



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

CAMBIOS FÍSICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS  
EN NOPAL (*Opuntia spp.*) IRRADIADO CON RAYOS  
GAMMA DE COBALTO 60.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

QUÍMICA DE ALIMENTOS

P R E S E N T A

MARISELA PEREZ NAVARRETE

MEXICO, D.F.

2001



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. Francisca Iturbe Chiñas  
Vocal : Prof. Luis Orlando Abrajan Villaseñor  
Secretario: Prof. Esbaide Adem Chahín  
1er. Suplente: Prof. Bertha Julieta Sandoval Guillen  
2do. Suplente: Prof. Enrique Martínez Manrique

El tema se desarrolló en el Instituto de Física, UNAM. Departamento de Física Experimental.

Asesor del tema:

M. en C. Esbaide Adem Chahín. Esbaide Adem

Supervisor técnico:

Dr. Javier Miranda Martín del Campo. Javier Miranda

Sustentante:

Marisela Pérez Navarrete. Marisela Pz

## AGRADECIMIENTOS.

- A la M. en C. Esbaide Adem Chahin del Instituto de Física de la UNAM. Por el apoyo y confianza que depositó en mí para realizar la tesis.
- Al Dr. Javier Miranda del Instituto de Física de la UNAM. Por su ayuda y paciencia en la revisión de este trabajo.
- Al Sr. Antonio Ramírez Arce, Laboratorista del Laboratorio de Van De Graaff 0.2 MeV del Instituto de Física de la UNAM. Por su valioso trabajo, por apoyarme en todo momento y este trabajo también es suyo.
- Al Sr. Margarito Vázquez. Técnico del laboratorio de Van De Graaff 0.2 MeV del Instituto de Física de la UNAM. Por apoyarme en todo.
- A la Dra. Guillermina Burillo del Instituto de Ciencias Nucleares de la UNAM. Por prestarme su apoyo.
- Al M. en C. Epifanio Cruz del Instituto de Ciencias Nucleares de la UNAM.
- Al Físico Francisco García del Instituto de Ciencias Nucleares de la UNAM. Por la colaboración tan importante para realizar este trabajo.
- Al Sr. Alfredo Sánchez fotógrafo del Instituto de Física de la UNAM. Por esas estupendas fotografías.
- A la Dra. Ana Elena Buenfil del Instituto de Física de la UNAM. Por apoyarme en la prestación de su equipo.

## DEDICATORIAS.

### A TI PAPÁ.

Que tanto anhelaste el que obtuviera mi título profesional, y que me apoyaste en todo el transcurso de la carrera. Gracias por la fé que depositaste en mí. Espero no haberte defraudado.

### A TI MAMÁ.

Por tu ayuda, tu amor y tus ánimos para impulsarme a terminar felizmente mi carrera profesional, éste logro también es tuyo, como una pequeña recompensa por todos tus sacrificios.

### A TI PEDRO.

Que con tu cariño, ayuda y comprensión fue posible la realización de una más de mis más grandes metas.

### A MIS HERMANOS.

Por su apoyo, cariño e instancia que me brindaron para concluir satisfactoriamente éste trabajo.

### A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS.

Los cuales me ayudaron en los momentos difíciles.

### A LA M. EN C. ESBAIDE ADEM AL DR. JAVIER MIRANDA.

Porque con su cooperación y estímulos me encauzaron a la meta de lograr ser una mejor profesionista.

RECORDAR AQUÍ A CUANTOS ME RODEAN  
ES DEBER DE GRATITUD.

# INDICE.

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	3
I. ANTECEDENTES	4
1.1 EL NOPAL	4
1.1.1 Datos Históricos	4
1.1.2 Taxonomía y características morfológicas	4
1.1.3 Variedades	6
1.1.4 Distribución en México	9
1.1.4.1 Superficie cultivada en México	11
1.1.4.2 Importancia económica del Nopal	12
1.1.4.3 Importancia social del Nopal	12
1.1.4.4 Exportación del Nopal como verdura	13
1.1.5 Composición Química	14
II. TÉCNICAS DE IRRADIACIÓN	16
2.1 Irradiación	16
2.2 La importancia de la Conservación de Alimentos por Irradiación	17
2.2.1 Ventajas de la Irradiación	19
2.3 Principales efectos de la Irradiación sobre los Alimentos	20
2.4 Fuente de Irradiación	21
2.4.1 Efecto Fotoeléctrico	22
2.4.2 Dispersión Compton	23
2.4.3 Producción de Pares	24

2.5 Dosimetría	29
2.6 Dispositivos	33
III. DESARROLLO EXPERIMENTAL	34
3.1 Materiales y Métodos	34
3.2 Colección y Muestreo	34
3.3 Preparación de las muestras	34
3.3.1 Determinaciones Fisicoquímicas	35
3.4 Irradiación	36
3.5 Análisis microbiológico	37
3.6 Pérdida de peso	37
3.7 Análisis sensorial	37
3.8 Análisis estadístico (Incertidumbres)	37
IV. RESULTADOS	38
4.1 Determinación del nivel de dosis más adecuado para procurarles un aumento en la vida de anaquel	38
4.2 Cambios fisicoquímicos atribuibles a las dosis de irradiación	41
4.2.1 Determinación de pH	41
4.2.2 Acidez titulable	42
4.2.3 Determinación de carbohidratos	44
4.3 Desarrollo de levaduras	45
4.4 Pérdida de masa	46
4.5 Análisis sensorial	46

V. ANÁLISIS DE RESULTADOS ----- 48

5.1 Determinación del nivel de dosis más adecuado para procurarles un aumento en la vida de anaquel ----- 48

5.2 Cambios fisicoquímicos atribuibles a las dosis de irradiación ----- 50

VI. CONCLUSIONES ----- 54

VII. BIBLIOGRAFÍA ----- 55

VIII. APENDICES----- 58



## RESUMEN.

El objetivo del presente trabajo es el de estudiar los cambios fisicoquímicos y microbiológicos que se efectúan en el nopal (*Opuntia spp.*) después de ser irradiados y almacenados a temperatura ambiente y a temperatura de refrigeración, a fin de determinar el nivel de dosis de irradiación más adecuado para procurarles un aumento en la vida de anaquel, así como determinar los cambios fisicoquímicos atribuibles a las dosis de irradiación empleadas, comparando los resultados obtenidos con los de muestras de nopal no irradiadas, a las cuales se les considera muestras control.

La fuente de radiación utilizada fue un GAMMABEAM- 651 PT, propiedad del Instituto de Ciencias Nucleares de la UNAM.

Los nopales estudiados son de la variedad (Milpa Alta, *Opuntia ficus*), que se cortaron y empacaron en bolsas de polietileno con y sin nitrógeno.

Para encontrar el nivel de dosis adecuado se utilizó un lote de 200 muestras que fueron tratadas en grupos de 10.

Se irradiaron en dosis de 0.5 a 10 kGy a una razón de dosis de 3.7 kGy/h.

Las dosis adecuadas para procurarles un aumento de vida de anaquel, donde no hubo oscurecimiento, fueron de 1.5 y 2.0 kGy, dosis permitidas en la NOM-033-SSA1-1993, no encontrándose ningún cambio en aceptabilidad por sabor, pero sí en los valores de acidez titulable y azúcares.

La menor pérdida de peso se encontró en las dosis de 1.5 kGy sin nitrógeno, y la mayor en la dosis de 2.0 kGy con nitrógeno.

Así mismo se determinó que con el tratamiento de irradiación en las dosis recomendadas se disminuye el crecimiento de microorganismos, obteniéndose una mejoría en la apariencia general de los nopales durante el período de su almacenamiento.

## INTRODUCCIÓN.

La planta del Nopal se distribuye en América, y México es el país con mayor abundancia de especies, por lo que se puede considerar como centro de origen y diversidad de esta especie.

El nopal es una cactácea que abunda en varias regiones del territorio nacional, sobre todo en el centro y el norte, donde predominan los climas desérticos y semidesérticos. Sin embargo, se ha comprobado que esta planta puede adaptarse a cualquier clima y suelo; tal es el caso de la delegación Milpa Alta, donde cada año se producen toneladas.

En cuestión nutrimental, aporta al cuerpo humano minerales como el hierro, calcio, y en menor proporción, aluminio y magnesio, manganeso, sulfatos y fosfatos, proporciona las vitaminas A, B1, B2 y C y 10 % de la totalidad de su peso esta conformado por hidratos de carbono con pequeñas cantidades de almidón. Su abundante fibra de tipo soluble contribuye al buen funcionamiento de los intestinos y ayuda a la digestión.

En México el nopal se empaca de diversas maneras para concurrir todo el mercado: Pacas, Colotes (canastas de carrizo), a granel, arpillas (costales de tela abierta). Y existen más de 50 empresas que elaboran productos alimenticios, cosméticos, medicinales y otros, utilizando el nopal como materia prima. Sin embargo el producto en fresco para ser comercializado y exportado se requiere de ser desespinado y el principal problema que presenta es el oscurecimiento, lo que se considera como descomposición del producto, por lo que en este trabajo se evalúan visualmente los efectos de la irradiación a diferentes dosis para determinar el nivel de dosis más adecuado para procurarle un aumento en la vida de anaquel.

## **I. ANTECEDENTES.**

### **1.1 EL NOPAL**

#### **1.1.1 DATOS HISTORICOS.**

La historia de nuestro país nos permite conocer la importancia que adquirieron las cactáceas entre las tribus prehispánicas, según se observa en sus códices, monumentos, pinturas, cerámica y por las numerosas voces con que las designaron y que aún persisten en nuestros días.

Su significado histórico es evidente; se encuentra en el escudo de la bandera nacional, donde es uno de los signos más característicos (Granados S.1993).

Estas plantas intervinieron en las celebraciones religiosas y algunas fueron elevadas a categoría de dioses, se usaron con frecuencia en la magia, fueron empleadas con la curación de enfermedades, influyeron de forma determinante en la fundación de poblaciones y se les tuvo en gran estima como plantas de ornato (Villegas 1995).

La planta del Nopal se distribuye en América, y México es el país con mayor abundancia de especies, por lo que se puede considerar como centro de origen y diversidad de esta especie.

La introducción de la planta del Nopal en Europa no fue por motivos económicos, sino por su aspecto peculiar que llamó la atención de los colectores botánicos europeos al visitar nuestro país.

#### **1.1.2 TAXONOMÍA Y CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS**

De acuerdo a Bravo (1978) es de la siguiente forma:

Reino	Vegetal
Sub-reino	Embryophyta
División	Angiosperma

Clase:	Dycotiledonea
Sub-clase:	Dialipétalas
Orden:	Opuntiales
Familia:	Cactaceae
Género:	Opuntia
Subgénero:	Platyopuntia.

El género *Opuntia* comprende plantas bien definidas, que en el caso del nopal pueden ser rastreros o frutescentes cuando tiene ramificaciones, o arborescente cuando los cladodios viejos toman una forma cilíndrica.

El género *Opuntia* presenta hojas convertidas en espinas, lo cual es un rasgo común en las cactáceas, o bien carece de ellas; pero en brotes tiernos numerosas especies presentan hojas verdes de vida muy corta. Por lo general las espinas son de dos tipos: unas pequeñas agrupadas en gran número (gloquideos) que comúnmente se denominan aguets, y las grandes que son, según algunos naturalistas, hojas modificadas.

Estas plantas se encuentran distribuidas en toda América, desde el nivel del mar hasta las planicies del centro y norte del país, aunque en toda la república están representadas.

El género *Opuntia* (subgénero *Platyopuntia*) (Granados1993) es una de las más diversificadas y abundantes en la República Mexicana, se presentan en todos los tipos de vegetación de las zonas áridas y semiáridas, y con frecuencia aparecen también en zonas tropicales y templadas.

Bravo-Hollins (1978) reconoce aproximadamente unas 60 especies mexicanas de éste género. Tal número da una idea de su gran diversidad y al mismo tiempo de su dificultad para separarlas y ordenarlas taxonómicamente.

Los nopales son plantas fanerógamas, angiospermas, dicotiledóneas, perennes, con hábitos que van desde ser rastreras hasta arbustivas, con especies y variedades muy espinosas y otras casi sin espinas ni aguetes. Son Xerófilas perfectamente adaptadas al medio cálido seco. La succulencia es la principal característica morfológica de los nopales y de la mayoría de las cactáceas; ésta puede considerarse como el sello distintivo de su parte aérea (flores, tallos y frutos) y resulta de la proliferación celular masiva de cientos de tejidos parenquimatosos, asociada a un aumento del tamaño de las vacuolas y una disminución de los espacios intercelulares. Este fenómeno permite a los órganos de estas plantas acumular grandes cantidades de agua en forma muy rápida durante los breves períodos de humedad y, por otra parte, las formas esféricas o suculentas representan los cuerpos más eficientes para evitar la evapotranspiración.

El agua puede representar entre 90% y 92% del peso total de la planta y este peso disminuye considerablemente en periodos de sequía (Corrales 1992).

### 1.1.3 VARIEDADES.

Las variedades utilizadas para el cultivo del nopal verdura destacan: la criolla tipo Italiana, Criolla, Tlacopal y como variedades de excelente calidad tenemos: Atlixco, Copena F1, Milpa Alta y Copena V-1, la cual representa buena capacidad para la producción de brotes suculentos y sin problemas de acidez.

*Milpa Alta*, es la variedad más importante a nivel nacional, por la superficie cultivada y por el volumen de su producción que concurre al mercado, se le ha clasificado como *Opuntia ficus*. Se cultiva en Milpa Alta, Distrito Federal y en el municipio de Tlanepantla, en el estado de Morelos.

Copena V1 y Copena F1 (desarrolladas por el Dr. Facundo Barrientos en el Colegio de Postgraduados).

*Copena VI*, carece de espinas, presenta un color verde intenso, es suculenta de buen sabor y con poca acidez. Ésta se cultiva en los estados de Hidalgo, México, Guanajuato y Baja California.

*Copena FI*, fue seleccionada como variedad forrajera, para producir una gran cantidad de nopal sin espina, presentar poco mucilago y un color agradable, ha sido cultivada en el estado de México, Tlaxcala, Puebla y Baja California.

Como alimento humano se utilizan varias especies de nopales; sin embargo, en buena parte de la República Mexicana, incluida la Ciudad de México, D.F., y zona metropolitana, la que se usa todo el año en gran cantidad es el nopal sin espinas, llamado también nopal verdura, nopal pelón o nopal de Castilla.

El nopal verdura es una planta cultivada principalmente en los campos de Milpa Alta, D.F. y norte de Morelos.

*Opuntia amyclaea tenore*. Especie muy utilizada en la alimentación, de esta especie se utilizan las pencas, pero principalmente los frutos conocidos como tuna blanca. Es cultivada y procede principalmente del estado de Hidalgo y del fondo de la Cuenca de México, Axapusco, San Juan Teotihuacan, Nopaltepec, Zempoala y Otumba, México.

Se encuentra en el mercado de octubre a noviembre

*NOPAL CARDON. (Opuntia streptacantha Lemaire).* Esta especie es llamada comúnmente nopal cardón, nopal hartón y tuna cardona, la cual proporciona penca y tuna (tuna cardona) comestibles; esta especie es importante para los habitantes del centro y Norte de México. Se encuentra silvestre y también en los alrededores de la habitación humana como planta protegida en localidades del estado de Hidalgo, Guanajuato, México y el D.F.

*NOPAL CAMUESO (Opuntia robusta var. Larrey).* Su fruto es muy apreciable, pues es el más grande de las variedades cultivadas del nopal. La maduración es muy precoz (a principios de mayo), siendo en esta época cuando tiene mayor demanda al no existir otras especies de tuna en el mercado. Se encuentra en Hidalgo, Querétaro y Zacatecas.

*NOPAL CUIJO. (Opuntia lindheimeri Engelmann)* No se utiliza como consumo directo, ni como forraje, debido a que es de reducido tamaño, se consume el fruto aunque es pequeño de color rojo purpúreo, sabor dulce. Se localiza en Durango, Zacatecas, Aguascalientes, Chihuahua, Coahuila, Tamaulipas y Nuevo León.

*NOPAL CRINADO. (Opuntia pilifera Weber)* Planta arborescente, alcanza hasta 5 m de altura, con tronco bien definido, grueso y leñoso. Fruto rojo, de 4 a 5 cm de largo, jugoso. Es utilizado para consumo directo, así como sus partes vegetativas en la alimentación del ganado. Se encuentra en Puebla y Oaxaca.

*NOPAL DURAZNILLO (Opuntia leucotricha De candolle)* Su altura varía de 3 a 5 m, con una gran copa; sus pencas son de forma oblonga u orbicular, pubescentes con areolas muy juntas, su color es algo amarillento. El fruto de este nopal es una tuna muy diferente de las comúnmente conocidas, su pulpa es fragante y aromática, y no queda desprendida de la cáscara al llegar a su madurez; mide de 4 a 6 cm de largo. Se encuentra en San Luis Potosí, Zacatecas y Durango, además en Guanajuato, Querétaro e Hidalgo



*NOPAL MANSO. (Opuntia megacantha Salm-Dyck).* Nopal erecto y arbóreo, de 4 m o más, tronco cilíndrico, que se vuelve leñoso con el paso del tiempo, el consumo de la fruta como tuna alcanza grandes volúmenes, siendo una de las más apreciadas. Se encuentra en San Luis Potosí, Aguascalientes, Guanajuato y Zacatecas.

*NOPAL TAPÓN (Opuntia duranguensis Britton y Rose).* Es postrado y de ramas esparcidas, altura de 1-1.5 m, sus artículos son gruesos, de 30 a 45 cm de largo por 28 a 40 cm de ancho, de color ceniza, areolas no muy juntas y de forma orbicular, provista de 3 a 5 espinas amarillas en su base; su fruto consiste en una tuna globosa de tamaño regular, de 4 a 6 cm, de color carmin con pulpa rojiza y sabor agradable. Se encuentra en la región central de México.

*NOPAL DE CASTILLA. (Opuntia ficus-indica Linné Miller).* Es una plana alta de 3 a 5 m o más, tiene un color verde opaco; integran ramas de varios artículos que forman una copa muy ramosa; areolas distantes separadas entre sí; su fruto es oval, de 5 a 10 cm de largo y de 4 a 8 cm de diámetro; es de las más utilizadas para consumo directo. Se encuentra en el altiplano mexicano, estados de México y Puebla.

Existen otras variedades más, de las cuales se utilizan como alimento para ganado y para la producción de cochinilla.

#### 1.1.4 DISTRIBUCIÓN EN MÉXICO.

Los nopales silvestres se distribuyen en los estados de San Luis Potosí, Zacatecas y Aguascalientes, sin embargo se han extendido hacia el norte y el Sur de México. En estas nopaleras se aprovechan los brotes o nopal durante algunos meses, cuando las condiciones climáticas son propicias; sin embargo, existen especies que son preferidas por los pobladores de estas regiones. Así se tiene el nopal tapón (*Opuntia robusta*) y sus diferentes variedades, el nopal

cardón (*O. Streptacantha*), el nopal rastrero (*O. Rastrera*), el nopal duraznillo (*O. Leucotricha*) y el nopal chaveño (*O. Hyptiacantha*).

Como cultivo el nopal verdura (*Opuntia ficus-indica* L.) se encuentra en los estados de San Luis Potosí, Oaxaca, Jalisco, Puebla, Michoacán, Aguascalientes, Baja California, el Distrito Federal y Zacatecas (fig. 1).

### Distribución en México.



Figura 1 Estados donde se cultiva el Nopal verdura (en oscuro)

#### 1.1.4.1 SUPERFICIE CULTIVADA Y PRODUCCIÓN EN MÉXICO.

Las nopaleras cultivadas ocupan poco más de 210 000 ha, de las cuales 150,000 ha son para forraje, 50 000 ha para tuna; 10,500 ha para producir nopal de consumo humano y aproximadamente 100 ha para producir grana de cochinilla. (Flores, 1997).

En la producción de nopal para consumo humano de México, participan 18 estados, con 10 500 ha, y una producción de 575 575 toneladas. Sin embargo, el Distrito Federal participa con el 71.4% de la superficie, y el 78.2% de la producción ( Cuadro 1). Si se considera una población de 100 millones de mexicanos se tiene un consumo per cápita de 7.09 kg al año.

Cuadro 1. SUPERFICIE CULTIVADA, RENDIMIENTO PROMEDIO Y PRODUCCIÓN DE NOPAL VERDURA, EN 1996. FUENTE: Flores, 1997.

ENTIDAD FEDERATIVA	SUPERFICIE (ha)	RENDIMIENTO (t/ha)	PRODUCCIÓN (t).
Distrito Federal	7,500	60	450,000
Morelos	450	70	31,500
Puebla	400	40	16,000
San Luis Potosí	350	30	10,500
Michoacán	320	35	10,500
Tamaulipas	300	30	9,000
Guanajuato	280	35	9,800
México	200	30	6,000
Baja California	150	60	9,000
Jalisco	120	60	7,200
Oaxaca	100	60	6,000
Aguascalientes	80	30	2,400
Zacatecas	75	30	2,250
Hidalgo	60	40	2,400
Tlaxcala	45	25	1,125
Querétaro	35	20	700
Durango	15	20	300
Sonora	10	80	800
Otros	10	10	100
Total.	10,500	54.8	575,575

Se estima que en México existen alrededor de 3,000,000 de ha de nopales silvestres con suficiente densidad como para ser aprovechadas económicamente, localizadas principalmente en los estados de Guanajuato, Jalisco, Aguascalientes, San Luis Potosí, Zacatecas, Durango, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas y Sonora. Los productores utilizan las nopaleras para recolectar forraje, tuna y nopal. (Flores, 1997).

El nopal tapón (*Opuntia Robusta Wendl*), es recolectado principalmente en los estados de San Luis Potosí y Zacatecas para ser desespinado y empacado en arpilleras, para concurrir a los mercados y sobre todo para llevarlos a las fábricas de la ciudad de San Luis Potosí (La Costeña, Doña María- Hérdez, Coronado y otras) que lo procesan, envasan y exportan a E.U.A., Canadá y Europa. (Flores, 1997)

#### 1.1.4.2 IMPORTANCIA ECONÓMICA DEL NOPAL.

La superficie dedicada a la producción de tuna y nopal (60,000 ha) involucra gran número de productores: 20,300 productores de tuna y 8,905 productores de nopal. Es evidente entonces que la producción de nopal en México genera empleos, ingresos, divisas, uso alternativo de recursos no aptos para otras actividades con un favorable impacto ecológico, al conservar el suelo en áreas susceptibles de desertificación.

#### 1.1.4.3 IMPORTANCIA SOCIAL DEL NOPAL.

La producción de nopal ha permitido que grupos marginados y de subsistencia, obtengan empleo, se arraiguen a la tierra, produzcan alimentos y generen ingresos para sus familias.

#### 1.1.4.4 LA EXPORTACIÓN DEL NOPAL COMO VERDURA.

##### DEMANDA INTERNACIONAL.

En la medida en que el consumo del nopal verdura está restringido a la comida mexicana, la oferta y la demanda de nopales se limita a México y otros países donde existe población de origen mexicano. Otra demanda está constituida en E.U.A. y algunos países europeos y asiáticos donde se consume esporádicamente y en pequeños volúmenes, como alimento exótico.

##### OFERTA INTERNACIONAL.

La producción de nopal, además de México, se realiza en E.U.A. (en los estados de California y Texas principalmente), siendo las variedades más comúnmente utilizadas con pocas espinas, y con una cutícula gruesa, desatendiendo el hecho de que muchos consumidores prefieren las variedades de *Opuntia* de origen mexicano.

#### LA EXPORTACIÓN DE NOPAL VERDURA DE MÉXICO.

Las formas de presentación en que se exporta el nopal son múltiples (Olvera, 1993):

- Nopal fresco con espinas
- Nopal desespinado
- Nopal procesado en salmuera o en escabeche
- Nopal precocido y congelado.
- Jugo de Nopal deshidratado.

De las importaciones de nopales a E.U.A. el 99.90% provienen de México y el 0.10% de Chile que envió por vía aérea a Nueva York un poco menos de 1.5 t (Flores, 1997).

De las importaciones provenientes de México (1,527.5 t) sólo el 3.40 % se envía por vía aérea (51 968 kg). Las exportaciones de nopal procesado se realizan en su mayoría en frascos con nopales cortados en salmuera o escabeche. Flores (1997), considera que México exporta nopal procesado en salmuera y escabeche entre 3,000 y 4,000 toneladas por año.

La exportación de nopal en fresco tiene un gran mercado en Estados Unidos, Canadá y otros países (Corrales, 1992 A) pero se ve limitada por tratarse de un producto altamente perecedero, especialmente cuando se maneja y comercializa sin espina; da problemas de oscurecimiento, marchitamiento excesivo y mal aspecto en general después de dos o tres días, según la temperatura y la humedad relativa. Por otro lado, el producto con espinas es un producto que no tiene aceptación en estos mercados.

### 1.1.5 COMPOSICIÓN QUÍMICA.

El nopal, tiene un alto contenido de agua (90-92%). Entre los minerales que contiene, los principales son el calcio y potasio, además de magnesio, sílice, sodio, y pequeñas cantidades de fierro, aluminio y manganeso, entre algunos otros, además de ser rico en mucílagos (viscosidad del nopal), celulosa, pectina y vitamina C (cuadro 2).

*El Agua.* Juega un papel muy importante en la composición química de los organismos vivos, ya que forma parte en muchas de las reacciones bioquímicas del metabolismo orgánico.

En el nopal tiene un valor superior al 90% en tallos, pencas y frutas, el porcentaje de humedad es diferente según las funciones fisiológicas y edad de los tejidos, máxime durante el período de crecimiento.

*Minerales.* Los principales componentes del nopal son el calcio y el potasio, presentándose también magnesio, sílice, sodio y pequeñas cantidades de fierro, aluminio y manganeso, predominando en forma de carbonatos y en ocasiones como cloruros, sulfatos y en pequeñas cantidades de fosfatos.

*Glúcidos (Carbohidratos).* Son los constituyentes más abundantes de las sustancias orgánicas, representan una forma de almacenaje de energía capturada a partir de la luz por el proceso de la fotosíntesis. Es base fundamental en el suministro de la mayor parte de esqueletos carbonados y de la mayoría de los compuestos orgánicos que constituyen la planta.

Se encuentra la glucosa y sacarosa, arábano y arabinosa (azúcares del mucílago), principalmente, además de encontrarse también almidón y dextrina en un porcentaje que alcanza el 2.7%.

*Vitaminas* Por la necesidad que observan los organismos de vitaminas para su adecuado funcionamiento y crecimiento, y considerando que el Nopal forma parte de la dieta alimenticia de nuestro pueblo, es importante, desde el punto de vista de la nutrición, el conocimiento sobre la concentración vitamínica del mismo (cuadro 2)

Cuadro 2. Valor nutritivo del nopal (100 g. de penca en b.h.).

COMPONENTE	PENCA DE NOPAL
Energía (kcal).	27 a 37
Proteína (g)	1.1 a 1.7
Extrac. etéreo (g)	0.4
Hidratos de carbono (g)	5.6 a 8.8
Cenizas (g)	0.9
Calcio (mg)	93 a 110
Fósforo (mg)	20
Hierro (mg)	0.5
Vitamina A (µg eq)	41 a 50
Tiamina (mg)	0.04
Riboflavina (mg)	0.04
Niacina (mg)	0.2
Ácido ascórbico (mg)	19

FUENTE Hernández M, Chávez A., y Bourges H 1980 Instituto Nacional de la Nutrición

El nopal se caracteriza por su alto contenido de humedad, que lo hace ser muy succulento pero susceptible al ataque de microorganismos, volviendo difícil su conservación. Otros componentes a considerar son las gomas y mucílagos (conocidos como la baba del nopal) cuya presencia causa problemas de conservación, procesamiento, estabilidad y aceptación del producto por parte del consumidor. (Corrales, 1991).

## **II. TECNICAS DE IRRADIACION.**

### **2.1 IRRADIACIÓN.**

La radiación se refiere al fenómeno físico en donde la energía viaja a través del espacio o de la materia. La irradiación es un proceso en el que se aplica esta energía a un material como el alimento para conservarlo destruyendo microorganismos, parásitos, insectos u otras plagas. El tipo de radiación usada se llama radiación ionizante porque produce partículas eléctricamente cargadas o iones. Tiene mayor energía que la radiación no ionizante (luz, microondas, ondas de radio). Las fuentes de radiación ionizante que se han utilizado para irradiar alimentos incluye rayos de electrones, rayos X y rayos gamma. (Ruíz, et al 2000).

Los rayos X se producen cuando partículas de altas velocidades chocan con un metal y son rápidamente desaceleradas. Para evitar la radiactividad inducida, la fuente de rayos X debe operar a 5 MeV como máximo. La eficiencia de la conversión de electrones a 5 MeV está por debajo del 10 %, por lo que los generadores de rayos X son más costosos que las simples máquinas de electrones (Macrae, 1993, citado por Ruíz, et al 2000).



El nopal se caracteriza por su alto contenido de humedad, que lo hace ser muy succulento pero susceptible al ataque de microorganismos, volviendo difícil su conservación. Otros componentes a considerar son las gomas y mucílagos (conocidos como la baba del nopal) cuya presencia causa problemas de conservación, procesamiento, estabilidad y aceptación del producto por parte del consumidor. (Corrales, 1991).

## **II. TECNICAS DE IRRADIACION.**

### **2.1 IRRADIACIÓN.**

La radiación se refiere al fenómeno físico en donde la energía viaja a través del espacio o de la materia. La irradiación es un proceso en el que se aplica esta energía a un material como el alimento para conservarlo destruyendo microorganismos, parásitos, insectos u otras plagas. El tipo de radiación usada se llama radiación ionizante porque produce partículas eléctricamente cargadas o iones. Tiene mayor energía que la radiación no ionizante (luz, microondas, ondas de radio). Las fuentes de radiación ionizante que se han utilizado para irradiar alimentos incluye rayos de electrones, rayos X y rayos gamma. (Ruíz, et al 2000).

Los rayos X se producen cuando partículas de altas velocidades chocan con un metal y son rápidamente desaceleradas. Para evitar la radiactividad inducida, la fuente de rayos X debe operar a 5 MeV como máximo. La eficiencia de la conversión de electrones a 5 MeV está por debajo del 10 %, por lo que los generadores de rayos X son más costosos que las simples máquinas de electrones (Macrae, 1993, citado por Ruíz, et al 2000).

Los rayos gamma son provenientes del cobalto 60 o del cesio 137, este procedimiento consiste en exponer a los alimentos, ya sea envasados o a granel, a una cierta dosis de radiaciones en una sala especial y durante un tiempo determinado.

Los rayos de electrones tienen una energía de 1.0 y 10 MeV. El poder de penetración es la principal diferencia, entre las radiaciones ionizantes.

El empleo de éste sistema de conservación quedó confirmado en 1984 con el proyecto de reglamentación propuesto por la oficina de Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (FDA), (Bustos 1990).

La dosis absorbida de irradiación es la cantidad de energía que la radiación ionizante imparte al alimento. El Sistema Internacional de Unidades ha desarrollado el término gray (Gy), que se refiere a la dosis absorbida. Un grey se define en términos de energía como la dosis de un joule por kilogramo de material absorbido.

## **2.2 LA IMPORTANCIA DE LA CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS POR IRRADIACIÓN.**

Entre los principales métodos de conservación de vegetales como el Nopal se tienen:

En Salmuera o escabeche, vegetales deshidratados y congelados, pero ningún método de conservación nos permite mantener el Nopal en fresco como pudiera ser el método de irradiación.

La irradiación de los alimentos, consiste en exponerlos durante un breve período a radiaciones, con el propósito de destruir microorganismos (hongos y levaduras), así como inactivar enzimas para detener procesos de descomposición (cuadro 3). Este sistema ofrece indudables beneficios para la salud y el bienestar del hombre, ya que destruye gérmenes

patógenos presentes en los alimentos, además de prolongar la vida útil de los alimentos perecederos.

La irradiación de los alimentos por rayos ionizantes puede tener por objetivo la llamada esterilización práctica (o comercial); entonces se habla de la *radappertización*, o puede buscar una simple reducción de la carga microbiana que permita prolongar el periodo de almacenamiento, con o sin refrigeración este tratamiento se asimila a la *pasteurización* llamado *radurización*, en fin, la irradiación puede llevarnos especialmente a la destrucción de algunos gérmenes patógenos, especialmente *Salmonella* en ese caso se habla de *radicidación*. (Cuadro 3)

Cuadro 3. Efectos de la irradiación de acuerdo a las dosis absorbidas.

EFEECTO	DOSIS EFECTIVA(kGy).
Radappertización (esterilización).	20 – 50
Radurización (pasteurización).	1 - 10
Radidación (reducción de la población microbiana o reducción de patógenos)	1 - 4
Inhibición de la germinación de brotes y tubérculos.	0.04 – 0.10
Desinfestación	1 - 3
Destrucción de virus	20
Inactivación de la actividad enzimática	60

Fuente: Chefel, 1992 y Bustos 1990.

En los últimos años se está utilizando la tecnología de la irradiación de los alimentos como un método seguro para su conservación e higiene.

La irradiación de los alimentos, por sus características de seguridad, higiene, competitibilidad, por costos y volumen y diversidad de alimentos susceptibles a ser tratados, tienen un presente y un futuro promisorio y es un gran aporte en la conservación de la calidad y en mayor disponibilidad de los alimentos en el mundo.

La irradiación de alimentos, de acuerdo con el OIEA (Organismo Internacional de Energía Atómica) es un método físico comparable con los tratamientos con calor (por ejemplo, envases en lata) o con frío (como la refrigeración y la congelación). Este procedimiento consiste en exponer a los alimentos, ya sea envasados o a granel, a una dosis ya establecida de radiaciones –rayos gamma o electrones- en un irradiador durante un tiempo determinado.

Las radiaciones gamma tienen una penetración de varias decenas de centímetros, lo que permite que la irradiación sea más efectiva en alimentos envasados o en recipientes. En contraste, la irradiación con electrones se utiliza en tratamientos superficiales.

## 2.2 1 VENTAJAS DE LA IRRADIACION .

Los alimentos tratados con irradiación tienen las siguientes ventajas (Urbain, 1989).

1. Conservan los alimentos por más tiempo. Los microorganismos presentes en los alimentos pueden ser inactivados con la irradiación para prolongar la vida de anaquel.
2. Controla la maduración, senescencia y brote en frutas frescas y vegetales. La irradiación de alimentos puede prolongar la vida de anaquel de los alimentos que están fisiológicamente activos retardando la maduración, senescencia y brote.
3. No produce residuos tóxicos en alimentos. Se limita el nivel de energía de radiación empleada y se selecciona el tipo de radiación.
4. Mantiene el valor nutricional de los alimentos. Estudios realizados en valor nutricional de alimentos irradiados a dosis medias determinaron que la radiación no causa cambios en macronutrientes y causa cambios insignificativos en micronutrientes
5. Conserva la calidad sensorial, ya que los pocos cambios químicos que se dan durante la irradiación no propician cambios sensoriales

Los criterios sugeridos para determinar si la irradiación puede usarse como una tecnología práctica son (Ruíz H, et, al. 2000):

- 1) Debe reducir pérdidas debidas a la descomposición o a desórdenes fisiológicos.
- 2) No debe inducir pérdidas en las calidades nutrimentales o sensoriales.
- 3) No debe inducir cambios excesivos en la textura o apariencia.

### **2.3 PRINCIPALES EFECTOS DE LA IRRADIACION SOBRE LOS ALIMENTOS.**

Si el alimento sometido a la irradiación es rico en agua y está en contacto con el aire, se puede formar peróxido de hidrógeno, que a su vez tiene una notable acción bactericida.

Es de resaltar que la irradiación, contrariamente al tratamiento térmico, no asegura la destrucción de virus y enzimas, salvo si se utilizan dosis de radiación muy altas; por eso en algunos casos puede resultar conveniente hacer antes de la irradiación un tratamiento térmico moderado.

La conservación puede lograrse asociando una irradiación ligera con la refrigeración, deshidratación parcial, adición de agentes conservadores o el tratamiento térmico moderado, ya dicho.

La comunidad científica y las agencias regulatorias mundiales han identificado al tratamiento de alimentos por radiación gamma como un método viable y eficaz para combatir las enfermedades de origen alimentario (Moy, 1983).

El proceso está aprobado en más de 40 países, incluido México, para una amplia gama de alimentos tales como especias, cereales, frutas y vegetales (Cuadro 4), carnes, pescados y

mariscos. En Norteamérica y particularmente en los Estados Unidos, el proceso está ganando amplia aceptación por parte de la industria alimentaria y de los consumidores.

La irradiación de alimentos es un proceso que agrega valor a los mismos, mejorando la seguridad del producto y prolongando la vida de anaquel.

Cuadro 4. Legislación de productos irradiados en México.

PRODUCTO	PROPÓSITO	DOSIS (kGy).	
		MÍNIMA	MÁXIMA
Frutos frescos y Vegetales.	Retraso en el proceso de maduración.	0.01	1.0
	Prolongar el proceso de vida de anaquel.	0.05	2.5
	Para tratamiento cuarentenario.	0.15	1.0

FUENTE: NOM-033-SSA1-1993. Irradiación de Alimentos

## 2.4 FUENTE DE IRRADIACION.

En la irradiación de alimentos se emplean comúnmente dos tipos de radiación ionizante: la radiación gamma proveniente del Cobalto 60 y electrones con energía entre 1.0 y 10 MeV, entendiéndose por radiación ionizante aquellos fotones y partículas de alta energía capaces de ionizar a los átomos y moléculas de la materia con que interactúan.

Lo que es importante puntualizar es que ningún alimento expuesto a este tipo de radiación se vuelve radioactivo

Cada tipo de radiación ionizante interactúa con la materia por diferentes mecanismos. La radiación gamma del cobalto 60 lo hace con los átomos del material irradiado mediante los fenómenos denominados: 1) efecto fotoeléctrico, 2) dispersión Compton y 3) producción de pares (Miranda, et al 1993), donde en el primer caso involucra la absorción total de la energía del fotón,

y en los otros dos casos, se da el proceso de dispersión donde sólo una parte de la energía se transfiere.

#### 2.4.1 EFECTO FOTOELECTRICO.

Para que este proceso se realice, la energía  $h\nu$  del fotón incidente debe ser mayor que la energía de enlace electrón- núcleo, pues sólo de esta forma el electrón podrá desligarse del potencial coulombiano que lo une al núcleo. Cuando esto sucede, una parte de la energía del fotón se utiliza en expulsar al electrón de su capa atómica y el resto se va como energía cinética del electrón. A éste se le denomina fotoelectrón.

El fotoelectrón es expulsado del átomo con una energía cinética dada por:

$$T = h\nu - E, \quad (1)$$

Donde  $T$  es la energía cinética del fotoelectrón,  $h\nu$  es la energía del fotón incidente, con  $h$  la constante de Planck,  $\nu$  la frecuencia de la onda electromagnética y  $E$  es la energía de enlace del electrón.

El efecto fotoeléctrico es la forma predominante de interacción para fotones de energías relativamente bajas (menores de 0.1 MeV). El efecto también se ve favorecido en materiales de número atómico  $Z$  alto, debido a que existe una cantidad mayor de electrones en estos átomos (Miranda, et al,1993).

Debido a esta dependencia de la absorción fotoeléctrica en términos de número atómico, se seleccionan materiales de número atómico alto como blindaje contra rayos X y rayos gamma.

## 2.4.2 DISPERSIÓN COMPTON.

El proceso de interacción de dispersión Compton se lleva a cabo entre el fotón incidente y un electrón en el material. Este proceso es el mecanismo de interacción dominante para fotones con energías en el intervalo de 0.1 a 1 MeV.

En la Dispersión Compton, el fotón se desvía un ángulo  $\theta$  con respecto a su dirección original; éste transfiere una fracción de su energía al electrón, el cual se supone está libre y en reposo, y entonces se pone en movimiento. Debido a que todos los ángulos de dispersión son posibles, la energía transferida al electrón puede variar desde cero hasta una gran parte de la energía original del fotón.

La expresión que relaciona la transferencia de energía y el ángulo de dispersión puede derivarse fácilmente escribiendo ecuaciones simultáneas para la conservación de la energía y el momento antes y después de la dispersión.

La energía del fotón después de la interacción, se define de la siguiente manera:

$$E' = \frac{h\nu}{1 + (h\nu/m_e c^2)(1 - \cos\theta)} \quad (2)$$

ecuación en la que  $E'$  es la energía del fotón después de la dispersión,  $m_e$  la masa del electrón después del choque,  $c$  la velocidad de la luz y  $\theta$  es el ángulo al que se ha dispersado el fotón incidente, como se muestra en la figura (2).



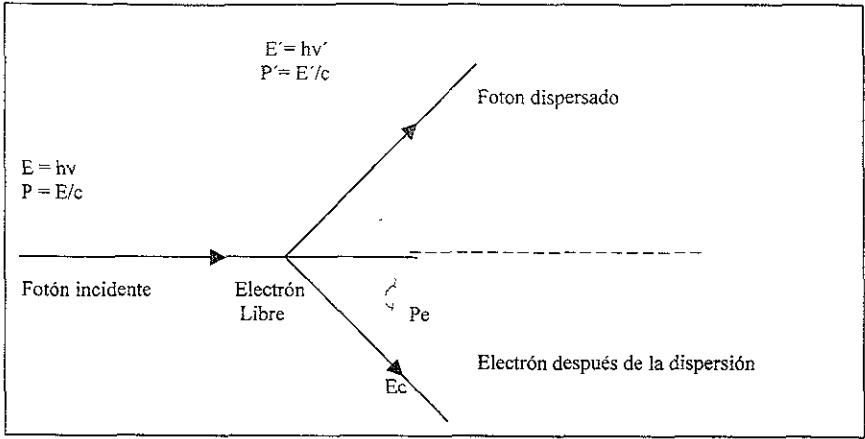


Figura 2 Geometría para la descripción del Efecto Compton.

Cuando la radiación electromagnética pasa por una región en la que hay electrones libres, además de la radiación incidente, se observa otra radiación de frecuencia distinta. Esta nueva radiación se interpreta como la radiación dispersada por los electrones libres. La frecuencia de la radiación dispersada es menor que la de la incidente y, en consecuencia, su longitud de onda es mayor que la de la radiación incidente. La longitud de onda de la radiación dispersada es también diferente para cada dirección de dispersión (Miranda, et al, 1993).

### 2.4.3 PRODUCCION DE PARES.

Si la energía de los fotones que pasan a través del material excede al doble del equivalente a la masa en reposo del electrón,  $m_e c^2 = 0.511 \text{ MeV}$ , el proceso de producción de pares es posible energéticamente. Este proceso consiste en la producción de un par electrón- positrón mediante la aniquilación de un fotón. Se puede escribir como:

$$h\nu \longrightarrow e^- + e^+$$

Para que en el proceso se conserven la energía y el momento, debe ocurrir en las cercanías de un núcleo atómico, que por su acoplamiento con el par producido, tomará la energía y el momento necesarios para la conservación de ambas cantidades.

La producción de pares electrón- positrón es más intensa en los elementos que tienen número atómico alto, como el plomo, ya que los núcleos atómicos de estos materiales provocan un acoplamiento electromagnético más intenso con el par electrón- positrón.

Este fenómeno es uno de los principales procesos que producen la absorción total de fotones de rayos X o gamma de altas energías, en el intervalo de 1.02 MeV a 100 MeV. El exceso de energía se transfiere al par electrón- positrón como energía cinética (Miranda, et al, 1993).

La fuente de radiación ionizante que se empleó en la irradiación del nopal fue el Cobalto 60.

#### Cobalto 60.

El Cobalto 60 es producido por la reacción nuclear  $^{59}\text{Co}(n,\gamma) ^{60}\text{Co}$  en un reactor. El Cobalto 60 es preparado en varias formas; dos de las más comunes son: pequeños cilindros de alrededor de 1 mm de diámetro por 1 mm de altura, o bien en cilindros de 0.625 cm de diámetro por 2.5 cm de altura. Este material es irradiado con neutrones en el reactor nuclear transformándolo en Cobalto 60, isótopo radioactivo, que emite partículas betas de 0.31 MeV y radiación gamma de 1.17 y 1.33 MeV de energía. La actividad que se obtiene, expresada en Curies (Ci) varía entre 10 a 100 Ci/g de Cobalto (Adem, 1978).

Para propósitos comerciales, el Cobalto 60 es encapsulado en acero inoxidable. Por ejemplo, en la figura (3) aparece un diagrama de la fuente C-188 fabricada por la Atomic Energy of Canada, Ltd. En ella, varios cilindros de Cobalto son encapsulados en acero inoxidable, de tal

modo que la apariencia de la fuente es un cilindro de 45 cm de largo y 0.96 cm de diámetro, con tapas de acero inoxidable soldadas a la doble pared. Este tipo de fuente contiene alrededor de 112 g de Cobalto 60 con una actividad de 30 Ci/g, para dar un total de 3360 Ci.

DIAGRAMA DE LA FUENTE C - 188.

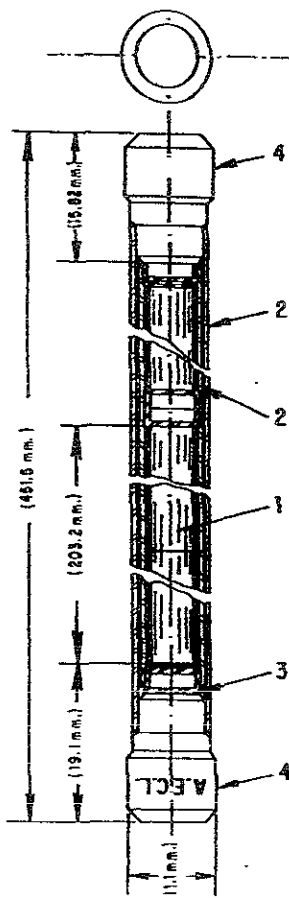


Figura 3 Esquema del corte transversal de la fuente C-188 fabricada por la Atomic Energy of Canada, Ltd. El número 1 indica el Cobalto 60, el 2 indica los cilindros, el 3 los separadores y 4 indica las tapas de acero inoxidable

Una geometría típica será la que presenta el GAMMABEAM-651 PT, en el que la fuente de Cobalto 60 está formada por 60 cápsulas pequeñas colocadas en 12 tubos cilíndricos. Cuando se va a irradiar, el material radiactivo asciende por los tubos fuera del blindaje por acción neumática, controlada desde la consola de operaciones que se encuentra fuera del cuarto donde está la fuente.

El irradiador está formado de las siguientes componentes (Figura 4).

1. Fuente de radiación. Cobalto 60.
2. Blindaje. La instalación que permite usar la radiación en un área específica, reduciendo al mínimo la exposición fuera de ella.
3. Mecanismos para colocar el producto frente a la radiación. Generalmente son dos dispositivos electromecánicos que atraviesan o rodean el blindaje.
4. Sistema de seguridad. Permite operar el irradiador manteniendo las áreas de control al mínimo nivel posible de radiación.

# IRRADIADOR DE INVESTIGACION GAMMABEAM 651 PT.

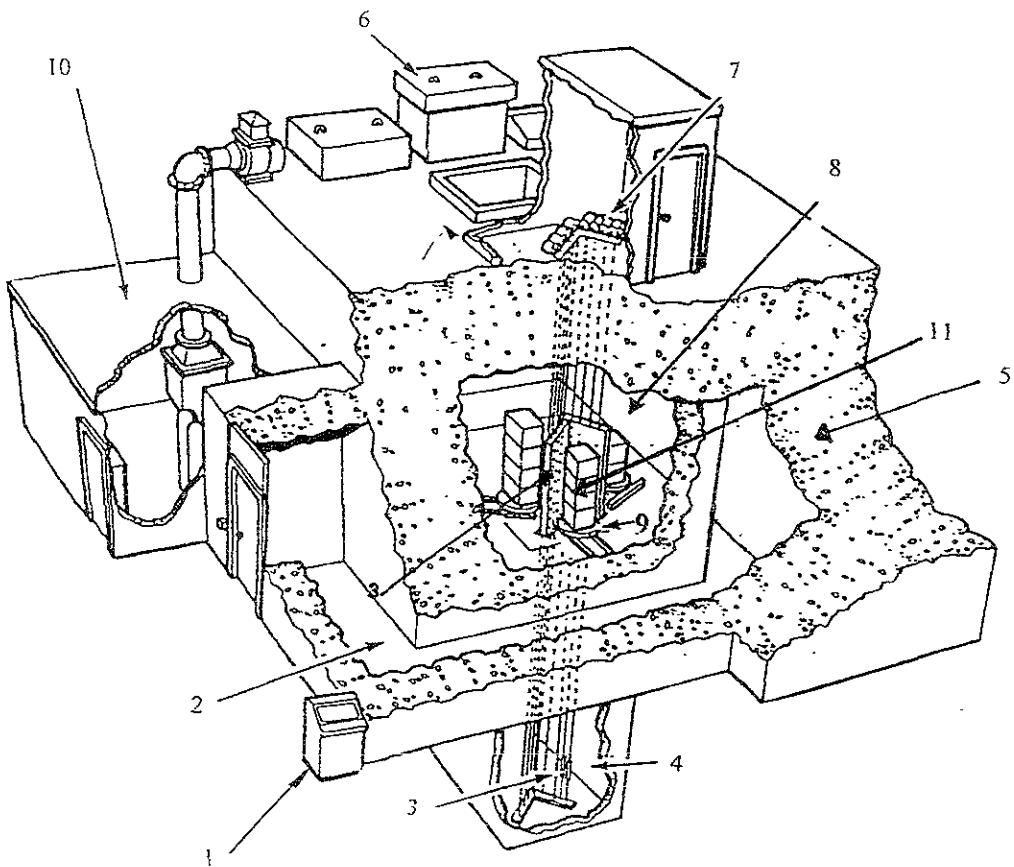


Figura 4 Irradiador de Cobalto 60

- 1 Consola de Control, 2 Laberinto de entrada, 3 Fuente, 4 Piscina de almacenamiento de la fuente, 5 Blindaje, 6. Tapa del techo (3 piezas), 7 Mecanismos para levantar la fuente, 8 Cuarto de irradiación, 9. Plataforma giratoria, 10 Cuarto de máquinas, 11 Muestra

## 2.5 DOSIMETRÍA.

El estudio cuantitativo en la preservación de alimentos y en la Química con radiaciones requiere un conocimiento preciso de la cantidad de energía absorbida de la radiación, y la determinación de esta cantidad es lo que constituye la dosimetría de radiaciones (Buenfil, 1982).

La dosimetría de la radiación mide la energía que la radiación transmite al material irradiado.

Dosis Absorbida. De cualquier radiación ionizante es la energía impartida a la materia por partículas ionizantes, por unidad de masa del material irradiado, en el sitio de interés. La unidad de dosis absorbida en el SI es el Gray (Gy).

Se utiliza la unidad de Kilogray (kGy) igual 1000 gray.

Un gray es igual a 100 rads.

El rad corresponde a la cantidad de radiación que depositan 100 ergios de energía en un gramo de sustancia.

$$\begin{aligned} 1 \text{ Gy} &= 1 \text{ J/kg} ; \text{ donde un } \text{ J} = 2.39 \times 10^{-1} \text{ cal} \\ &= 6.24 \times 10^{18} \text{ eV/kg} \\ &= 6.24 \times 10^{18} \text{ eV}/(\rho \text{ m}^3) \end{aligned}$$

donde  $\rho$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) es la densidad del material.

Razón de Dosis Absorbida ( $D$ ) es el incremento de la dosis absorbida por unidad de tiempo.

$$D = dD/dt \text{ (Gy/s)}$$

Exposición a la radiación X ó  $\gamma$  en un cierto lugar, es una medida de la capacidad de la radiación para producir ionización en el aire. La unidad de exposición es el roentgen ( R).

$$1 \text{ R} = 0.87 \times 10^{-2} \text{ Gy}$$

### Dosímetros.

Un dosímetro es cualquier dispositivo que sufre un cambio medible y reproducible al ser irradiado. A este cambio se le llama efecto, y su valor dependerá de la dosis de radiación administrada.

Las principales características deseables en un dosímetro son:

1) Que su respuesta sea:

- Proporcional a las dosis de radiación en un amplio intervalo de dosis.
- Independiente de la razón de dosis.
- Independiente de factores ambientales.
- Reproducible ( $\pm 2\%$  y  $\pm 5\%$  en precisión).
- Que no sea críticamente dependiente de su composición.

2) Que el dosímetro sea:

- Estable bajo condiciones ambientales normales.
- Simple de manejar.
- Fácil de preparar a partir de reactivos y solventes normales.

Dosímetros Absolutos. Su característica principal es que están diseñados para medir la cantidad de energía absorbida por una muestra de tamaño y composición conocidas, se usan para

calibración de dosímetros secundarios. Entre los dosímetros absolutos se tienen los calorímetros, las cámaras de ionización de aire libre.

Dosímetros Secundarios. Requieren ser calibrados comparándolos con uno absoluto, pero generalmente son más fáciles de manejar que el absoluto.

Métodos Calorimétricos. En estos casos, el efecto inducido por la radiación que se mide directamente, es el incremento de temperatura en el material irradiado. El cambio de temperatura está directamente relacionado con la intensidad de la radiación ( $J/m^2 s$ ), y ésta permite a su vez, calcular la dosis absorbida a cualquier profundidad del material. Estos métodos no son muy prácticos para mediciones rutinarias, pero son útiles como patrones de comparación.

Dosimetría química. La dosis de radiación se determina a partir de un cambio químico producido en el material que compone el dosímetro. Para calcular dicha dosis, debe conocerse el valor  $G$  ( $G$  es una medida de la eficiencia química y se define como el número de moléculas transformadas del estado inicial al final de una reacción, por cada 100 eV de energía absorbida), o producto estimado para la reacción, lo cual se consigue comparando el sistema químico con un dosímetro absoluto. La cantidad que se mide directamente es la dosis absorbida o la razón de dosis en el material que compone el dosímetro, y ésta puede transformarse en dosis absorbida o razón de dosis para otros materiales.

Ejemplo de dosimetría química, tenemos el dosímetro de Fricke.

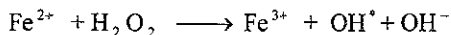
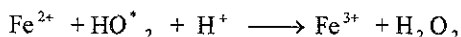
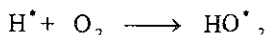
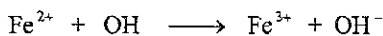


- Dosímetro Fricke (Sulfato ferroso). La reacción involucrada en el dosímetro Fricke es la oxidación de una solución ácida de sulfato ferroso a una sal férrica, en presencia de oxígeno y bajo la influencia de la radiación.

La solución del dosímetro consiste de 0.4 M de  $H_2SO_4$  y de  $10^{-3}$  M de  $Fe^{2+}$ .

En general, los mecanismos de reacción de los dosímetros químicos bajo irradiación, incluyen ionización formación de estados electrónicos excitados, transferencia de excitación electrónica de una molécula a otra, disociación de moléculas en estados vibracionales excitados, captura de electrón, neutralización y reacciones de radicales.

Para el caso del dosímetro de Fricke el mecanismo es el siguiente.



De aquí puede verse que:

$$G(Fe^{3+}) = G_{OH^*} + 3 G_{H^*} + 2 G_{H_2O_2}$$

De donde puede obtenerse el valor  $G(Fe^{3+})$  a partir de los valores  $G$  de formación de  $OH$ ,  $H$  y  $H_2O_2$  que se encuentran en la literatura (Cervantes Espinosa 1994, pág. 63).

La dosis puede determinarse a partir del valor  $G$  usando la relación:

$$D_D = \frac{0.965 \times 10^7 (DO_i - DO_f)}{\rho G(Fe^{3+})} Gy \quad (3)$$

Donde :

$DO_i$ , es la densidad aplicada inicial del dosímetro,

$DO_f$  es la densidad final del mismo,

$\epsilon$  es el coeficiente de extinción molar para iones férricos a la longitud de onda de máxima absorción,

$d$  la trayectoria óptica del haz de luz analizador, y

$\rho$  la densidad del dosímetro.

Este resultado es válido cuando la medición de  $\epsilon$  se hace con el mismo espectrofotómetro usado para medir las densidades ópticas, debiéndose hacer las mediciones a la longitud de onda en la cual la absorción de los iones férricos es máxima y siempre a la misma temperatura.

## 2.6 DISPOSITIVOS.

Para irradiar las muestras se colocaran sobre una plataforma giratoria que se encuentra en el cuarto de irradiación del irradiador GMMABEAM 651 PT. (Fig. 5).

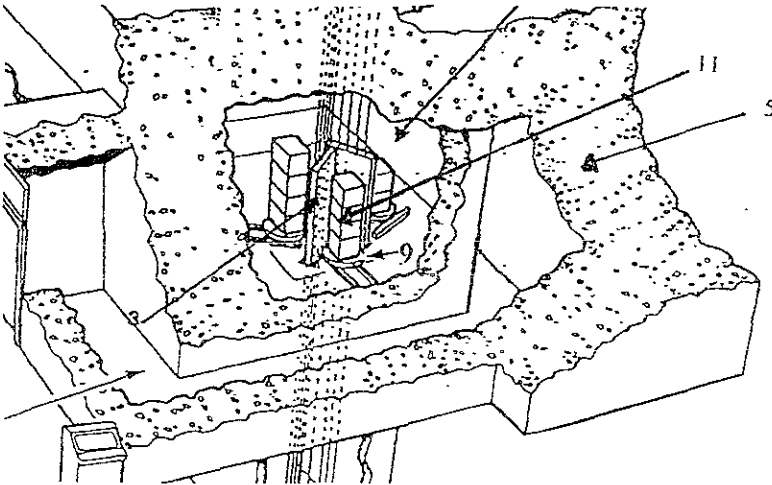


Figura 5 Cuarto de irradiación  
3 Fuente. 9 Plataforma giratoria y 11 Muestra

### **III. DESARROLLO EXPERIMENTAL.**

#### **3.1 MATERIALES Y METODOS.**

El irradiador de Cobalto 60 utilizado para este trabajo fue un GAMMABEAM- 651 PT, el cual se encuentra en el Instituto de Ciencias Nucleares de la Universidad Nacional Autónoma de México

Las muestras se colocaron en paquetes de 20 bolsas para cada dosis. Las bolsas se metieron, en paquetes de 10, en bolsas más grandes y ésta bolsa se colocó sobre la mesa giratoria, pegada con cinta, para evitar que se cayera.

#### **3.2 COLECCIÓN Y MUESTREO.**

- Se obtuvieron las pencas de nopal (cladodios), comprados en el Mercado “12 de diciembre”, ubicado en Cd. Nezahualcóyotl.
- Las pencas de nopal se compraron con espinas.
- Se seleccionaron los nopales de tal forma que estuvieran completos, sin heridas causadas por insectos, o cualquier daño físico.
- Se seleccionaron por tamaño, de modo que todos tuvieran aproximadamente 18 cm de largo y 10 cm de ancho

#### **3.3 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS.**

- Los nopales se colocaron sobre una charola, para desespinarlos uno por uno por el método que se usa en el mercado, con cuchillo, procurando hacer las menores heridas

- Después de desespinarlos se cortaron en cuadritos de 1 cm por 1 cm, aproximadamente y se pesaron 60 cuadros para cada dosis.
- Inmediatamente después, se fué colocando un cuadro de nopal en una bolsa de polietileno (de dimensiones de 9 cm de largo por 6 cm de ancho), para evitar el mayor contacto con el oxígeno.
- Después de colocar el nopal en las bolsas se fueron sellando con una selladora manual, a unas bolsas se les selló sin ponerles nitrógeno y a otras se les puso nitrógeno (para expulsar el aire).

### 3.3.1 DETERMINACIONES FISICOQUÍMICAS.

Las siguientes determinaciones se realizaron para cada una de las dosis y condiciones de almacenamiento, así como para la muestra control, teniendo 5 muestras de nopal, para cada determinación.

- pH con papel pH.

Se midió la masa de 5 cuadritos de nopal irradiados con una dosis, se trituraron en mortero, y se hizo la determinación con papel-pH.

- Acidez total.

De la muestra que se molió se tomaron 2.0 (0.01) g, se colocaron en matraz erlenmeyer de 50 mL y se les adicionaron 20 (0.1) mL de agua destilada con 2 gotas de fenolftaleína, para titular con NaOH al 0.1N. Se realizó por duplicado, para cada dosis y para el control

Para obtener el % de ácido cítrico se utilizó la siguiente fórmula.

$$\% \text{ ac. cítrico} = \frac{(N. \text{ de NaOH})(Vol \text{ gastado})(eq \text{ de, ac cítrico})}{gr \text{ de muestra}} \times 100 \quad (4)$$

- Carbohidratos, (Método del fenol sulfúrico).

Se pesaron aproximadamente 10.0 (0.01) g de nopal y se trituraron en mortero, se colocaron en matraz erlenmeyer de 50 mL, se les adicionó 50 (0.25) mL de agua destilada, se tomó 1 (0.01)mL y se aforó a 10 (0.01) mL. De esta solución se tomó 1.0 (0.01)mLy se colocó en tubos de ensayo, al cual se le añadió 0.6 (0.01) mL de fenol al 5% y 3.6 (0.01) mL de ácido sulfúrico concentrado, y se realizó la lectura en espectrofotómetro a 480 (0.1) nm.

El espectrofotómetro utilizado es el Modelo 111 C680556 UV – VIS, de la marca Perkin Elmer.

### **3.4 IRRADIACIÓN.**

- Se irradiaron las muestras de nopal en dosis de 0.5 a 10 kGy. a la Razón de Dosis de 3.7 kGy/h.
- Se almacenaron muestras a temperatura ambiente (21°C) y muestras a temperatura de refrigeración (4°C).
- Se determinó el nivel de dosis más adecuado para procurarles un aumento en la vida de anaquel, de acuerdo a las observaciones visuales y mencionadas en la Norma Mundial del CODEX para el Nopal, CODEX STAN 185-1993, no debe presentar oscurecimiento enzimático al estar desespinado, ser de consistencia firme, estar sanos, debiendo excluirse los productos afectados por pudrición o deterioro que impidan su consumo, estar exentos de cualquier olor y/o sabor extraño, presentar color, olor, sabor y textura característicos de la especie
- Se determinaron los cambios fisicoquímicos atribuibles a las dosis de irradiación.

### **3.5 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO.**

Se realizaron siembras en agar papa dextrosa, utilizando agua peptonada y ácido tartárico.

Se midieron 10 gramos de Nopal, se trituraron en mortero, se colocó en un matraz erlenmeyer de 50 mL y se adicionó agua peptonada, se dejó reposar durante 5 minutos, se realizaron dos diluciones de 1:10 y de cada dilución se tomó 1 mL que se colocó en la caja petri, con 0.5 mL de ácido tartárico y posteriormente se vació el medio de cultivo.

### **3.6 PÉRDIDA DE PESO.**

Para determinar la pérdida de peso; antes de colocar los nopales dentro de las bolsas de polietileno se pesaron los nopales en su totalidad ( peso inicial), para pesarlos después de ser irradiados y almacenados y observar cambios de oscurecimiento y ablandamiento del nopal, lo cual sucedió a los 21 días después de ser irradiados, para determinar el peso (peso final) se sacaron los nopales de sus bolsas y fueron pesados sobre un vidrio de reloj previamente tarado.

### **3.7 ANÁLISIS SENSORIAL.**

Se utilizaron 6 jueces para analizar las dosis de 1.5 y 2.0 kGy. (color, olor, sabor y textura).

Para cada dosis se colocaron 3 cuadros de Nopal.

Las muestras fueron cocidas sin sal.

Las muestras se analizaron el día de la irradiación

### **3.8 ANÁLISIS ESTADÍSTICO (INCERTIDUMBRES (U)).**

Las incertidumbres que se muestran entre paréntesis se obtuvieron ya sea del manual de cada instrumento utilizado o por análisis estadístico (ver anexos)

## IV. RESULTADOS.

### 4.1 DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE DOSIS MÁS ADECUADO PARA PROCURARLES UN AUMENTO EN LA VIDA DE ANAQUEL.

Para encontrar una dosis y las condiciones de almacenamiento adecuadas, en las que el Nopal (*Opuntia spp*), alargara su vida de anaquel se irradiaron muestras de Nopal a diferentes dosis de 0.5 en 0.5 kGy hasta 10.0 kGy, con muestras a las que se les puso nitrógeno y otras muestras sin nitrógeno, almacenando muestras a temperatura ambiente y a temperatura de refrigeración, para observar los resultados, se realizó una escala edónica de la siguiente manera.

+ Nada, ++ Poco, +++Regular, ++++ Mucho y M. C. Muestras que se cuecen durante la irradiación.

CUADRO 5. Observaciones visuales en muestras almacenadas a temperatura ambiente (21°C).

DOSIS (KGY)	ATMOSFERA	DÍAS TRANSCURRIDOS DE LA IRRADIACIÓN							
		TIEMPO CERO				UNA SEMANA			
		Osc.	Desh.	Tex.S	Pre. H.	Osc.	Desh.	Tex. S.	Pre. H.
Control	Con N <sub>2</sub>	+	+	+	+	++++	++++	++	+
	Sin N <sub>2</sub>	+	+	+	+	++++	++++	++	+
0.5 y 1.0	Con N <sub>2</sub>	+	+	+	+	++++	+	+	+
	Sin N <sub>2</sub>	+	+	+	+	++++	+	+	+
1.5 y 2.0	Con N <sub>2</sub>	+	+	+	+	++	++	+	++
	Sin N <sub>2</sub>	+	+	+	+	++	++	+	++
2.5 y 3.0	Con N <sub>2</sub>	+	+	+	+	++	+	+	+
	Sin N <sub>2</sub>	+	+	+	+	+++	+	+	+
3.5 y 5.0	Con N <sub>2</sub>	+	+	+	+	+++	++	+	+
	Sin N <sub>2</sub>	+	+	+	+	++++	+	+	+
5.5 y 6.0	Con N <sub>2</sub>	+	+++	+++	+	++++	++	+	+
	Sin N <sub>2</sub>	+	+++	+++	+	++++	+	+	+
6.5 - 10.0	Con N <sub>2</sub>	M. C.	M. C.	M. C.	M.C.	M. C.	M. C.	M. C.	M.C.
	Sin N <sub>2</sub>	M. C.	M. C.	M. C.	M. C.	M. C.	M. C.	M. C.	M. C.

Osc. = Oscurecimiento, Desh. = Deshidratación, Tex S = Textura Suave, Pre. H = Presencia de Hongos

CUADRO 6. Observaciones visuales en muestras almacenadas a temperatura de refrigeración (4°C).

DOSIS (KGY)	ATMOS- FERA	DÍAS TRANSCURRIDOS DE LA IRRADIACIÓN							
		TIEMPO CERO				OCHO DÍAS			
		Osc.	Desh.	Tex.S	Pre. H.	Osc.	Desh.	Tex. S.	Pre. H.
Control	Con N <sub>2</sub>	+	+	+	+	++	++	+	+
	Sin N <sub>2</sub>	+	+	+	+	++	++	+	+
0.5 y 1.0	Con N <sub>2</sub>	+	+	+	+	+	++	+	+
	Sin N <sub>2</sub>	+	+	+	+	+	++	+	+
1.5 y 2.0	Con N <sub>2</sub>	+	+	+	+	+	++	+	+
	Sin N <sub>2</sub>	+	+	+	+	+	++	+	+
2.5 y 5.5	Con N <sub>2</sub>	+	++	+	+	+	++	+	+
	Sin N <sub>2</sub>	+	++	+	+	+	++	+	+
6.0 10.0	Con N <sub>2</sub>	M. C.	M. C.	M. C.	M.C.	M. C.	M. C.	M. C.	M.C.
	Sin N <sub>2</sub>	M. C.	M. C.	M. C.	M.C.	M. C.	M. C.	M. C.	M.C.

Osc. = Oscurecimiento, Desh. = Deshidratación, Tex. S. = Textura Suave, Pre. H. = Presencia de Hongos.

Cuadro 6. Continuación.

DOSIS (KGY)	ATMOS- FERA	DÍAS TRANSCURRIDOS DE LA IRRADIACIÓN							
		15 DÍAS				22 DÍAS			
		Osc.	Desh.	Tex.S	Pre. H.	Osc.	Desh.	Tex. S.	Pre. H.
Control	Con N <sub>2</sub>	+++	++++	++	++	+++	++++	+++	+++
	Sin N <sub>2</sub>	+++	++++	++	++	+++	++++	+++	+++
0.5 y 1.0	Con N <sub>2</sub>	++	+++	+	+	+++	+++	++	++
	Sin N <sub>2</sub>	++	+++	+	+	++++	+++	++	++
1.5 y 2.0	Con N <sub>2</sub>	+	+++	+	+	+	+++	+	+
	Sin N <sub>2</sub>	+	+++	+	+	+	+++	+	+
2.5 y 5.5	Con N <sub>2</sub>	+	+++	+	+	++	+++	++	++
	Sin N <sub>2</sub>	+	+++	+	+	+	++++	++	++
6.0 10.0	Con N <sub>2</sub>	M. C.	M. C.	M. C.	M.C.	M. C.	M. C.	M. C.	M.C.
	Sin N <sub>2</sub>	M. C.	M. C.	M. C.	M.C.	M. C.	M. C.	M. C.	M.C.



Cuadro 6. Continuación.

DOSIS KGY	ATMOSFERA	DIAS TRANSCURRIDOS DE IRRADIACION			
		30 DIAS			
		Osc	Desh	Tex S	Pre H
Control	Con N <sub>2</sub>	++++	++++	++++	++++
	Sin N <sub>2</sub>	++++	++++	++++	++++
0.5 – 1.0	Con N <sub>2</sub>	++++	++++	+++	+++
	Sin N <sub>2</sub>	++++	++++	+++	+++
1.5 – 2.0	Con N <sub>2</sub>	++	++++	++	++
	Sin N <sub>2</sub>	++	++++	++	+++
2.5 – 5.5	Con N <sub>2</sub>	+++	++++	+++	+++
	Sin N <sub>2</sub>	+++	++++	++++	++++
6.0 – 10.0	Con N <sub>2</sub>	M. C.	M. C.	M. C.	M. C.
	Sin N <sub>2</sub>	M. C.	M. C.	M. C.	M. C.

De acuerdo a las observaciones realizadas, las dosis que se eligieron para seguir trabajando son de 1.5 y 2.0 kGy a temperatura de refrigeración con y sin nitrógeno, debido a que estas muestras permanecen más tiempo en las mejores condiciones, y también de acuerdo a la norma (NOM – 033 – SSAI – 1993) son dosis permitidas.

## 4.2 CAMBIOS FISICOQUÍMICOS ATRIBUIBLES A LAS DOSIS DE IRRADIACIÓN.

Del experimento anterior se determinó que las dosis en las cuales el nopal (*Opuntia spp.*) aparentemente se conserva por más tiempo (sin presentar oscurecimiento) es en dosis de 1.5 y 2.0 kGy, con nitrógeno y sin nitrógeno a una razón de dosis de 3.56 kGy / h.

A las muestras de nopales irradiadas y las de control se les determinó lo siguiente:

- pH
- Acidez titulable con NaOH al 0.1 N utilizando fenolftaleína como indicador
- Carbohidratos solubles por el método de fenol-sulfúrico
- Observación de oscurecimiento, deshidratación, textura, y presencia de hongos, para determinar la vida de anaquel del Nopal irradiado.

### 4.2.1 DETERMINACION DE pH.

La determinación de pH se realizó con papel- pH que se introdujo en una muestra de Nopal previamente triturado en un mortero, observando que la variación es mínima, con una incertidumbre de U (0.5). Apéndice I

Cuadro 7. Cambios en pH.

DOSIS KGY		DÍAS TRANSCURRIDOS DE IRRADIACIÓN.				
		Cero días.	3 días.	7 días.	14 días.	25 días.
Control	con	4.5 (0.5)	5.0 (0.5)	5.0 (0.5)	5.5 (0.5)	5.5 (0.5)
nitrógeno.						
Control	sin	4.5 (0.5)	5.0 (0.5)	5.0 (0.5)	5.5 (0.5)	6.0 (0.5)
nitrógeno.						
1.5 kGy	con	4.5 (0.5)	4.5 (0.5)	4.5 (0.5)	5.5 (0.5)	6.0 (0.5)
nitrógeno.						
1.5 kGy	sin	4.5 (0.5)	4.5 (0.5)	4.5 (0.5)	5.5 (0.5)	6.0 (0.5)
nitrógeno.						
2.0 kGy	con	4.5 (0.5)	4.5 (0.5)	4.5 (0.5)	5.5 (0.5)	7.0 (0.5)
nitrógeno.						
2.0 kGy	sin	4.5 (0.5)	4.5 (0.5)	4.5 (0.5)	5.5 (0.5)	7.0 (0.5)
nitrógeno.						

## 4.2.2 ACIDEZ TITULABLE.

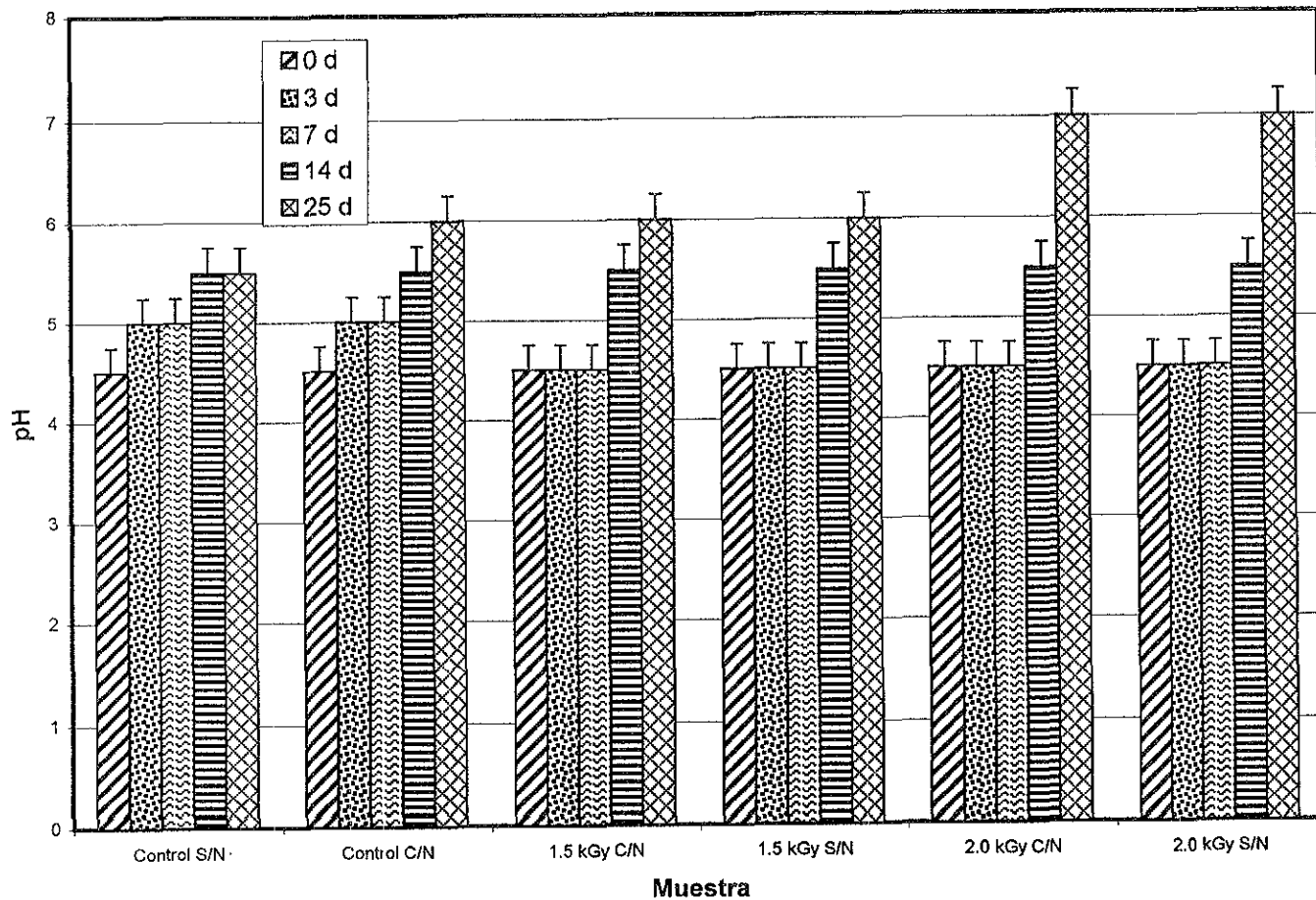
La determinación de la acidez para el ácido cítrico se hizo por titulación con NaOH al 0.1

N utilizando fenolftaleína como indicador con una bureta de 50 mL, la cual tiene una incertidumbre de U (10%). Apéndice I.

Cuadro 8. DETERMINACION DE ACIDEZ.

DÍAS TRANSCURRIDOS DE IRRADIACIÓN.		CERO DÍAS. (% DE AC. CÍTRICO)	3 DÍAS. (% DE AC. CÍTRICO)	7 DÍAS. (% DE AC. CÍTRICO)	14 DÍAS. (% DE AC. CÍTRICO)	25 DÍAS. (% DE AC. CÍTRICO)
Control	con	0.335 (0.005)	0.338 (0.005)	0.355 (0.005)	0.338 (0.005)	0.195 (0.004)
nitrógeno.						
Control	sin	0.350 (0.005)	0.365 (0.006)	0.416 (0.006)	0.304 (0.005)	0.173 (0.004)
nitrógeno.						
1.5 kGy	con	0.351 (0.005)	0.426 (0.006)	0.503 (0.006)	0.380 (0.006)	0.191 (0.004)
nitrógeno.						
1.5 kGy	sin	0.340 (0.005)	0.396 (0.005)	0.576 (0.006)	0.384 (0.006)	0.122 (0.004)
nitrógeno.						
2.0 kGy	con	0.426 (0.005)	0.448 (0.006)	0.556 (0.006)	0.413 (0.006)	0.106 (0.004)
nitrógeno						
2.0 kGy	sin	0.420 (0.005)	0.483 (0.005)	0.378 (0.006)	0.326 (0.005)	0.123 (0.005)
nitrógeno						

GRÁFICA 1. DETERMINACIÓN DE pH.



#### 4.2.3 DETERMINACIÓN DE CARBOHIDRATOS. MÉTODO DEL FENOL SULFÚRICO.

Los carbohidratos se determinaron utilizando la reacción de condensación con fenol y el color producido medido en un espectrofotómetro UV – VIS modelo 111 marca Perkin Elmer y la lectura de Absorbancia se hizo a 480 nm. (Apéndice II y III.)

#### CURVA PATRÓN.

Se midieron 9.9 (0.1) mg de glucosa y se diluyeron en 100 (0.01) mL de agua destilada.

Concentración = 99 (0.002)  $\mu\text{g} / \text{mL}$

Cuadro 9.

TUBO.	ML DE GLUCOSA.	ML DE AGUA DESTILADA.	CONCENTRACIÓN $\mu\text{G} / \text{ML}$ .	ABSORBANCIA.
1	0.0	1.0 (0.01)	-	Blanco
2	0.2 (0.01)	0.8 (0.01)	19.8 (0.02)	0.155 (0.001)
3	0.4 (0.01)	0.6 (0.01)	39.6 (0.02)	0.315 (0.002)
4	0.6 (0.01)	0.4 (0.01)	54.4 (0.02)	0.540 (0.003)
5	0.8 (0.01)	0.2 (0.01)	79.2 (0.02)	0.770 (0.004)
6	1.0 (0.01)	0.0 (0.01)	99.0 (0.02)	0.940 (0.005)

Regresión lineal.

B = -0.05 (0.02)

m = 0.01 (0.0003) mL/ $\mu\text{g}$

R = 0.996

Para la determinación de los carbohidratos de las muestras se realizaron las diluciones ya mencionadas y se hizo la lectura de absorbancia.

Obteniendo los siguientes datos.

Cuadro 10. Determinación de Carbohidratos.

DOSIS DE IRRADIACIÓN.	DIAS TRANSCURRIDOS DE IRRADIACIÓN.	
	CERO	OCHO
	g. de Glucosa en 100 g de Nopal.	g. de Glucosa en 100 g de Nopal.
Control con nitrógeno.	4.84	4.36
Control sin nitrógeno.	4.89	4.45
1.5 kGy con nitrógeno.	2.96	2.90
1.5 kGy sin nitrógeno.	3.74	3.05
2.0 kGy con nitrógeno.	3.20	3.01
2.0 kGy sin nitrógeno.	3.01	2.74

#### 4.3 DESARROLLO DE LEVADURAS.

Este estudio se realizó para observar de qué manera influye la irradiación sobre las levaduras en el Nopal.

Cuadro 11.

DOSIS.	CRECIMIENTO DE LEVADURAS. DESPUÉS DE IRRADIAR LAS MUESTRAS.		
	TIEMPO CERO (UFC/g).	7 DÍAS. (UFC/g)	14 DÍAS. (UFC/g)
Control con nitrógeno.	> 30	> 100	Incontables
Control sin nitrógeno.	> 30	> 100	Incontables
1.5 kGy con nitrógeno.	0	> 30	Incontables
1.5 kGy sin nitrógeno.	> 30	> 30	Incontables
2.0 kGy con nitrógeno.	0	> 30	Incontables
2.0 kGy sin nitrógeno.	0	400	Incontables

#### 4.4 PERDIDA DE MASA.

La pérdida de masa se determinó por diferencia de peso, utilizando una balanza Sauter Sm

1000 con una incertidumbre U(0.01) g. Apéndice I.

Cuadro 12.

DOSIS	MASA INICIAL (g).	MASA FINAL (g).	PERDIDA DE MASA.
Control con nitrógeno.	191.52 (0.01)	155.084 (0.01)	19 (0.005) %
Control sin nitrógeno.	156.80 (0.01)	132.16 (0.01)	16 (0.005) %
1.5 kGy con nitrógeno.	191.75 (0.01)	166.58 (0.01)	13 (0.005) %
1.5 kGy sin nitrógeno.	172.11 (0.01)	154.77 (0.01)	10 (0.005) %
2.0 kGy con nitrógeno.	200.66 (0.01)	151.78 (0.01)	24 (0.005) %
2 0 kGy sin nitrógeno.	175.07 (0.01)	159.04 (0.01)	9 (0.005) %

#### 4.5 ANÁLISIS SENSORIAL.

Análisis descriptivo por calificación por medio de escalas de intervalo (Anzaldúa,1994).

Se trabajó con muestras de Nopal irradiado a 1.5 kGy y 2.0 kGy y con las muestras control.

Para evaluar las características de C = color, O = olor, S = sabor y T = textura, se tiene las siguiente escala edónica:

1 = Muy Bueno 2 = Bueno 3 = Regular 4 = Malo 5 = Muy Malo

Cuadro 13.

JUEZ N°	MUESTRAS DE NOPAL (DOSIS).															
	CONTROL								1.5 kGy							
	Con N2				Sin N2				Con N2				Sin N2			
	C	O	S	T	C	O	S	T	C	O	S	T	C	O	S	T
1	2	3	2	2	1	2	2	2	2	2	3	2	2	2	3	3
2	2	2	3	3	2	2	2	2	1	2	1	1	1	1	2	2
3	1	2	1	2	2	1	1	1	2	2	1	2	1	2	3	2
4	1	3	1	1	2	2	1	1	2	2	2	1	1	1	2	1
5	2	2	3	3	1	2	1	3	2	3	2	3	1	1	1	1
6	1	1	2	2	1	2	2	2	1	1	1	2	1	2	1	2

Cuadro 13. Continuación.

JUEZ N°	MUESTRA (DOSIS).							
	2.0 kGy							
	Con N2				Sin N2			
	C	O	S	T	C	O	S	T
1	1	2	2	1	2	2	1	1
2	2	2	2	1	1	2	1	1
3	3	3	2	2	2	2	1	2
4	2	3	1	1	1	2	2	2
5	2	2	1	1	1	1	1	1
6	2	2	1	2	1	2	1	1

Con los datos obtenidos se realizó el análisis de varianza, donde las fuentes de variación son :

a) Muestras de nopal.

b) Jueces.

#### ANÁLISIS DE VARIANZA.

Ho : No hay diferencia significativa entre las muestras irradiadas y las no irradiadas (muestras control).

Ha: Si hay diferencia significativa entre las muestras irradiadas y las no irradiadas (muestras control).

#### CUADRO DE ANDEVA.

Cuadro 14.

Fuente de variación.	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F. calculada	F. tablas 5%
Muestras Nopales	5	2.5	0.5	2.94	4.39
Jueces	5	2.5	0.5	2.94	4.39
Error	25	6.0	0.17		
Total	35	11.0			

FUENTE: F tablas Anzaldúa, 1994

Si  $F_{calculada} < F_{tablas}$ , no hay efecto significativo de la variable.



## V. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

### 5.1 DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE DOSIS MÁS ADECUADO PARA PROCURARLES UN AUMENTO EN LA VIDA DE ANAQUEL.

- A la semana de ser irradiadas las muestras de nopal y almacenadas a temperatura ambiente:

En las dosis de 0.5 y 1.0 kGy (Cuadro 5), no hay diferencia, ya que presentan los mismos resultados tanto con nitrógeno como sin nitrógeno; sin embargo se aprecia una diferencia en estas dosis sin nitrógeno comparada con la muestra control, ya que a ésta dosis sin nitrógeno tiene menor oscurecimiento enzimático que las muestras irradiadas a estas dosis y almacenadas sin nitrógeno.

En las dosis de 1.5 y 2.0 kGy (Cuadro 5), tanto con nitrógeno como sin nitrógeno, ya hay desarrollo de hongos, y presentan oscurecimiento enzimático.

En las dosis de 2.5 y 3.0 kGy (Cuadro 5) se observa una diferencia en las muestras que contienen nitrógeno, pues presentan menor oscurecimiento enzimático que las muestras que no contienen nitrógeno, y en ninguno de éstos casos hay desarrollo de hongos.

Las muestras irradiadas a 3.5, 4.0, 4.5 y 5.0 kGy (Cuadro 5), tanto con nitrógeno como sin nitrógeno, presentan oscurecimiento enzimático y no hay desarrollo de hongos.

Las muestras irradiadas en las dosis de 5.5 y 6.0 kGy (Cuadro 5), presentan mayor oscurecimiento enzimático, sin desarrollo de hongos.

En las dosis de 6.5 - 10 kGy (Cuadro 5) las muestras se cuecen, por lo mismo hay mucha deshidratación y no se aprecia el oscurecimiento enzimático, su textura es muy suave y no hay desarrollo de hongos.

- A la semana de ser irradiadas las muestras de nopal y almacenadas a temperatura de refrigeración.

En estas condiciones de almacenamiento, se observa en todas las muestras que hay deshidratación y no hay oscurecimiento en las muestras irradiadas como se da en el caso de la muestra control, que tanto con nitrógeno como sin nitrógeno presentan un ligero oscurecimiento enzimático.

Al comparar los resultados obtenidos en estas condiciones de almacenamiento con las muestras almacenadas a temperatura ambiente se puede apreciar que a una semana de ser irradiadas las muestras almacenadas en refrigeración se mantienen con mejores características visuales.

Las muestras se siguieron observando día a día sin encontrar modificaciones a las presentadas anteriormente, hasta las dos semanas que se observaron cambios.

- A los 15 días de ser irradiadas las muestras control ya presentan oscurecimiento enzimático, lo mismo que en las dosis de 0.5 – 1.0 kGy, y en dosis de 1.5 – 2.0 kGy las muestras se siguen manteniendo en aparente perfecto estado.

La muestra control ya no es apta para consumo humano, aunque la muestra irradiada presenta deshidratación y una ligera presencia de hongos en la parte donde se quitó la espina, por lo que tampoco es apta para consumo humano, por presentar oscurecimiento y poco desarrollo de hongos.

- A los 22 días de ser irradiadas las muestras de nopal y almacenadas a temperatura de refrigeración.

Del (cuadro 6) se observa que a dosis de 0.5 kGy, la irradiación no es suficiente ya que se observa oscurecimiento enzimático y crecimiento de hongos, lo mismo sucede en dosis de 2.5 – 5.5 kGy. Por lo que en dosis mayores a 2.5 kGy hay mayor desprendimiento de agua, mientras que en dosis de 1.5 y 2.0 kGy no es tanta la deshidratación, ya que no hay presencia de hongos y tampoco hay oscurecimiento enzimático en las muestras.

Las muestras sometidas a las dosis de 1.5 y 2.0 kGy se siguieron observando durante la siguiente semana a fin de determinar los días en los cuales las muestras se mantienen en buenas condiciones, resultado de 25 días a temperatura de refrigeración y con nitrógeno.

Determinando como dosis adecuadas de 1.5 kGy y 2.0 kGy para seguir trabajando.

- Al mes de ser irradiadas las muestras de nopal y almacenadas a temperatura de refrigeración.

Del (cuadro 6) se observa que a un mes de ser irradiadas las muestras, ninguna es apta para consumo humano, debido a que ya hay desarrollo de hongos en todas las dosis, y mucho oscurecimiento y su textura es muy suave

## **5.2 CAMBIOS FISICOQUÍMICOS ATRIBUIBLES A LAS DOSIS DE IRRADIACIÓN.**

- Determinación de pH.

Del (cuadro 7), se observa que no hay modificación en pH después de la irradiación; sin embargo, a los tres días de haber sido irradiados los nopales se aprecia un aumento en el pH (4.5 – 5.0) en la muestra control, mientras que en las muestras irradiadas el pH se mantiene constante

No se observa cambio de pH hasta los 14 días de ser irradiados, tanto el control como las muestras irradiadas tienen pH de 5.5.

Hasta los 25 días transcurridos después de la irradiación, las muestras control se mantienen constantes. En las dosis de 1.5 kGy con nitrógeno y sin nitrógeno hay un aumento del pH y para dosis de 2.0 kGy ambas muestras tienen un pH neutro.

Como podemos apreciar en la Gráfica (1), al transcurrir los días de la irradiación el pH aumenta.

- **Determinación de Acidez.**

Del (cuadro 8) podemos observar que en las muestras se aumenta la acidez hasta los 7 días sin embargo hay una caída de la acidez a los 14 días y disminuye a los 25 días, esto es prácticamente general en todas las muestras.

- **Determinación de carbohidratos.**

De acuerdo a los resultados obtenidos en la determinación de los carbohidratos (Cuadro 10) podemos ver que hay una disminución aproximada del 6% de los carbohidratos presentes en el Nopal. Debido a que los carbohidratos son hidrolizados y oxidados a compuestos más sencillos, por lo que en esta determinación hay una disminución.

- **Desarrollo de Levaduras.**

Del (cuadro 11) se observa, que la irradiación destruye algunas levaduras, ya que en las muestras control presentan desarrollo de levaduras al tiempo cero, mientras que en las muestras irradiadas a 1.5 kGy con nitrógeno no hay contaminación, aunque en las muestras de 1.5 kGy sin

nitrógeno sí se presenta contaminación, pero la contaminación es menor que en las muestras control; donde no hay contaminación es en dosis de 2.0 kGy.

Debido a que hay más iones radiactivos producidos por la irradiación que dañan o destruyen a los microorganismos de forma inmediata ya que cambian la estructura de la membrana celular y afectan sus actividades enzimáticas y metabólicas.

A los 7 días de ser irradiados los Nopales (cuadro 11) la presencia de levaduras es mayor de 30 UFC en las muestras control e incluso también en las dosis de 1.5 kGy sin nitrógeno y con nitrógeno hay crecimiento de levaduras que es mayor a 30 UFC y en las dosis de 2.0 kGy con nitrógeno y sin nitrógeno, el crecimiento de levaduras es menor, ya que las colonias sí pudieron ser contadas .

A los 14 días de ser irradiados los nopales (cuadro 11), el crecimiento de levaduras se vuelve incontable (Cuando el número de colonias es mayor a 100).

La reducción de una determina población microbiana depende de las dosis recibida, los mohos y levaduras se destruyen en dosis de irradiación de 2.0 – 5.0 kGy.

- Pérdida de masa.

Se observa que en las dos dosis con nitrógeno y sin nitrógeno como en las muestras control, se tiene mayor pérdida de masa en las muestras que contienen nitrógeno, pero en donde hay mayor pérdida de masa es en la dosis de 2.0 kGy con nitrógeno y la menor pérdida de masa es en esta misma dosis, pero sin nitrógeno; debido, a que al inyectar nitrógeno se desplazan las vacuolas y hay salida de agua, además de que al ser irradiadas las muestras de Nopal se rompen las paredes celulares y por lo tanto la cantidad de agua aumenta

- ANÁLISIS SENSORIAL.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el cuadro de ANDEVA (cuadro 14), se tiene una F calculada de 2.94 para las muestras de Nopal y también para los jueces y una F de tablas de 4.39 por lo que :

Si  $F_{calculada} < F_{tablas}$  no hay diferencia significativa entre las muestras de Nopal irradiadas y las no irradiadas (muestras control), por lo que significa que los Nopales al ser irradiados no se modifica su color, olor, sabor y textura en dosis de 1.5 y 2.0 kGy.

## VI. CONCLUSIONES.

- La dosis que se encontró más adecuada para la irradiación del Nopal (*Opuntia ssp.*) con los rayos gamma de Cobalto – 60, fue de 1.5 y 2.0 kGy (dosis permitida en la NOM – 033 – SSA1 – 1993).
- Las condiciones de almacenamiento más benéficas después de la irradiación fueron con nitrógeno y a temperatura de refrigeración (4°C).
- Para el caso de los cambios microbiológicos la irradiación es un buen método para disminuir o retardar en forma considerable el crecimiento de levaduras.
- El objetivo del presente trabajo sí se cumplió; encontrando que ninguna dosis mejora la vida de anaquel del Nopal, ya que la dosis determinada como adecuada no aumenta la vida de anaquel en forma satisfactoria para el producto, y los cambios fisicoquímicos y microbiológicos atribuidos a las dosis de irradiación no distan mucho de las muestras no irradiadas o muestras control.

## BIBLIOGRAFIA.

- Adem Esbaide. Tesis.1978. *Desinfestación del maíz por irradiación*. Instituto de Física. UNAM
- Adem Esbaide. Tesis.1968. *Preservación de Alimentos con Radiación: Efecto de electrones de 1 MeV sobre Jugo de Naranja*. Facultad de Ciencias. UNAM
- Alonso M. y Finn E.J. 1995. *FÍSICA*. Editorial Addison-Wesley Iberoamericana, Estados Unidos.
- Anuario estadístico de los Estados Unidos Mexicanos. 1997. INEGI.
- Anuario estadístico de la producción Agrícola de México. 1996. Tomo I. Secretaria de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (SAGAR).
- Anzaldúa – Morales antonio. 1994. *La evaluación Sensorial de los Alimentos en la teoría y la práctica*. Editorial Acribia, S. A. Zaragoza (España).
- Belmont Arlette. 1998. *Cocina fácil*. El Prodigioso Nopal 13 (3): 17-21.
- Borbolla Furano L., Ayala C. Tesis. 1987. *Estudio de factibilidad Técnica y económica para el establecimiento de una planta empaadora de nopal verdura*. IPN.
- Bravo – Hollins, H. 1978. *Las cactaceas de México*. Vol. 1, UNAM.
- Buenfil Burgos Ana Elena. Tesis.1982. *Uso de películas de Tinte radiocromico como Dosímetros Secundarios*. Facultad de Ciencias. UNAM.
- Bustos Ramírez, María Emilia 1990. *Irradiación de Alimentos*. Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares.
- Cantwell de T.Marita. Tesis. 1992 *Aspectos de Calidad y Manejo Post-cosecha de los nopalitos*. Universidad Autónoma de Chapingo.
- Coender A. 1996 *Química Culnaria*. Editorial Acribia, S.A
- CHEFTEL Jean-Claude. 1992. *Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos*. Vol. II Editorial Acribia Zaragoza (España)
- Colín C , B. 1976. *Industrialización del nopal y sus productos*. Tecnología, Laboratorios Nacionales de Fomento Industrial mexicano.
- Corrales G 1992. A. *Descripción y análisis de la cosecha y manejo en fresco de nopalito y tuna* Universidad Autónoma de Chapingo



- Corrales G., 1992. B *Perspectivas de industrialización de nopalito y tuna*. CIESTAAM.
- Corrales G., 1995. *Procesamiento y transformación industrial del nopal*. Mercado mundial del nopal. Universidad Autónoma de Chapingo.
- Fellows Peter. 1994. *Tecnología del procesado de los Alimentos: Principios y Prácticas*. Editorial Acribia, S. A. Zaragoza (España).
- Ferreira M. Y G. Aguilera. Tesis. 1992. *La producción y comercialización del nopal verdura*. Universidad Autónoma de Chapingo.
- Flores Valdés, C. Armando. 1994. *Producción, industrialización y comercialización del nopal como verdura en México*. Folleto 13126. Universidad Autónoma de Chapingo.
- García Olivares Pável. Tesis. 1997. *Conservación del nopal mínimamente procesado*. Universidad Autónoma de Chapingo.
- Granados Sánchez Diódoro. 1993. *El Nopal; Historia, fisiología, genética e importancia frutícola*. Editorial Trillas.
- Hernández Gutiérrez Laurencio. *Plagas y Enfermedades del nopal en México*. Reporte de Investigación. Universidad Autónoma de Chapingo.
- Hernández José Martín. Tesis. 1994 *Estudio de factibilidad para el establecimiento de una planta procesadora de nopal verdura* Universidad Autónoma de Chapingo
- INEGI. Cultivos perennes de México. 1992. XVIII Censo Agropecuario.
- Lagunas – Solar, M.C. 1995. Radiation Processing of Foods. An Overview of Scientific Principles and Current Status. *Journal of Food Protection*. 58:2.
- Lozano Hernández Braulio y Torres Sandoval Julio. Tesis. 1999. *Diseño y construcción de un prototipo para secar nopal*. Universidad Autónoma de Chapingo.
- Miranda Martín del Campo Javier *Evaluación de la Incertidumbre en Datos Experimentales*. 2000. Departamento de Física Experimental. Instituto de Física Universidad Nacional autónoma de México.
- Miranda Martín del Campo Javier y Pegueros Javier Ricardo. 1993 *Interacción de rayos X y Gamma con la Materia. Curso Regional sobre Aplicaciones de los Aceleradores de Partículas*. Instituto de Física, Departamento de Física Experimental UNAM
- Morales Josefina 1989. Cuadernos de Nutrición. La comida irradiada 12 (2). 17-30

- Moy, J.H. 1983. Preservation of Food by Ionizing Radiation Ibid 83. University of Hawaii. USA
- NGS Enterprises. 1999 GRIFFITH MICRO SCIENCE, MDS NORDION INC. El proceso gamma de alimentos.
- NORMA MUNDIAL DEL CODEX para el Nopal, CODEX STAN 185 – 1993.
- NORMA Oficial Mexicana NOM-033-SSA1-1993, Bienes y Servicios. Irradiación de alimentos Dosis permitidas en alimentos, materias primas y aditivos alimentarios.
- Norman N. Potter, P.h. D. 1973. *La Ciencia de los Alimentos*. Editorial Edutex, S.A. México.
- Olvera J.M. y M. Cruz. 1993. *Producción y Comercialización del nopal verdura en Milpa Alta, D.F.* CUESTAAM.
- Ruíz, h. y Ruíz M. Tesis. 2000. *Efecto de la irradiación gamma de cobalto 60 en el deterioro químico de la pulpa de aguacate congelada*. Facultad de Química. UNAM.
- SARH.1981. *El Nopal*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. Publicaciones Especiales. Num.34, Méx.
- Sistema Producto Nopal y Tuna. datos básicos. Autor: México, Dirección General de Políticas Agrícolas. 1992.
- Urbain, W.M. 1989, 43:7. Food Irradiation: The Past Fifty Years as Prolongue to Tomorrow. *Food Technology*.
- Velázquez Villafuerte Carlos Tesis. 1971. *Preservación de mangos con radiaciones gamma y criterios de diseño de cámaras de irradiación y maduración*. Facultad de Química.
- Villegas y de Gante A. 1995. Cuadernos de Nutrición. *Aprovechamiento del nopal en México*. 18 (3): 41-46.

# APÉNDICE I.

## DETERMINACIÓN DE LAS INCERTIDUMBRES (U).

### 1. PERDIDA DE MASA.

La masa de las muestras de Nopal se determinó utilizando una balanza Sauter SM 1000, la cual tiene una incertidumbre de U(0.01) g, mencionada en el Manual de operación de la balanza.

### 2. DETERMINACIÓN DE pH.

Esta determinación se hace utilizando papel pH, con escala de (0 a14), dicha escala no muestra puntos intermedios; sin embargo, en las muestras de Nopal, al introducir el papel pH mostraba dos colores de un pH y dos colores de otro pH, se consideró el pH en el punto intermedio entre los dos pH observados, por lo que la incertidumbre se consideró de U(0.5), como punto de menor resolución.

### 3 DETERMINACIÓN DE ACIDEZ.

La acidez se determina por titulación con una bureta de 50 (10%) mL, por lo que la incertidumbre para cada muestra se realiza de la siguiente manera.

Para el primer caso: CERO DÍAS (Control con Nitrógeno).

La ecuación utilizada :

$$\% \text{ác. cítrico} = \frac{(N(\text{NaOH}))(\text{eq ácido cítrico})(\text{vol gastado})}{(\text{g muestra})} \times 100 \quad (4)$$

$$\% \text{ ac. cítrico.} = f(V, M) \quad (5)$$

$$\% \text{ ac. cítrico.} = V/M = (1/M) V = VM^{-1} \quad (6)$$

$$\% \text{ác.cítrico.} \pm U(\% \text{ác.cítrico.}) = \frac{V \pm U(V)}{M \pm U(M)} \quad (7)$$

$$U_{\% \text{ác.cítrico.}}(\% \text{ác.cítrico.}) = \sqrt{\left(\frac{\partial \% \text{ác.cítrico.}}{\partial V}\right)^2 U^2(V) + \left(\frac{\partial \% \text{ác.cítrico.}}{\partial M}\right)^2 U^2(M)} \quad (8)$$

$$U_{(\% \text{ác.cítrico.})}(\% \text{ác.cítrico.}) = \sqrt{\left(\frac{1}{M}\right)^2 U^2(V) + \left(\frac{-V}{M^2}\right)^2 U^2(M)} \quad (9)$$

Dado que :

$$U(V) = 0.01 \text{ mL}$$

$$U(M) = 0.01 \text{ g}$$

## APÉNDICE II.

### DETERMINACIÓN DE LAS INCERTIDUMBRES DE LA CONCENTRACIÓN DE GLUCOSA PARA LA CURVA PATRÓN

Para la concentración inicial (  $C = 99 \mu\text{g/mL}$  ) se realizaron los siguientes calculos.

Teniendo que la concentración = Masa/Volumen

$$C = M/V \quad (10)$$

$$C = f(M, V) \quad (11)$$

$$C = M/V = (1/V)M = MV^{-1} \quad (12)$$

$$C \pm U(c) = \frac{M \pm U(M)}{V \pm U(V)} \quad (13)$$

$$U_c(C) = \sqrt{\left(\frac{\partial C}{\partial M}\right)^2 U^2(M) + \left(\frac{\partial C}{\partial V}\right)^2 U^2(V)} \quad (14)$$

$$U_c(C) = \sqrt{\left(\frac{1}{V}\right)^2 U^2(M) + \left(\frac{-M}{V^2}\right)^2 U^2(V)} \quad (15)$$

Donde .

$$U(M) = 0.1 \text{ g}$$

$$U(V) = 0.16 \text{ mL}$$

$$M = 99 \mu\text{g}$$

$$V = 100 \text{ mL}$$

Sustituyendo la ec. (15). La incertidumbre de la concentración es (0.002).

Para determinar la incertidumbre de la concentración de glucosa en cada punto de la curva patrón se utiliza la siguiente ecuación.

$$C_g \pm U(C_g) = [m \pm U(m)][A \pm U(A)] + [b \pm U(b)] \quad (16)$$

$$\frac{\partial C_g}{\partial m} = A \quad (17)$$

$$\frac{\partial C_g}{\partial A} = m \quad (18)$$

$$\frac{\partial C_g}{\partial b} = 1 \quad (19)$$

$$C_g \pm U(C_g) = \sqrt{(A)^2 U(m)^2 + (m^2) U(A)^2 + U(b)^2} \quad (20)$$

sustituyendo la ec. (20), se tiene que la incertidumbre para cada punto de concentración en la curva patrón es de (0.02)

### APÉNDICE III.

Para obtener la incertidumbre de la ordenada al origen ( $S_b$ ) y la incertidumbre de la pendiente ( $S_m$ ) de la Curva Patrón, se tienen los siguientes datos.

CANTIDAD	ECUACION	VALOR
$\sum_{i=1}^N X_i$	_____	292 ( $\mu\text{g/mL}$ )
$\sum_{i=1}^N X_i^2$	_____	$20993.2 (\mu\text{g/mL})^2$
$\sum_{i=1}^N Y_i$	_____	2.72
$\sum_{i=1}^N X_i Y_i$	_____	198.96
m	$m = \frac{N \sum_{i=1}^N X_i Y_i - \sum_{i=1}^N X_i \sum_{i=1}^N Y_i}{N \sum_{i=1}^N X_i^2 - (\sum_{i=1}^N X_i)^2}$	0.01
b	$b = \frac{\sum_{i=1}^N X_i^2 \sum_{i=1}^N Y_i - \sum_{i=1}^N X_i \sum_{i=1}^N X_i Y_i}{N \sum_{i=1}^N X_i^2 - (\sum_{i=1}^N X_i)^2}$	-0.050
Sy	$S_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - mX_i - b)^2}{N - 2}}$	0.020
Sm	$S_m = S_y \sqrt{\frac{N}{N(\sum_{i=1}^N X_i^2) - (\sum_{i=1}^N X_i)^2}}$	0.000318
Sb	$S_b = S_y \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N X_i^2}{N \sum_{i=1}^N X_i^2 - (\sum_{i=1}^N X_i)^2}}$	0.020

## APÉNDICE IV.

Para la determinación de los carbohidratos en 100 g de Nopal se calcularon los mg de Glucosa en la muestra irradiada considerando las diluciones realizadas.

$$\frac{10g \text{ muestra}}{50mL H_2O \text{ dest.}} \times \frac{1mL}{10mL} \times \frac{1mL}{10mL} = 0.002g \text{ de Nopal / mL}$$
$$= 2 \text{ mg Nopal/mL}$$

Para el primer caso (TIEMPO CERO).

De la muestra control con nitrógeno se tiene 96.8  $\mu\text{g}$  de glucosa en 2 mg de Nopal.

96.8  $\mu\text{g}$  =  $9.68 \times 10^{-5}$  g de Glucosa en 0.002 g de Nopal en 100 g de Nopal se tienen 4.84 gramos de Glucosa.