 8 ENVASE, EMPAQUE Y EMBALAJE
- 9 TRANSPORTE
- 10 CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES
- 11 BIBLIOGRAFIA
- 12 OBSERVANCIA DE LA NORMA
- 13 VIGENCIA
- 14 APENDICE NORMATIVO Apéndice A

0 Introducción

La irradiación de alimentos consiste básicamente en la exposición de éstos a la acción de la radiación ionizante proveniente de una fuente de radiación permitida para tal efecto; constituye una alternativa para reducir las cargas bacterianas y eliminar microorganismos patógenos, que ponen en peligro la salud del hombre o bien que llevan al deterioro de los mismos.

La irradiación de alimentos se propone por la Organización Mundial de la Salud como medida para reducir la incidencia de enfermedades transmitidas por alimentos, que

afectan la salud y productividad de la mayoría de los países, constituyendo uno de los problemas de salud pública más extendidos en el mundo contemporáneo.

Por lo tanto, la salud de los habitantes de un país, está condicionada de manera importante a la inocuidad de los alimentos y de las condiciones de su abastecimiento.

Una Norma Oficial Mexicana que controle y regule este proceso en alimentos, materias primas y aditivos alimentarios, por medio de la aplicación de dosis permitidas con propósitos definidos, permitirá disminuir el número de casos reportados como enfermedades transmitidas por alimentos.

1. Objetivo y campo de aplicación

1.1 Esta Norma Oficial Mexicana establece las dosis permitidas para la irradiación de alimentos, materias primas y aditivos alimentarios.

1.2 Esta Norma Oficial Mexicana es de observancia obligatoria en el Territorio Nacional para las personas físicas o morales que se dedican a su proceso o importación.

2. Definiciones

Para fines de esta Norma se entiende por:

2.1 Descontaminación, proceso mediante el cual se reduce o elimina la contaminación por microorganismos que son perjudiciales para la salud.

2.2 Desinfestación, proceso mediante el cual se eliminan parásitos o insectos de un producto.

2.3 Dosimetría, medida de la dosis de radiación ionizante absorbida en un punto dado.

2.4 Dosímetro, dispositivo para medir la dosis de radiación ionizante absorbida manifestada por un cambio físico o químico por el paso de radiación ionizante a través de él.

2.5 Dosis de radiación ionizante, cantidad de energía absorbida por unidad de masa de un alimento, materias primas y aditivo alimentario, a través del proceso de irradiación.

2.6 Fuente de radiación ionizante, todo elemento químico inestable o dispositivo electromecánico, capaz de emitir radiaciones ionizantes en forma cuantificable. Dichas fuentes son las que se establecen en el Reglamento.

2.7 Irradiación de alimentos, proceso físico que utiliza una fuente de radiación ionizante permitida para dar una exposición intencional en alimentos, materias primas y aditivos alimentarios, que no exceda de las dosis permitidas en este ordenamiento.

2.8 Lote de producto irradiado, conjunto de productos de la misma naturaleza, que fueron sometidos a tratamiento de irradiación.

2.9 Permisionario, persona física o moral propietaria de la planta o establecimiento de irradiación que invariablemente debe contar con la autorización, permiso o licencia expedida por la Secretaría de Salud y la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias, en el ámbito de sus competencias, para desarrollar el proceso de irradiación de productos.

2.10 Planta o establecimiento de irradiación, instalación utilizada para el propósito del tratamiento por irradiación de alimentos, materias primas y aditivos alimentarios, la cual debe cumplir con los requisitos establecidos por la Secretaría de Salud y la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias, en el ámbito de sus competencias.

2.11 Producto, cualquier alimento procesado o no, materias primas, semillas y aditivos alimentarios.

2.12 Radiación ionizante, toda radiación electromagnética o corpuscular capaz de producir iones, directa o indirectamente, debido a su interacción con la materia.

3. Símbolos y abreviaturas

Cuando en esta Norma se haga referencia a la siguiente abreviatura se entiende por: kGy (kilogray)

Donde: $1000 \text{ Gy} = 1 \text{ kGy}$

Cuando en la presente Norma se mencione al Reglamento, debe entenderse que se trata del Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Control Sanitario de Actividades, Establecimientos, Productos y Servicios.

4. Disposiciones sanitarias

Los productos objeto de esta Norma, además de cumplir con lo establecido en el Reglamento, deben ajustarse a las siguientes disposiciones:

4.1 El permisionario dedicado al proceso de irradiación en los alimentos, materias primas y aditivos para alimentos establecidos en esta Norma, se obliga a entregar a los usuarios solicitantes del servicio una constancia por lote que indique:

4.1.1 Identificación del producto.

4.1.2 Número del lote.

4.1.3 Fuente de radiación utilizada.

- 4.1.4 Dosis mínima y máxima a las que el lote fue irradiado.
- 4.1.5 Nombre y dirección donde se aplicó el proceso de irradiación.
- 4.2 Son obligaciones del permisionario, exigir al usuario que solicita el proceso de irradiación en alimentos, materias primas y aditivos para alimentos los siguientes datos, mismos que se deben conservar con el registro de cada lote irradiado:
 - 4.2.1 Nombre de la persona física o moral que presenta el producto para el proceso.
 - 4.2.2 Identificación del producto.
 - 4.2.3 Número de lote.
 - 4.2.4 Cantidad del producto a irradiar.
 - 4.2.5 Envases y empaques utilizados.
 - 4.2.6 Propósito de la irradiación.
 - 4.2.7 Vida de anaquel del producto.
 - 4.2.8 Informar si un lote del producto ha sido irradiado previamente, cuando proceda.
- 4.3 Debe llevarse un control de los productos que reciban irradiación repetida, ajustándose a lo establecido en el Reglamento.
- 4.4 El usuario debe dar aviso a la Secretaría de Salud cuando los productos sean sometidos a irradiación.
- 4.5 El personal que labore dentro de la planta o establecimiento dedicado al proceso de irradiación de alimentos, materias primas y aditivos alimentarios debe cumplir con los requisitos para el desarrollo de sus actividades, de acuerdo al Reglamento y al Reglamento General de Seguridad Radiológica, editado por la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias.
- 4.6 Sólo personal capacitado y autorizado por la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias, podrá desarrollar actividades involucradas con la actividad del irradiador.
- 4.7 La documentación relacionada con el proceso de irradiación de alimentos, materias primas y aditivos para alimentos debe ser proporcionada a los representantes de la Secretaría de Salud.
- 4.8 La planta o establecimiento, debe contar con la licencia de la Secretaría de Salud y de la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias, las que evaluarán los aspectos de diseño, construcción y operación desde el punto de vista de protección

radiológica teniendo en cuenta sus efectos en el personal, público y medio ambiente, en el ámbito de su competencia.

5. Especificaciones sanitarias

Los productos objeto de este ordenamiento deben cumplir con las siguientes especificaciones:

5.1 Las dosis de aplicación permitidas en el proceso de irradiación de alimentos, materias primas y aditivos para alimentos son las siguientes:

Las dosis mínimas dependen de las características propias del producto.

PRODUCTOS/GRUPOS PROPOSITO DOSIS (kGy) MINIMA MAXIMA

1. Bulbos, raíces, para inhibir la brotación 0,05 0,2 tubérculos (papa, cebolla, ajo, entre otros) durante el almacenamiento. 0,01 1,0

2. Frutos frescos, para retraso en el proceso de vegetales (champiñones, maduración. mango, papaya, entre prolongar el proceso de 0,05 2,5 otros) vida de anaquel. Para tratamiento 0,15 1,0 cuarentenario.

3. Cereales, cereales para controlar la 0,15 1,0 molidos (trigo, arroz, infestación por insectos. soya, maíz y sus productos, entre otros).

4. Pescado y productos, para asegurar la calidad 2,0 5,0 del mar, ancas de rana sanitaria por reducción frescos y congelados del número de microorganismos patógenos.

Prolongar la vida de anaquel 1,0 3,0 por eliminación parcial de organismos que causan deterioro.

Control de infección 0,5 2,0 por parásitos.

5. Pollo fresco, para asegurar la calidad 2,0 7,0 congelado y sus sanitaria por reducción de derivados microorganismos patógenos.

Prolongar la vida de anaquel de productos 1,0 3,0 frescos por eliminación parcial de organismos que causan deterioro.

6. Carne de cerdo, para tener un control de infección por 0,3 1,0 parásitos.

7. Hierbas secas frutas, para asegurar la calidad 5,0 10,0 secas, condimentos, sanitaria por reducción hierbas de infusión de microorganismos patógenos.

Control de infestación por 0,15 1,0 insectos.

8. Productos deshidratados para disminuir carga microbiana.

-Huevo y leche 2,0 5,0

- Cocoa 5,0
- Colorantes naturales 5,0 10,0
- Carne de res o pollo 10,0 10,0
- Caldo/camarón, pescado 5,0 10,0 pollo

6. Muestreo

El procedimiento de muestreo para los productos objeto de esta Norma, debe sujetarse a lo que establece la Ley General de Salud.

7. Etiquetado

La etiqueta de los productos objeto de esta Norma, además de cumplir con lo establecido en el Reglamento y la Norma Oficial Mexicana correspondiente, debe sujetarse a lo siguiente:

Debe aparecer el símbolo internacional de irradiación de alimentos.



8. Envase, empaque y embalaje

8.1 Envase

Los productos objeto de esta Norma se deben envasar en recipientes de tipo sanitario, elaborados con materiales inocuos y resistentes a distintas etapas del proceso, de tal manera que no reaccionen con el producto o alteren sus características físicas, químicas y organolépticas.

8.2 Empaque

Se deben usar envolturas de material resistente que ofrezcan la protección adecuada a los envases para impedir su deterioro exterior, a la vez faciliten su manipulación, almacenamiento y distribución.

8.3 Embalaje

Se deben de usar envolturas de material resistente que ofrezcan la protección adecuada a los empaques para impedir su deterioro exterior, a la vez que faciliten su manipulación, almacenamiento y distribución.

Los materiales de envase que se pueden utilizar para irradiar son los especificados en el Apéndice Normativo A.

9. Transporte

Los vehículos destinados al transporte de los productos objeto de esta Norma deben cumplir con lo establecido en los artículos correspondientes del Reglamento de acuerdo a las características de los mismos.

10. Concordancia con normas internacionales

Esta Norma no tiene concordancia con normas internacionales.

12. Observancia de la Norma

La vigilancia en el cumplimiento de la presente Norma corresponde a la Secretaría de Salud.

13. Vigencia

La presente Norma Oficial Mexicana entrará en vigor con su carácter de obligatorio a los treinta días siguientes a partir de su publicación en el Diario Oficial de la Federación. Sufragio Efectivo. No Reelección.

México, D.F., 29 de noviembre de 1994.- El Director General de Control Sanitario de Bienes y Servicios, José Meljem Moctezuma.- Rúbrica.

Apéndice Normativo A

A. Materiales de Empaque para su Uso en Irradiación de Alimentos.

Material	Dosis Max. (KGy)	Material	Dosis Max. (KGy)
Papel kraft	5	Película de gomas hidroclorados	10
Papel cristal (Glassine)	10	Copolímero de 1 alqueno-etileno	10
Cartón recubierto de cera	10	Película nylon	11, 10
Celofán recubierto de nitrocelulosa	10	Sacos de polipropileno	10
Pergamino vegetal	60	Película nylon	6,60
Papel	60	Película de polietileno	60
Copolímero de cloruro de vinilideno recubierto con celofán (Sarán)	10		

Fecha de publicación: 7 de marzo de 1995.

Anexo 3.

IRRADIADOR GAMMABEAM GB 651 PT CON FUENTE DE RADIACIÓN

Para realizar la parte experimental de esta tesis se utilizó el irradiador Gammabeam GB651 PT, ubicado en la Unidad de Irradiación y Seguridad Radiológica del Instituto de Ciencias Nucleares de la UNAM, en Ciudad Universitaria en México D.F.

El Gammabeam GB651 PT es un irradiador semi-industrial con capacidad de apoyo a la investigación científica, también brinda servicio a la pequeña y mediana industria. El material radiactivo se encuentra en lápices de ^{60}Co los cuales están ensamblados en doble barra de acero inoxidable por seguridad, sumergido en una alberca de 6.5 m de profundidad de agua desionizada la cual sirve de blindaje biológico y evita el contacto directo con las muestras o productos industriales (Figura 36).



Figura 36. Una cara del irradiador Gammabeam 651 PT y de protección a las fuentes

Para el control de la dosis deseada, las muestras o productos industriales se colocan por tiempos y posiciones específicas con respecto a la distribución de las fuentes, mediante una consola de control que se encuentra en la parte externa del Gammabeam GB651 PT, se manipulan las fuentes y se indica el tiempo requerido para la dosis deseada (Figura 37).



Figura 37. Consola de Control de todo el sistema y de las fuentes del irradiador Gammabeam GB651 PT

Sus paredes sirven de blindaje a la cámara de irradiación y están diseñadas para resistir hasta 7.4×10^{15} Bq de actividad, cada pared tiene una densidad de concreto de 2.36 g/cm^3 (Figura 38).



Figura 38. Laberinto de acceso con muros de 2.10 m de espesor y piso falso de seguridad

En la figura 39 se muestra algunos sistemas de seguridad de acceso con los que cuenta el irradiador Gammabeam GB651 PT.



Figura 39. Señalización de presencia de radiación, enseguida la caja de verificación de niveles de radiación, fuente de prueba y funcionamiento del monitor portátil del operador.

El campo de exposición depende de la carga almacenada de material radiactivo y la exposición exterior a la cámara de irradiación. En la figura 40 se muestra un corte transversal del edificio especial del irradiador Gammabeam 651PT, así como la ubicación de las principales partes que lo componen.

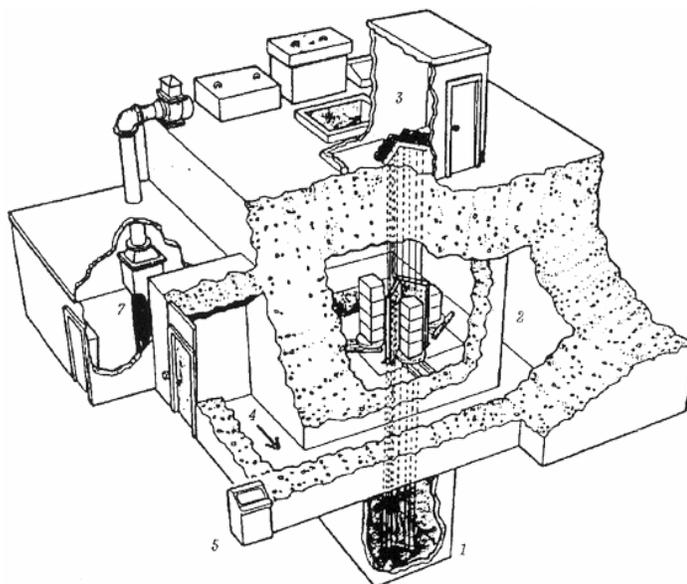


Figura 40. 1) Fuentes de ^{60}Co y piscina para almacenamiento y blindaje de las fuentes, 2) Cámara de irradiación, 3) Control del sistema neumático del movimiento de las fuentes radiactivas, 4) Laberinto de acceso, 5) Area de la Consola de Control de todo el sistema del irradiador y de las fuentes.

IRRADIADOR AUTOBLINDADO GAMMACELL-200

Se utilizó el irradiador Gammacell 200 (Figura 41) para las dosis bajas de 1 Gy a 500 Gy. Es un irradiador autoblandado de 2,630 Kg de peso, fue diseñado por Atomic Energy of Canada Limited. Este fue heredado desde fines de 1967 con 3,650 curies de actividad, ha acompañado a los investigadores del ICN con los antecedentes de laboratorio Nuclear y Centro de Estudios Nucleares de la UNAM.



Figura 41. Irradiador Gammacell-200 tipo autoblandado

El irradiador Gammacell-200 fue diseñado para irradiación de muestras de investigación. Está cargado con material radiactivo de Cobalto-60. En el centro del cilindro de plomo posee un anillo concéntrico donde se insertaron simétricamente 24 lápices de cobalto-60 con una longitud de 13.97cm. Los lápices de acero inoxidable están sellados en sus extremos para evitar la salida del material radiactivo a la cavidad del cilindro del irradiador.

Las fuentes están fijadas en el centro del cilindro de plomo y las muestras colocadas en el émbolo bajan a posición de irradiación hasta obtener las dosis deseadas. Las fuentes se componen de ensambles de pastillas de óxido de ^{60}Co . Cada seis meses se realizan frotis al émbolo y a la cámara de irradiación en su parte interior y exterior para realizar las pruebas contrafuga de este irradiador.

a) Blindaje. Las fuentes radiactivas están blindadas por un cilindro de plomo capaz de mantener niveles de exposición comparables al fondo natural. La actividad total de

material radiactivo que puede contener el irradiador es hasta 5,000 Curies (Ci), la actividad radiactiva original de la fuente fue de 3,650 Ci.

La cámara de irradiación, lo constituye el cilindro hueco que a su vez es un émbolo que al irradiar la muestra se mueve llevando las muestras hacia la mitad de la altura de las fuentes dispuestas en círculo en el cilindro de plomo del irradiador. Su cámara de irradiación, tiene dimensiones de 8.75cm de diámetro y 13.75cm de altura, cuenta con una tapa removible de acero inoxidable con seguros laterales (Figura 42), para asegurar que las muestras no salgan o entren en contacto con las fuentes.

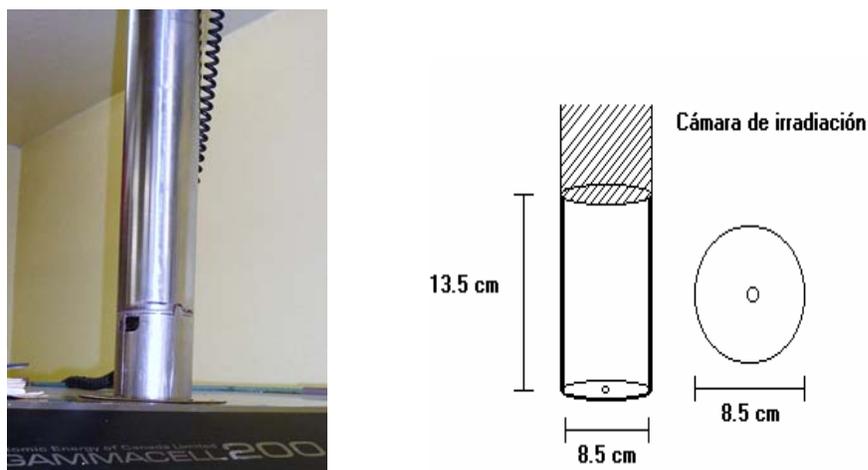


Figura 42. Cilindro hueco donde se encuentra el émbolo y dimensiones

Para retirar la muestra de la posición de irradiación, la cámara del émbolo se mueve verticalmente saliendo del blindaje del irradiador.

b) Ubicación y muestras permitidas. Las muestras a colocar en la cámara de Gammacell deben ser de dimensiones menores al tamaño de la cámara (Figura 42). De acuerdo al manual del irradiador, las muestras no deben derramar líquidos ni presentar derrames el recipiente que las contenga, si son congeladas deben tener un contenedor suficientemente grande que recoja el derrame.

La cámara tiene una tapa de acero inoxidable con pasadores para guardar la muestra a irradiarse (Figura 42). Esta tapa sirve además para uniformar la dosis que llegará a la muestra. Antes de bajar la muestra a irradiar se debe asegurar que la tapa ha quedado en su posición exacta para evitar forzamiento en el deslizamiento del cilindro. No deben irradiarse aerosoles, ni compuestos volátiles que puedan provocar gases explosivos por recombinación, por calor o generados por la ionización de la irradiación.