

C. T. P. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
NO	AÑO
1	1977

07.44.01

ASOCIACION ARGENTINA DE
TECNOLOGIA NUCLEAR

Conferencias

IIª REUNION CIENTIFICA
MAR DEL PLATA 1974

LAS RADIACIONES IONIZANTES COMO METODO PARA CONSERVAR ALIMENTOS

MIGUEL RITACCO

BUENOS AIRES
1977

ASOCIACION ARGENTINA DE
TECNOLOGIA NUCLEAR

CONFERENCIAS

II REUNION CIENTIFICA
MAR DEL PLATA
1974

LAS RADIACIONES IONIZANTES COMO METODO
PARA CONSERVAR ALIMENTOS

MIGUEL RITACCO

BUENOS AIRES
1977

C O N T E N I D O

I	- Introducción	Pág	1
II	- Radiaciones ionizantes como método de conservación	Pág	2
III	- Definiciones y unidades	Pág	3
IV	- Tipos de tratamientos por radiaciones ionizantes .	Pág	4
V	- Fuentes autorizadas para irradiar alimentos . .	Pág	5
VI	- Plantas para irradiar alimentos	Pág	5
VII	- Costos de irradiación	Pág	7
VIII	- Calidad de los alimentos a irradiar	Pág	8
IX	- Envasado de los alimentos irradiados	Pág	8
X	- Etiquetado de los alimentos irradiados	Pág	9
XI	- Almacenamiento de alimentos irradiados	Pág	9
XII	- Grupos de alimentos	Pág	10
XIII	- Efecto de la irradiación en el valor nutritivo de los alimentos	Pág	14
XIV	- Los caracteres organolépticos en los alimentos i- rradiados.	Pág	19
XV	- Acción de las radiaciones ionizantes sobre los or- ganismos, microorganismos y toxinas que alteran a los alimentos	Pág	21
XVI	- Acción de los alimentos irradiados en los organis- mos	Pág	23
XVII	- Radiactividad inducida en alimentos irradiados .	Pág	25
XVIII	- Efectos de la irradiación de alimentos en procesos biológicos	Pág	26
XIX	- Aceptación de los consumidores	Pág	27
BIBLIOGRAFIA		Pág	28

LAS RADIACIONES IONIZANTES COMO METODO PARA CONSERVAR ALIMENTOS.

MIGUEL RITACCO

1974

I - INTRODUCCION:

Uno de los problemas que el hombre siempre ha tenido, desde su aparición sobre la tierra, fue el de la conservación de sus alimentos. Así fue como en un principio utilizó el sol, la sal, el humo, y otros medios rudimentarios para conservarlos de las inclemencias climáticas, los cambios estacionales, las sequías, las plagas, etc.

Pasaron muchos años y en 1810 el francés Nicole Appert inventó un método utilizando calor para conservar productos con alta humedad (en recipientes) por largos periodos de tiempo; ésta fue la base de la industria del enlatado que revolucionó la conservación de los alimentos por aquellos tiempos.

A partir de ese momento se empezó a profundizar más en este tema y así; se llegó a la etapa del fermentado, el escabechado, el enfriado.

Hoy podemos hablar de un nuevo método que aporta nuevas posibilidades a la ciencia y tecnología de los alimentos: es utilizar las radiaciones ionizantes para la conservación de los mismos.

Después de la Segunda Guerra Mundial, en E.E.U.U. y algunos países de Europa se aceleró la puesta a punto de los métodos tradicionales y a trabajar más profundamente en la conservación de alimentos por irradiación. Esta última técnica ha despertado gran interés en el mundo; en 1972 eran 55 los países que estaban trabajando en el tema, habiendo desarrollado 27 plantas piloto. (1)

Las primeras investigaciones demostraron que era posible la muerte de microorganismos sin ocasionar mayores daños a los alimentos que los causados por otros métodos de conservación. Posteriormente, se comprobó que podían utilizarse las radiaciones ionizantes para controlar las pérdidas de granos por acción de insectos, fundamentalmente los coleópteros y lepidópteros utilizando bajas dosis de radiación. Con este método se pueden inhibir brotes en tubérculos, se aumenta la capacidad de rehidratación de los alimentos vegetales desecados, se desvitali-

zan parásitos y se altera la velocidad de maduración de frutas y hortalizas.(2)

En principio existieron algunos problemas con respecto a los cambios de sabor, olor y textura, pero se han ido solucionando con las mejoras técnicas aplicadas a este proceso. De todos modos, hoy se sigue trabajando para perfeccionar este método y los sistemas de conservación convencionales debido a las necesidades que nos impone un mundo cada día más creciente.

Las pérdidas por fallas técnicas en los métodos de conservación se elevan al 40 % en todo el mundo. Son cultivadas algo menos de 1,5 billon de hectareas en todo el planeta (sin incluir Asia) para alimentar a 4.000 millones de habitantes, de los cuales la mitad no tiene medios suficientes para comer y 500 millones de seres humanos están en inminente peligro de morir por falta de alimentos (L.C. Nehrt, experto de O.N.U., abril 1975). En muchas áreas las costumbres y los tabúes a menudo son responsables de la mala nutrición, aunque no haya escasez de nutrientes esenciales.

II - RADIACIONES IONIZANTES COMO METODO DE CONSERVACION

1) Singularidad del proceso

Se pueden someter a este tratamiento alimentos sensibles a la temperatura sin peligro, pues ésta no se eleva significativamente durante el proceso. Por esta razón a este método se lo conoce también como "tratamiento frío".(1)

Los rayos gamma (provenientes de las fuentes autorizadas para irradiar alimentos) tienen gran poder de penetración, por lo tanto pueden atravesar envases y destruir microorganismos alojados en el interior de algunos alimentos. En general, no es necesario el uso de aditivos alimentarios como complemento en alimentos irradiados.(3)

Un grado de seguridad de algunos alimentos tratados con radiaciones ionizantes nos lo da el uso de éstos para alimentar enfermos hospitalizados en Gran Bretaña, Alemania y Holanda que necesitan ingerirlos estériles. Los científicos de muchos países exigen para realizar sus experiencias, animales de laboratorio alimentados con dietas irradiadas, pues se sabe que son sanos desde el punto de vista nutricional. Los astronautas de las expediciones Apolo XII a XVII ingirieron algunos alimentos irradiados durante sus viajes (harinas, pan, jamón, huevos).

El proceso de irradiación puede usarse solo o combinado con otros

tratamientos (calor, frío), siendo esta última posibilidad la más adecuada en algunos casos, pues no es necesario suministrar una dosis alta de irradiación, alterando así en menor grado la estabilidad general de los alimentos. Las dosis de irradiación adoptadas para tratar alimentos, alteran tantos componentes nutritivos como el procedimiento térmico. Por otra parte, no se producen sustancias tóxicas ni carcinogénicas en alimentos cuando fueron irradiados con fuentes autorizadas (ver punto IV).

2) Limitaciones del proceso.

La irradiación de alimentos no es una panacea para solucionar los problemas de la industria alimentaria. Algunas enzimas son muy resistentes a las radiaciones; en estos casos se utilizan tratamientos térmicos para inactivarlas. Otras en cambio, pueden ser alteradas con dosis bajas de irradiación (es el caso de la citocromoxidasa de las papas).

La textura de las frutas y verduras se ablanda con altas dosis de radiaciones ionizantes (o sea cuando se busca destruir hongos) transformando a estos vegetales en alimentos inaceptables. En cambio, las dosis bajas utilizadas para la desinsectación y para alterar la velocidad de maduración, son perfectamente toleradas por estos alimentos.

Los virus no pueden ser desvitalizados con dosis bajas o medias de radiación gamma pues son radioresistentes, necesitándose dosis muy altas para obtener el efecto deseado. Esas dosis de radiación producen, a su vez, la alteración de las propiedades nutritivas y organolépticas de los alimentos; como los virus son sensibles a las altas temperaturas, se sugiere en algunos casos, utilizar tratamientos térmicos.

Los alimentos irradiados deben ser manipulados y almacenados adecuadamente; tienen que tratarse con cuidado, almacenándolos preferentemente en frío (alrededor de 4° C). Algunos alimentos pueden ser almacenados a temperatura ambiente, como las carnes cocidas,

El nivel de dosis de irradiación a aplicar no debe producir efectos adversos sobre la calidad del producto alimenticio, ni alterar la aceptación de los consumidores, tampoco disminuir el valor nutricional, organoléptico ni generar compuestos tóxicos.

III - DEFINICIONES Y UNIDADES

Actividad (A): De una cierta cantidad de nucleído radiactivo, es

el número de desintegraciones que en la unidad de tiempo se producen en dicha cantidad de nucleído. La unidad más usual es el "curie" (C) y equivale a $3,7 \times 10^{10}$ desintegraciones por segundo.

Dosis (d): De cualquier radiación, es la energía absorbida en la materia por unidad de masa de la misma. La unidad de dosis es el RAD y equivale a 100 ergios/gramo de material irradiado.

Los múltiplos son: el kilorad (Krad: mil rads) y el megarad (Mrad: un millón de rads).

Los rayos gamma, utilizados para irradiar alimentos, tienen una longitud de onda inferior a $1000 \text{ \AA}$.

Intensidad o velocidad de dosis: Es la energía absorbida por la unidad de masa en la unidad de tiempo. Puede expresarse en rad/min; Krad/h; etc

Rendimiento: Es la exposición en la unidad de tiempo o la dosis en la unidad de tiempo en un punto de referencia y para determinadas condiciones. (distancia fuente - punto, dimensiones del campo, profundidad). (23)

IV - TIPOS DE TRATAMIENTOS POR RADIACIONES IONIZANTES

Según los fines y los alimentos podemos dividir en tres los tipos de dosis a suministrar para su preservación:

1) Dosis bajas: Con ellas se pueden inhibir algunos procesos biológicos, como los brotes de los tubérculos (radioinhibición: 8/10 krad)

2) Dosis medias: Utilizadas para provocar la desinsectación de los granos, control de parásitos y la reducción del número de microorganismos en un alimento dado, ordenando en 3 grupos los niveles de dosis a aplicar según los casos:

- a) desinfestación (15 a 25 Krad.): Se aplica a los granos, verduras y frutas para inactivar los organismos perjudiciales que atacan a esos alimentos.
- b) Radurización (100/500 Krad.): Su objeto es reducir el número de microorganismos que producen el deterioro y se aplica a alimentos de corta vida comestible, con moderado a alto contenido de humedad (frutas, verduras, pescados).
- c) Radicidación (hasta 1,0 Mrad): Con estos niveles de dosis se busca eliminar de los alimentos los microorganismos que no forman esporas y se aplican a comestibles poco húmedos, congelados y secos (huevos, carnes y aves).

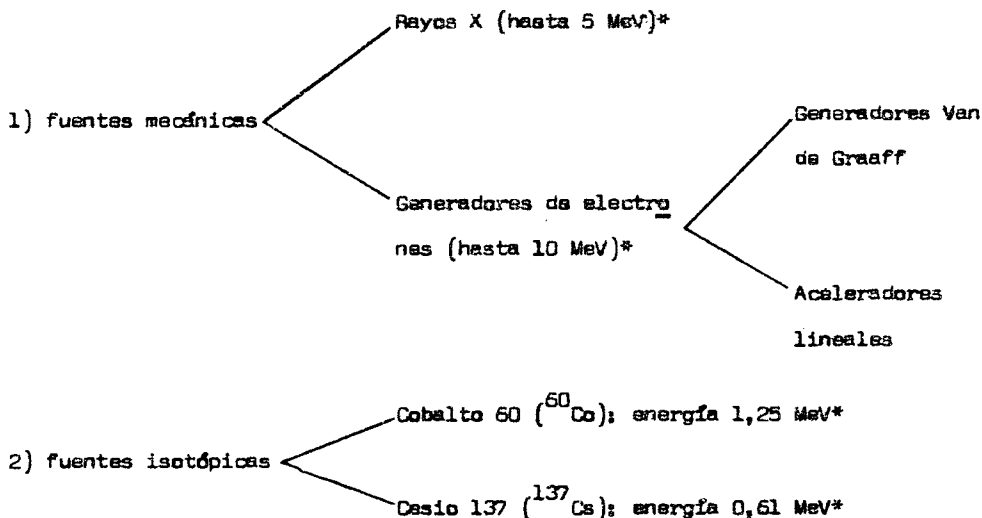
3) Dosis altas: Es la Radapertización (1/5 Mrad). Aquí se obtiene la esterilidad absoluta.

Con estas dosis se destruye el *Clostridium botulinum* en forma de spora. A este nivel de irradiación se alteran algunas propiedades organolépticas y nutritivas; para evitar esto hay dos caminos:

- a) utilizar antibióticos en el tratamiento, por lo tanto es necesario suministrar dosis más bajas al aplicar este método combinado: antibióticos + irradiación.
- b) Emplear algunos aditivos químicos para reducir la alteración de las características organolépticas como así también la utilización de carbón activado en el tratamiento.

V - FUENTES AUTORIZADAS PARA IRRADIAR ALIMENTOS

El Organismo Internacional de Energía Atómica (O.I.E.A), la Organización para la Agricultura y la Alimentación (F.A.O) y la Organización Mundial de la Salud (O.M.S), por medio de sus representantes reunidos en un comité mixto han autorizado las siguientes fuentes de energía para ser utilizadas en la radiopreservación de alimentos;



Los periodos de semidesintegración son: para el ^{60}Co de 5,2 años lo que obliga a una reposición anual del 10 %) y para el ^{137}Cs de 28 años.

* 1 MeV equivale a un millón de electrón - volts.

VI - PLANTAS PARA IRRADIAR ALIMENTOS

Existen varias plantas destinadas al tratamiento de alimentos por radiaciones ionizantes, las que son propiedad de Universidades, laboratorios, organismos estatales y empresas del sector privado.

La mayoría de estas plantas poseen fuentes isotópicas de ^{60}Co o ^{137}Cs las primeras se presentan como barras o alambres helicoidales enroscados, incluidos en capuchones dobles de acero inoxidable 3.16 para evitar (o reducir) la contaminación. Las fuentes de ^{137}Cs están constituidas por píldoras de cloruro de cesio alojadas en cápsulas de acero inoxidable. (2)

Las fuentes isotópicas están colocadas en portafuentes de acero inoxidable, introducidas en piletas de tamaño y geometría adecuadas a su actividad, construidas del mismo material, conteniendo agua desmineralizada que actúa como blindaje.

Durante el período de irradiación, por medio de un sistema eléctrico comandado por el operador de la planta desde una consola, se extrae el portafuentes (con las fuentes) de la pileta y se efectúa la irradiación. En ese momento actúan las paredes del recinto, construidas con hormigón armado de más de un metro de espesor, como blindaje sólido (5). También es utilizado el plomo como blindaje sólido en determinados casos (puertas). En algunas plantas de irradiación los operarios colocan los productos a tratar en el interior de containers, los que son descendidos hasta la altura de las fuentes en el interior de la pileta para su procesamiento. El primero de estos dos sistemas descriptos es el más conveniente.

En general las plantas de irradiación tienen un sistema de transporte desde el exterior.

También existen "Irradiadores Móviles" que son transportados en camiones o barcos diseñados para realizar irradiaciones en el lugar de la cosecha o procesar productos marinos en la zona de la pesca: en Noruega hay buques pesqueros con irradiadores móviles a bordo. (3)

Otras plantas de irradiación están equipadas con fuentes mecánicas (Rayos X o Aceleradores de electrones) y tienen algunas características similares a las que operan con fuentes isotópicas.

Es importante recordar que por sus propiedades, las plantas de irradiación no aumentan la contaminación ambiental y las equipadas con fuentes isotópicas pueden ser utilizadas sin interrupción, ya que los radioisótopos liberan energía constantemente.

VII - COSTOS DE IRRADIACIÓN:

Los costos de operación de las plantas para la radiopreservación de alimentos, son más bajos que los ocasionados por las plantas donde se porcasan alimentos por los sistemas convencionales de conservación. Los valores más elevados se deben a las fuentes de irradiación, al blindaje y al equipo de operación remoto. Las plantas que están equipadas con fuentes de ^{60}Co o ^{137}Cs tienen el mismo costo total; las dotadas con equipos de Rayos X o aceleradores son menos rentables.

Todas las plantas de irradiación son controladas por el Organismo gubernamental correspondiente o sea por la Comisión de Energía Atómica de los países que la poseen.

Los costos de irradiación dependen también, del tipo de fuente y del número de horas de la planta en operación por año. En muchos casos se necesitan dosis altas para conservar alimentos por algunos años; en ese caso se eleva el costo final de los productos, pero ningún método de conservación convencional es capaz de lograr el grado óptimo de preservación de algunos alimentos como el método que se describe.

Como se ha visto, desde el punto de vista tecnológico es factible tratar determinados grupos de alimentos por radiaciones ionizantes, método que pueda sustituir en algunos casos a los sistemas convencionales de preservación.

Sin embargo, no puede ser encarada una aplicación práctica si el método no es económicamente rentable, para poder recuperar la inversión a corto o mediano plazo.

Se han realizado una gran cantidad de trabajos basados en la factibilidad económica de este tratamiento. (24)

Seguidamente se citará el caso de una planta equipada con un acelerador de electrones operada 2.000 hs./año, destinada a la desinfectación de granos;

RENDIMIENTO	COSTOS (por kg.)	
50 Ton/año	0,2	centavos de dólar
500 Ton/año	0,04	centavos de dólar
2500 Ton/año	0,013	centavos de dólar

VIII - CALIDAD DE LOS ALIMENTOS A IRRADIAR

Es muy importante tener en cuenta el estado inicial de contaminación en los alimentos, ya que ningún método reducirá las toxinas formadas y todos fracasarán si el número de microorganismos es elevado; la irradiación en ningún caso debe ser sustitutiva de la higiene. Además, la distinta radioresistencia de los microorganismos hace selectiva la aplicación de este tratamiento.

IX - ENVASADO DE LOS ALIMENTOS IRRADIADOS

El envasado es uno de los factores importantes que se debe tener en cuenta al tratar alimentos, con radiación gamma, a los que se le debe alterar la población de microorganismos. Como sabemos, las radiaciones ionizantes no tienen acción residual, por lo tanto si el envase es deficiente se corre el riesgo de la recontaminación post-irradiación.

Como primera medida, deben adoptarse métodos de manipuleo que reduzcan al mínimo el deterioro físico, emplear sistemas de refrigeración adecuados y agua no contaminada; para ello es necesario realizar un control periódico de los equipos utilizados.(6)

La radiopreservación es el único método que puede ser aplicado a alimentos incluidos en cualquier tipo de envases: papel, plástico, vidrio, cartón, metal, calofón, madera. Algunos de estos no soportan tratamientos térmicos; son los que tienen menos de 0,08 mm de espesor.

Los envases metálicos que mejor toleran la irradiación son los que no tienen en su composición zinc. La hojalata (estaño - acero - estaño) resulta ser uno de los mejores materiales para almacenar alimentos irradiados por múltiples razones: los barnices utilizados para recubrir el interior de estos envases y las pinturas empleadas para la identificación de los productos, no modifican sus propiedades después del tratamiento por irradiación. Además, la hojalata posee propiedades físicas que impiden la entrada de microorganismos; ofrece, también, gran resistencia al manipuleo, al oxígeno, a las altas temperaturas y al nitrógeno líquido.(6)

Ultimamente se ha comprobado que algunos plásticos pueden ser usados como envase de alimentos tratados con este método.

En el caso de los envases de vidrio, la irradiación produce electrones libres que conducen al cambio de color: amarronamiento (al calentar esos envases recobran su transparencia original).

X - ETIQUETADO DE LOS ALIMENTOS IRRADIADOS

Los alimentos tratados con radiaciones ionizantes deben distinguirse por su rótulo, de los tratados con sistemas convencionales, para , entre otras cosas, brindarle a los consumidores la posibilidad de elección. (2)

En sus etiquetas constarán las siguientes indicaciones: país de origen, fecha de irradiación, tipo de tratamiento (radurizado, readaptizado o radicado), indicaciones sobre la temperatura de almacenamiento, dosis suministrada, tipo de fuente utilizada y aditivos agregados.

XI - ALMACENAMIENTO DE ALIMENTOS IRRADIADOS

Según el tipo de irradiación suministrada a los alimentos, será el almacenamiento requerido; esto es, si se ha radurizado o radicado debe ser almacenado a no más de 4° C y si fue readaptizado, o sea esterilizado por radiaciones no es importante la temperatura de preservación. (6)

Uno de los principales parámetros para determinar la calidad de los productos irradiados, es la determinación y localización de efectos biológicos no favorables de las sustancias formadas durante el tratamiento, en el período de almacenaje.

Al utilizar altas dosis de radiación gamma, se observa la degradación de algunos nutrientes (descomposición y oxidación), apareciendo peróxidos e hidropéroxidos, polimerización de ácidos grasos y otras sustancias biológicamente activas. El análisis cromatográfico de los compuestos químicos volátiles en carnes y grasas de origen animal irradiadas y controles, ha revelado que varios hidrocarburos (algunos de actividad biológica) pueden ser encontrados en cantidades apreciables en las muestras tratadas (Merritt, 1966).

En algunos productos irradiados secos, como la leche en polvo o el almidón, se pueden detectar sustancias radiolíticas y radicales libres largo tiempo después del tratamiento.

Si bien han sido detectadas pérdidas de nutrientes luego del tratamiento con rayos gamma, estas no son significativamente mayores que las producidas por otros procesos. Entonces, lo fundamental es demostrar que como resultado del tratamiento no se forman en los alimentos compuestos tóxicos o carcinogénicos.

XII - GRUPOS DE ALIMENTOS

1) Frutas:

Generalmente son recolectadas verdes para que lleguen aptas a los mercados de expendio. Las grandes Plantas dedicadas a la conservación de frutas y hortalizas utilizan "atmósfera controlada"; por medio de generadores automáticos se reemplaza un alto porcentaje del oxígeno que se encuentra en el aire del interior de las cámaras de almacenamiento, por anhídrido carbónico; así se neutralizan los sistemas respiratorios de los vegetales, logrando retrasar la maduración. Actualmente también se utiliza el nitrógeno líquido o el freón para congelar rápidamente a los productos frutihortícolas. Sin embargo, todavía estos sistemas resultan antieconómicos.(2)

Algunas frutas, sobre todo las de origen tropical y subtropical, maduran rápidamente planteando problemas de conservación.

Muchos autores han demostrado que la utilización de radiaciones ionizantes puede ser la solución de estos problemas; en Tailandia se prolongó la vida útil de mangos irradiados con una dosis de 40 Krad., conservándolos a 21°C durante 36 días, o sea dos semanas que dejaron de serlo los no tratados.

(1) En Hawaii, las papayas irradiadas con 50 Krad., fueron aptas para el consumo humano hasta diez días después que los controles no irradiados.

Diversos investigadores de varios países coinciden en que una dosis de 200 Krad. es suficiente para prevenir el desarrollo de mohos en frutillas conservadas en frío, durante más de 20 días.(25,26,27,36)

Los limones irradiados verdes con dosis no mayores a los 160 Krad., mantienen sus características nutritivas y organolépticas durante cinco meses, conservados a 8°C. (28)

2) Verduras:

Las papas irradiadas con una dosis de 10 Krad. pueden ser consumidas hasta un año después del tratamiento sin que se haya desarrollado el brote, por alteración enzimática.(29) Estos tubérculos irradiados son consumidos en varios países entre los cuales citaremos a la URSS (desde 1958), Japón, Israel, Holanda, E.E.U.U, Canadá. (1)

También se ha logrado resultados promisorios en remolachas, batatas, pimientos, zanahorias y zapallos. (3)

En el caso de la cebolla los resultados obtenidos son halagüeños, pero se espera completar los estudios de alimentación en animales, ya que el producto no es bien tolerado por éstos, provocando hemólisis y anemia al suministrarle cebollas irradiadas y controles sin tratar. (7)

Tampoco se ha arribado a una conclusión terminante con respecto a los tomates frescos irradiados, pues mientras algunos investigadores sostienen que con dosis de 200/400 Kreds. pueden llegar a conservarse en óptimas condiciones de consumo durante 35 días (303132) otros autores comprobaron que este método de conservación no es recomendable para aplicar a estas hortalizas. (33,34).

Puede encontrarse la Fasciola hepática en el berro y la lechuga y el Ascaris lumbricioides en otros vegetales frescos, que después de la ingesta de éstos alimentos portadores, habitarán en el hígado y el intestino del huésped.

Ambos gusanos son desnaturalizados al irradiar a estos alimentos con dosis inferiores a los 100 Kreds. (6)

3) Granos:

El trigo, el arroz, el maíz y el mijo son los granos más consumidos en el mundo. Las pérdidas calculadas en millones de toneladas por año (corresponden al 35 % de lo cultivado) se deben fundamentalmente a sequías inundaciones y plagas con las consiguientes pérdidas de fertilidad de los suelos, los grandes perjuicios económicos, al desgaste de equipos, etc.

Los granos también pueden ser sometidos a las radiaciones ionizantes para destruir uno de los agentes que ocasionan pérdidas: los insectos.

Es importante que estos productos sean almacenados en silos herméticamente cerrados y en óptimas condiciones de higiene después del tratamiento con radiación gamma, pues esta al no tener acción residual no sería efectiva si no se tomaran esas precauciones.

Los coleópteros (gorgojos y escarabajos) y los lepidópteros (polillas) pueden atacar los granos y sus subproductos; estos insectos son esterilizados con dosis comprendidas entre 15 y 50 Kreds., lográndose la mortalidad con dosis superiores a los 300 Kreds.

Se estudiaron los efectos de la alimentación con harina de trigo irradiado (hasta 1,5 Mrads.) sobre animales de experimentación. Los resultados ob-

tenidos oscilaron entre los límites normales, con excepción de la formula leucocitaria que mostró una alteración en la relación linfocitos-neutrófilos en los animales alimentados con harina irradiada con altas dosis (más de 1,0 Mrads.) (4)

Las radiaciones ionizantes tienen dos ventajas sobre los pesticidas (productos químicos utilizados tradicionalmente para la desinsectación);

- a) es más económico el uso de radiaciones ionizantes que la utilización de metodologías convencionales.
- b) los insectos no desarrollan defensas contra la irradiación, pero sí contra los agentes químicos utilizados para desinsectar.

En URSS, E.E.U.U y Canadá se consumen harinas irradiadas con 30 Krad.

4) Carnes:

La vida de almacenaje de los cortes de carne es muy corta, sobre todo si tenemos en cuenta que en nuestro país se los encuentra generalmente en carnicerías, permaneciendo al aire libre y no refrigerados durante el tiempo de expendio, que en estas condiciones no supera los tres días.

Debido a las características de estos productos se pueden localizar en la superficie microorganismos psicrófilos (*Pseudomonas* y *Achromobacterias*), que al multiplicarse aceleran el exudado de la carne.

También aparecen problemas cuando la falta de oxígeno (al utilizar envases herméticos) produce decoloración, y cuando los animales son sacrificados en un momento indebido, se obtendrán cortes de dureza pronunciada.

En el caso de las carnes, la utilización de radiaciones ionizantes para su preservación aporta resultados interesantes. Desde sus comienzos se tuvo que trabajar intensamente para evitar las alteraciones en gusto y olor, las que según los autores se deben a la aparición de compuestos químicos a partir de la influencia de la radiación gamma sobre proteínas y lípidos.(8-9)

Se sabe que el metional, el 1-nonanal y el fenil-acetaldehído presentan en una relación 20:2:1 respectivamente, serían los responsables del olor típico de la carne de vaca irradiada; este olor recuerda al del tostado por calor. (4)

Quando los cortes de carne son irradiados a temperaturas de subcongele-

miento (-30°/-80°C) no aparecen los sabores característicos, por lo tanto se piensa que ellos no se deben a la influencia directa de la irradiación sino a la acción indirecta de los radicales libres; la disminución de temperatura elimina la fase líquida, así se inmovilizan los radicales libres evitando las interacciones de estos con los constituyentes responsables del sabor de las carnes.(4)

Las carnes irradiadas (jamón) requieren dosis de irradiación más bajas pues la sal inhibe el crecimiento del *Clostridium botulinum*.

La carne de vaca irradiada a -30°C, con una dosis de 4,5 Mrads, se mantiene en perfectas condiciones de comestibilidad durante cuatro o cinco años, conservada a temperatura ambiente e incluida en un envase de hojalata herméticamente cerrado. (3)

Las carnes preparadas con especias irradiadas necesitan menos tiempo de cocción que las que lo son con condimentos sin tratar con este método.

En el caso de las carnes de las aves, se debe considerar la higiene desde su preparación, ya que podemos encontrar *Salmonellas* en el tracto digestivo de las mismas y durante su evisceración es posible el paso de éstas a la carne. Las *Salmonellas* se controlan con una dosis del orden de 600 Krad. (En este caso la carne se irradia congelada y se mantiene en ese estado hasta su consumo).(3)

Las *Pseudomonas* y *Achromobacter* (microorganismos que habitan en las carnes) se desnaturalizan con 200 Krad.

El pavo preservado en latas herméticamente cerradas e irradiado con una dosis de 4,5 Mrads., puede ser ingerido hasta tres años después del tratamiento.

5) Pescados y productos marinos;

En muchos países el pescado es parte importante de la dieta de sus pobladores. Pero este alimento tiene una vida de comercialización muy corta, por lo tanto cualquier método que prolongue su comestibilidad es de gran valor. Los productos marinos frescos, después de su captura deben ser conservados en hielo granizado y estar mantenidos a bajas temperaturas.

En un primer trabajo realizado entre las Comisiones de Energía Atómica de Islandia, de E.E.U.U y el OIEA se demostró que los pescados mantenidos a 0/1° C e irradiados con una dosis de 200 Krad, se conservaron aptos para el consumo durante 17 días.(1) Se desarrollaron gran cantidad de trabajos sobre conservación de pescado en muchos países del mundo.(10; 11; 12; 13; 14)

Todavía el mercado internacional se abastece con productos marinos congelados, pese a los óptimos resultados obtenidos mediante las radiaciones ionizantes para su conservación.

En URSS se ha radapertizado pescado precocido, envasado al vacío, con resultados alentadores. Estos productos irradiados pueden ser preservados durante un período superior a los 30 meses sin refrigeración.(3; 4)

En el caso de las langostas cocidas (para prevenir el ennegrecimiento) e irradiadas, se ha logrado prolongar su vida de comestibilidad ocho veces. Los langostinos se mantuvieron aptos para el consumo durante un mes y medio, conservados a 1°C de temperatura después de la irradiación.

Todos estos productos deben estar envasados en recipientes herméticos para prevenir la reinfeción después de haber sido tratados.

También pueden encontrarse parásitos en los peces (6); dos de los más comunes son el *Clonorchis sinensis* (lombriz hepática) y el *Diphylllobothrium latum* que produce la teniasis en los peces. La conducta de estos gusanos también puede ser alterada al aplicar radiaciones ionizantes. En el arenque se puede encontrar la *Anisakis marina* que habita en su intestino la que puede ser desnaturalizada por acción de la irradiación.

Los alimentos de origen marino, como así también las harinas de pescado (15), son una excelente fuente de proteínas (poseen 19 aminoácidos, incluyendo todos los esenciales) y debieran ser aprovechados por los habitantes de los países en vías de desarrollo, fundamentalmente.

6) Forrajes:

Merece una consideración especial lo que ocurre con la irradiación del forraje a nivel mundial, ya que se estima que son tratadas con radiaciones ionizantes aproximadamente 700 toneladas por año y existen muchas posibilidades de incrementar esta cantidad en un futuro inmediato.(3)

XIII - EFECTO DE LA IRRADIACION EN EL VALOR NUTRITIVO DE LOS ALIMENTOS

Aunque la irradiación no produce radioactividad, es una forma de energía y como otros procesos causará cambios físico-químicos y otras alteraciones en los alimentos sometidos a este tratamiento. Es conocido que las radiaciones ionizantes pueden producir cambios en los componentes nutricionales básicos como

vitaminas, proteínas, enzimas, etc; estas alteraciones están correlacionadas con el nivel de dosis aplicada.

1) Vitaminas:

Las vitaminas son importantes microconstituyentes de los alimentos; muchas de ellas son alteradas por las dosis bajas de irradiación.

La vitamina C (ácido ascórbico), soluble en agua es la más lábil a las irradiaciones, transformándose en ácido dehidroascórbico y otros productos. Reacciona rápidamente con radicales libres del agua radiolizada como un agente para reducir ciertos efectos indirectos de las radiaciones, como los cambios de sabor, por ejemplo.

Las vitaminas B₁ (tiamina), B₂ (riboflavina), B₃ (ácido pantoténico) B₆ (piridoxina) y el ácido fólico, todos pertenecientes al complejo B o hidrosolubles, son igualmente sensibles a las radiaciones (6). La niacina es bastante insensible a la radiación.

Las vitaminas A (axeroftol) y B (calciferol) y E (tocoferol), son también radiosensibles; la vitamina K (filoquinona) es más resistente a la irradiación que las anteriores. Si la vitamina E es irradiada en ambiente nitrogenado, es tan resistente como la filoquinona.

Tanto las vitaminas solubles en agua como las liposolubles, es importante en su radiolisis considerar el campo en el cual actúan.

En algunos casos la cantidad de vitamina existente en un producto irradiado es mayor que la encontrada en los productos esterilizados por calor (como ocurre con la vitamina B)(4). Debemos destacar que durante la cocción de alimentos frescos se sufre una pérdida del 75 % de nutrientes esenciales (2). Los alimentos irradiados deben utilizarse en proporción adecuada con otro alimento para asegurar los requerimientos vitamínicos del organismo.

2) Proteínas:

Estas complejas sustancias cuaternarias, necesarias para la vida, se hallan en los alimentos vegetales y animales, teniendo éstas últimas mayor capacidad nutricional que las primeras, ya que las proteínas vegetales carecen de algunos aminoácidos esenciales. Se han realizado gran cantidad de trabajos para determinar la acción de las radiaciones ionizantes en aminoácidos y proteínas (4).

En el caso de algunos aminoácidos específicos se ha revelado la formación de otros productos como aminas y dióxido de carbono durante y después del tratamiento por radiaciones ionizantes.

Según algunos autores, la irradiación de proteínas con altas dosis en medio acuoso puede llevar a la formación de radicales libres por breves períodos de tiempo; es por eso que se sugiere aplicar este tratamiento cuando los alimentos están congelados o deshidratados. Además la alteración proteica depende de la concentración, de la cantidad de oxígeno, de la temperatura y de la presencia de otras sustancias en el medio, como así también de la naturaleza de las proteínas.

La influencia de la radiación gamma en la albúmina de los alimentos produce la separación de las cadenas laterales y grupos finales de esas moléculas. Los aminoácidos más sensibles son los que contienen cadenas laterales fisiónables o sulfuros (Hill 1964). Después de la irradiación de la cistina y la metionina aparecen algunos sulfuros espaciales (6).

Algunas proteínas y aminoácidos se desorganizan encontrándose desdoblamiento molecular, coagulación, rompimiento molecular, y separación de aminoácidos, compuestos olorosos y amoníaco. (Silaev, 1962; Palmin, 1966)

3) Enzimas:

Las enzimas son moléculas proteicas de gran tamaño con propiedades catalíticas y constituyentes importantes de tejidos biológicos y por lo tanto de alimentos.

Los efectos de las radiaciones ionizantes sobre los distintos tipos de enzimas son muy similares a los de las proteínas, pero es más fácil detectarlos en las primeras por sus características propias, sobre todo si están en medio acuoso (4). El medio ambiente en el cual actúan las enzimas es muy importante por cuanto más complejo es (sustancias orgánicas, sales minerales, etc), menos radiosensibles serán las mismas por estar más protegidas. La radiosensibilidad de las enzimas también está relacionada con la temperatura, el pH y el contenido de oxígeno del medio.

En algunos casos, después de la irradiación, se observa una disminución gradual de la actividad enzimática, debido a la acción directa de la irradiación o a una acción de los productos que están en el medio sobre la enzima.

Se necesitan aplicar dosis altas de irradiación (más de 5.0 Mrads) para inactivar la mayoría de las enzimas, sobre todo si están en medio seco. Algunas, sin embargo, pueden ser alteradas con dosis bajas (10 Krads.), como la citocromoxidasa (es la enzima transportadora del oxígeno en las papas). Otras, mantienen su actividad después de haber recibido 40.0 Mrads. Las enzimas no alteradas o poco alteradas durante el tratamiento irradiatorio, a menudo se activan en alimentos después del proceso. Como un ejemplo podemos citar el caso del tratamiento con Adrenalina inyectada a los animales vivos en los mataderos, para reducir la actividad enzimática que se incrementa en esa carne después de la irradiación.(2)

Habitualmente en la irradiación de alimentos que tienen enzimas muy radioresistentes se emplea un proceso combinado: calor + irradiación. Se sabe que la exposición a una temperatura de 71°C durante unos minutos es bastante efectiva si la combinamos con radiaciones.

4) Lípidos:

Son productos naturales compuestos esencialmente por ácidos grasos; las grasas existen en todos los organismos y constituyen un grupo importante en los alimentos. Todas ellas son extremadamente sensibles a las radiaciones las que producen rupturas de sus ligaduras moleculares, formándose radicales libres que combinados con el oxígeno forman peróxidos y hidroperóxidos, alterando el olor (1).

Además según la dosis de irradiación, el desdoblamiento de los lípidos forma largas cadenas de ácidos grasos, lo que conduce finalmente a la formación de sustancias tóxicas como alcanos y alquenos, además pueden polimerizarse los ácidos grasos (Frumkin - Dozorets 1965).

El aceite de soja irradiado con una dosis alta se desnaturaliza, concentrando peróxidos e hidroperóxidos y destrucción del tocoferol (vitamina E) (6).

5) Glúcidos:

Son compuestos orgánicos de carbono, que contienen hidrógeno y oxígeno en proporción 2:1. Los carbohidratos simples, como la glucosa en presencia de oxígeno responden a la radiación llegando a la oxidación y a la fragmentación dependiendo de la naturaleza del azúcar.

Los oligosacáridos irradiados, forman monosacáridos y otros productos similares a los obtenidos por la irradiación de azúcares simples. La irradiación de los polisacáridos (como el almidón y la celulosa) produce degradación originando glucosa, dextrosa, etc. (1). Tal vez por esta razón los alimentos vegetales se ablandan por irradiación.

Las pectinas, mezcla de varios carbohidratos encontrados en tejidos vegetales, también despolimerizan por acción de las radiaciones ionizantes. Los productos de desintegración de los glúcidos atacan la división celular y las estructuras hereditarias; pocas de esas sustancias son químicamente conocidas, aunque algunas de ellas han sido determinadas cromatográficamente.

6) Ácidos nucleicos:

Son polinucleótidos. Se conocen dos tipos de ácidos nucleicos: el ADN (en el núcleo) y el ARN (en el núcleo y el citoplasma celular).

Sus funciones son llevar informaciones genéticas y conducir los procesos biológicos fundamentales en las células.

Los ácidos nucleicos son sensibles a la irradiación; los ribosomas en la célula, son particularmente sensibles a los productos formados por acción de las radiaciones en el citoplasma. (16)

7) Agua:

Constituye el 70 y el 95 % de los organismos.

Las moléculas de agua son alteradas al suministrar dosis altas de radiaciones ionizantes a los alimentos, produciendo radicales muy reactivos oxidantes y reductores, respectivamente. Estos radicales pueden reaccionar entre sí, con el oxígeno del agua y con moléculas e iones orgánicos e inorgánicos que puedan estar disueltos o suspendidos en el agua. Así dos radicales oxidrilo al combinarse forman el peróxido de hidrógeno que es un poderoso agente oxidante y un veneno biológico (2).

Formación de radicales libres:

Quando un alimento es sometido a las radiaciones ionizantes, éstas chocan con sus moléculas y átomos provocando la ruptura de los enlaces químicos conduciendo a la aparición de radicales libres que poseen un electrón impar muy inestable; por lo tanto tienen una gran tendencia a reaccionar entre sí y con otras moléculas para encontrar parejas a electrones que no las poseen y

alcanzar, así, su estabilidad. Existen dos tentativas para limitar la formación de radicales libres en los alimentos irradiados:

a) Irradiar en estado congelado: los radicales libres se producen aún en los alimentos congelados, aunque posiblemente en menor grado; en este estado, se obstaculiza la difusión de los radicales libres y su migración a los componentes del alimento que se encuentran más lejos del sitio de su producción.

b) Introducción de inhibidores de los radicales libres: El ácido ascórbico, por ejemplo, tiene gran afinidad por los radicales libres reaccionando con éstos y manteniendo la estabilidad del alimento en cuestión. Empero, aún no se ha encontrado la técnica para hacer penetrar los inhibidores efectiva y homogéneamente a toda la masa de alimentos sólidos (2).

Irradiar al vacío o en atmósfera inerte: Se ha estudiado profundamente durante largo tiempo, pues se pensaba que al apicar esta variación se lograrían resultados promisorios, ya que al eliminar el oxígeno del sistema se reduce al mínimo la formación de radicales peróxido e hidroperóxido y los componentes del alimento reciben algo de protección. Pero a lo largo de estas investigaciones aparecieron dos problemas insolubles:

- la falta de oxígeno y la reducción de estas reacciones favorecen el desarrollo de microorganismos.
- es prácticamente imposible quitar el aire de los sistemas alimenticios.

XIV - LOS CARACTERES ORGANOLEPTICOS EN LOS ALIMENTOS IRRADIADOS

Al igual que la mayoría de los animales, el hombre se ha ocupado del análisis de las características sensoriales desde sus orígenes para evitar todo tipo de riesgos. Hoy, el análisis de los caracteres organolépticos es uno de los pilares de la ciencia de la alimentación.

Para el desarrollo de estas investigaciones se utilizan paneles de personas que deben cumplir las siguientes funciones:

- a) establecer relaciones entre las características físico-químicas y las reacciones sensoriales.
- b) estudiar el efecto del proceso, estabilidad del almacenaje, las materias primas intervinientes, reducción de costos, etc,
- c) evaluar la calidad del producto,
- d) determinar la reacción de los consumidores.

Existen tres tipos de paneles:

- a) personas no entrenadas: se requieren alrededor de 80,
- b) personas semientrenadas: son necesarias aproximadamente 25,
- c) personas entrenadas: entre 3 y 9

En este último caso los integrantes tienen que reunir una serie de condiciones para realizar el trabajo (no fumar, ser objetivos, honestos, no tener problemas físicos, etc). (35)

Los tecnólogos alimentarios del mundo, dedican buena parte del tiempo de sus investigaciones al análisis de los caracteres organolépticos de los alimentos; resulta muy importante, por lo tanto, el estudio de los mismos en alimentos preservados por irradiación.

Existen trabajos interesantes realizados por el grupo de trabajo "Análisis Sensorial" de la Organización Internacional de Normalización (ISO) y por la Asociación Francesa de Normalización (AFNOR) (17).

Para realizar un buen desarrollo de la investigación de los caracteres organolépticos, se sugiere efectuar los análisis por dos paneles de testadores especialmente entrenados;

- 1) Panel de expertos: su función es distinguir las diferencias de muestras de un mismo alimento.
- 2) Panel de consumidores: este grupo se dedica a hacer mediciones de aceptación.

Hay varios sistemas para realizar las investigaciones de los caracteres organolépticos; uno de ellos es el del "triángulo de prueba" que está constituido por tres personas entrenadas para realizar determinaciones, utilizando escalas para cuantificar diferencias.

Es evidente la importancia del estudio de las características sensoriales en alimentos irradiados, pues algunos de ellos presentan alteraciones

después del tratamiento; tal vez los más susceptibles sean el gusto y el olor.

Algunos autores, consideran que las características organolépticas de los alimentos son alteradas por la degradación de componentes alimentarios radiosensibles (grasas, lipoproteínas) (18); otros sostienen que los cambios en el olor y el gusto se debe a la formación de gas ozono, formado por la acción de las radiaciones sobre el oxígeno (19).

Para reducir las alteraciones de los caracteres organolépticos, pueden utilizarse aditivos alimentarios como nitritos, nitratos, antibióticos, y adrenalina (según los casos) o realizar el tratamiento combinado (irradiación + frío, por ejemplo) para reducir la dosis.

No existe una constante en los efectos de las radiaciones sobre las características sensoriales, sino que dependen fundamentalmente de la dosis de radiación suministrada y del tipo de alimento. Los cambios de texture producidos en los alimentos irradiados, según algunos autores, son causados por los cambios sufridos al incrementarse la permeabilidad de las paredes celulares y por la radiosensibilidad de sus macromoléculas. Además las radiaciones ionizantes incrementan la actividad respiratoria en las células, produciendo significativos cambios en la textura.

También modifican los caracteres organolépticos de los alimentos las alteraciones que aparecen en el metabolismo de los minerales después del tratamiento por radiaciones, particularmente el metabolismo del calcio. Algunos estudios demostraron que al irradiar alimentos congelados, se alteran en menor grado las características organolépticas (6).

XV - ACCION DE LAS RADIACIONES IONIZANTES SOBRE LOS ORGANISMOS, MICROORGANISMOS Y TOXINAS QUE ALTERAN A LOS ALIMENTOS.

La presencia de un organismo vivo en un alimento puede afectar la aceptabilidad del mismo. El problema de la eliminación de los organismos, microorganismos y toxinas de los alimentos es común a todas las tecnologías de conservación.

Los contaminantes que tienen importancia en este aspecto son los virus, los insectos, las bacterias, los parásitos, etc.

1) Virus:

Son los organismos más simples que existen y dependen de un huésped, pueden atacar indistintamente alimentos de origen animal como vegetal. Por esto es importante en la conservación de los alimentos la inactivación de los virus.

El calor es un efectivo agente para la destrucción de los mismos, aunque los alimentos pueden recontaminarse en el manipuleo posterior al tratamiento térmico (1).

Determinados alimentos son transmisores del virus de la poliomielitis y el de la hepatitis infecciosa, en algunos casos es atribuible al manipuleo, pero en otros puede deberse a la contaminación del medio.

La presencia del virus en animales y vegetales que posteriormente serán utilizados en alimentación ocasiona serios problemas económicos. El virus que produce enfermedades bucales del ganado bovino fue inactivado con 4.0 Mrads. en seco, pero en solución se necesitaron 3.0 Mrads. para lograr el mismo fin (D.Massa, Departamento de Veterinaria de Roma). A su vez, estas altas dosis de radiación producen alteraciones en la estabilidad de la mayoría de los alimentos.

2) Insectos:

Como se ha visto anteriormente, los insectos son organismos que producen grandes pérdidas en agricultura. Además en muchos casos, los alimentos insectizados producen la contaminación de las distintas áreas de distribución.

Las radiaciones ionizantes también pueden aplicarse para la desinsectación provocando con dosis máximas de 50 Krad., la esterilidad (las células gonadales son muy sensibles a la radiación) y con 500 Krad se logra la muerte de la mayoría de los insectos (6).

Algunos efectos, ocasionados por el suministro de dosis intermedias de radiación a insectos son: abatimiento, longevidad reducida, espacio de tiempo mayor entre mudas, retraso en el desarrollo, reducción en la consumición de alimentos, inhibición de la respiración.

En las etapas juveniles de los insectos, las radiaciones producen esterilidad y si la larva proviene de un huevo irradiado no llega a ninfa. En el tratamiento por radiaciones es importante, en este caso, realizar el proceso continuado (sin interrupción) para obtener resultados positivos.

3) Bacterias:

Son microorganismos que se encuentran habitualmente en comidas que no fueron tratadas con ningún método; algunas de éstas son patógenas produciendo enfermedades en el hombre. Las bacterias, ocasionan en los alimentos cambios sensoriales debido a la liberación de sus toxinas.

La acción de las radiaciones ionizantes en las bacterias está condicionada a: la dosis, la especie, el número de bacterias, su composición química, el estado físico del medio y las condiciones de almacenaje post-irradiación. Cuando la cantidad de estos organismos se incrementa, aparecen los cambios en la calidad de los alimentos (4).

Según el tipo de bacterias y de alimentos, pueden ser desnaturalizadas las mismas, utilizando dosis de radicación, radurización o radapertización.

4) Animales parásitos:

Estos organismos pueden contaminar a los animales y al hombre, ya que hay formas que habitan en los alimentos. Pueden ser controlados utilizando radiaciones ionizantes, suministrando dosis comprendidas entre 15 Kreds. (para inhibir el desarrollo) y 750 Kreds. (para producir su muerte). Algunos de ellos son: *Trichinella spiralis* se encuentre en los cerdos y produce triquinosis; la *Tenina solium* y *T. saginata* pueden habitar en la carne del cerdo y vaca, respectivamente, originando la teniasis (2).

XVI - ACCION DE LOS ALIMENTOS IRRADIADOS EN LOS ORGANISMOS

La inestabilidad de los alimentos puede ser de origen biológico, químico o físico, produciendo desde una intoxicación hasta la muerte. Por esta razón es esencial la estabilidad alimentaria durante el almacenaje; algunos tienen estabilidad limitada (carnes, frutas) y otros estabilidad ilimitada (harinas) (3).

Deterioro biológico:

Es la contaminación de los alimentos producida por el desarrollo de organismos (bacterias, insectos) que encuentran humedad y temperatura adecuada en el huésped.

Deterioro químico:

Es la relación de los componentes alimentarios con otros agentes o con el medio ambiente produciendo el amarronamiento y el enranciamiento, por ejemplo. También los cambios químicos pueden ser producidos por la actividad enzimática.

Deterioro físico:

Se debe a fallas en el manipuleo, transporte, cosecha, etc. En los alimentos golpeados hay generalmente pérdida de humedad, la que cambia la textura del producto provocándose así el desarrollo de mohos.

En el caso de los alimentos irradiados, todavía no se conoce muy bien los inconvenientes que puede ocasionar su ingestión si éstos han sufrido algún tipo de deterioro. En este caso debemos tener en cuenta las siguientes consideraciones para la evaluación de la seguridad: Toxicológicas, Carcinogénicas, Mutagénicas y Citotóxicas, Nutricionales, Microbiológicas y Radiactividad inducida.

1) Consideraciones toxicológicas:

Los complicados procesos químicos que se presentan en los alimentos irradiados, no permiten la identificación concreta de los compuestos que pueden ser peligrosos para la salud; para ello se llevan a cabo complicados test en animales que consisten en incluir el 35 % de alimentos irradiados en la dieta total sólida durante el 10 % de su vida, realizándose estudios hematológicos, enzimáticos, histopatológicos, de longevidad, reproducción, lactancia.

El fin de estas pruebas es extrapolar estos resultados a los seres humanos aunque es posible que los efectos sean distintos.

2) Consideraciones carcinogénicas:

Estas pruebas también se realizan en animales y se comprobó que los que habían ingerido alimentos irradiados con fuentes no autorizadas eran proclives al cáncer.

3) Consideraciones mutagénicas y citopatológicas:

Se han comprobado mutaciones genéticas en *Drosophila* que ingerieron glucosa irradiada.

Este y otros trabajos demostrarían que los alimentos irradiados serían un inconveniente para los animales pequeños, pero en los mamíferos no se han encontrado efectos mutagénicos ni citotóxicos. La toxicidad es muy baja en alimentos irradiados, por lo tanto es muy difícil encontrarla experimentalmente.

Moatchen (18), en una reunión celebrada en Gran Bretaña para analizar los avances de la irradiación de los alimentos para su preservación en 1972, presentó un extenso trabajo realizado para estudiar los efectos citotóxicos y mutagénicos utilizando un microscopio electrónico para determinar ese tipo de alteraciones en células *in vitro* e *in vivo*, ratificando en la mayoría de los casos los resultados obtenidos por otros investigadores.

4) Consideraciones nutricionales:

La calidad nutricional de los alimentos irradiados puede ser establecida teniendo en cuenta:

- a) contenido vitamínico, estabilidad y disponibilidad fisiológica.
- b) Contenido de grasas y composición esencial de los ácidos grasos.
- c) Calidad proteica.
- d) Digestibilidad de las grasas, carbohidratos y proteínas componentes del alimento y la disponibilidad de la energía potencial biológica derivada de ellos.
- e) La calidad del alimento para que sea posible su comestibilidad.

Estos ítems son observados en el comportamiento general de los animales utilizados para el desarrollo de estas pruebas.

5) Consideraciones microbiológicas:

Las dosis de irradiación deben ser adecuadas para destruir todos los microorganismos causantes del deterioro de los alimentos. No es necesario suministrar dosis superiores a 5.0 Mrads., pues ésta es suficiente para inhibir la acción del *Clostridium botulinum* que es el microorganismo más resistente a la radiación.

6) Consideraciones de radiactividad inducida:

Como se dijo antes, las únicas fuentes autorizadas para la irradiación de alimentos son la ^{60}Co , ^{137}Cs y aceleradores de electrones hasta 10 MeV y las

fuentes de Rayos X hasta 5 MeV por tener niveles de energía inferiores a los necesarios para inducir radioactividad en alimentos.

XVII - RADIOACTIVIDAD INDUCIDA EN ALIMENTOS IRRADIADOS

Quando se irradian alimentos con fuentes no autorizadas, con aceleradores de alta energía (más de 12 MeV) se corre el riesgo de producir alteraciones en algunas de sus átomos transformándolos en "pequeñas fuentes de irradiación" que al ingerirlos se incorporan al organismo originándose serios desequilibrios fisiológicos; los primeros daños aparecen a nivel de pared de estómago e intestino delgado, debido al almacenamiento y absorción de los alimentos tratados inadecuadamente. Por lo tanto, el uso de las fuentes de irradiación gamma autorizadas para el tratamiento de alimentos no producen riesgos de radioactividad inducida, ya que en este caso es superior la radioactividad natural de los comestibles, que la recibida desde una fuente por éstos. La ausencia o presencia de radioactividad inducida en un alimento se puede verificar de dos formas: sobre una base teórica o prácticamente, utilizando sensibles detectores de radiactividad.

La activación máxima de los productos alimenticios cuando son irradiados con un acelerador de electrones de 10 MeV de energía es del orden de los 10^{-8} Ci/gr. de alimento para una dosis de 5 Mrads., considerandose a este valor como muy seguro. Esta dosis (5 Mrads.) se fijó como máxima para irradiar alimentos en una reunión donde se analizaron los programas de radiopreservación de alimentos en Montevideo (1968), donde estaban representadas la FAO, el OIEA, la OMS, la OEA y delegados de países miembros.

Los átomos radiactivos artificiales liberan neutrones que conducen a reacciones secundarias donde los átomos no radiactivos son activados. Algunos átomos radiactivos tienen vida corta y desaparecen a las horas o días como resultado de una desintegración natural; el nitrógeno (^{16}N) tiene una vida muy corta (7,4 segundos) pero el zinc (^{65}Zn) 245 días. Otros pueden permanecer activos más tiempo llegando a periodos de 31 meses como el sodio ($^{22/24}\text{Na}$) y el hierro (^{55}Fe).

Quando para realizar algunas pruebas se utilizaron aceleradores de electrones para irradiar alimentos con niveles de energía superiores a los 15 MeV aparecieron también $^{46/47/48}\text{Sc}$, ^{54}Mn , ^{32}P , $^{133\text{m}}\text{Xe}$, ^{84}Rb (radioelementos artificiales detectables)

(20,22). Se supone que algunas sustancias tóxicas son reversibles, pero todavía no se las conoce suficientemente.

Para realizar determinaciones de radioactividad inducida se aplica la siguiente fórmula:

$$R.I = \frac{e \times d \times 0,4}{\text{vida media del isotopo hijo}}$$

donde:

e: energía, expresada en MeV

d: dosis de radiación, expresada en Krads.

0,4: factor constante.

XVIII - EFECTOS DE LA IRRADIACION DE ALIMENTOS EN PROCESOS BIOLOGICOS

En experiencias in vitro se demostró que las manzanas irradiadas con 200 Krads se observa una ruptura de los cromosomas durante la división celular, los efectos de los extractos de plantas irradiadas durante la reproducción celular causa disturbios mitóticos; a algunos cultivos de leucocitos humanos se le agregó solución azucarada irradiada y hubo en éstos una disminución en la velocidad de la división celular y ruptura de cromosomas; los efectos de la irradiación directa en células son las fragmentaciones, rupturas y otras anomalías en los cromosomas y distintas zonas del citoplasma.

La mayoría de las alteraciones mencionadas aparecen al suministrar altas dosis de irradiación (superiores a los 10 Mrads.). La fertilidad de los animales se reduce y aparecen daños en los embriones cuando son alimentados con algunos alimentos irradiados.

. Durante el desarrollo de distintos trabajos se ha comprobado una reducción en la digestibilidad de alimentos tratados por este método. Las pruebas más importantes realizadas fueron en las que se utilizaron perros a los que se le suministró tocino 50 % irradiado y 50 % testigo; se comprobó que el primero permaneció más tiempo en el estómago que el tocino sin irradiar (1). Otras alteraciones por ingestión de algunos alimentos irradiados se manifiestan como un aumento de la actividad enzimática en los hepatocitos y hepatoblastos de los ratones.

Las ratas que fueron alimentadas adicionalmente con naranjas irradiadas con altas dosis sufrieron una reducción en la velocidad de crecimiento en la tercera generación, el mismo efecto se produjo al alimentar ratas con nueve componentes de una dieta mixta (alimentos irradiados y no irradiados) en la cuarta generación. Cuando fueron alimentadas ratas con productos irradiados con altas dosis se observó una detención en el crecimiento, alteraciones digestivas, gran actividad enzimática, se redujo la absorción de oxígeno, disminución del ritmo cardíaco, fluctuaciones en la temperatura del cuerpo, disminución de la actividad hepática, en la sensibilidad del sistema nervioso y se observó reducción de la resistencia a las enfermedades infecciosas. Además en los perros se comprobó un incremento en el peso del bazo y disfunciones en la glándula tiroides. (3)

XIX - ACEPTACION DE LOS CONSUMIDORES

En el desarrollo del tema podemos considerar dos aspectos:

1) Psicológico:

Es el hecho de la consumición por parte de la población de alimentos que fueron tratados por radiaciones ionizantes.

2) Alimentario:

Son las mejoras en retención de calidad que experimenta la mayoría de los alimentos irradiados. (6).

Fundamentalmente los consumidores deben saber que los alimentos irradiados, siguiendo requisitos que fueron citados al principio de este trabajo, no ocasionan problemas de salud.

En todo el mundo se han liberado más de diez alimentos tratados por este método al mercado, algunos de ellos son: harina, granos, papas, y otros tubérculos, pescados, carnes, pollo, huevos. Estos alimentos son de consumo habitual en URSS, Israel, Japón, E.E.U.U, Alemania, Gran Bretaña, España, Holanda y otros países del mundo.

En Uruguay (donde se hicieron estudios con papas irradiadas) (21) después de una campaña educativa realizada por los distintos medios de difusión,

las amas de casa preferían adquirir en los supermercados de Montevideo papas irradiadas y no las ya brotadas.

Hoy se trabaja en distintos centros de investigación del mundo para la liberación al mercado de gran cantidad de alimentos irradiados la que no es una tarea rápida ni fácil, pues se necesitan como mínimo tres años de análisis físicos, químicos, biológicos de los alimentos irradiados y durante ese lapso la realización de estudios fisiológicos, anatómicos, hematológicos, histológicos, etc. en los animales destinados para desarrollar esta tarea (1).

También es importante destacar el elevado costo económico que significa la realización de estos trabajos.

BIBLIOGRAFIA

- 1 - GORESLINE, H. Posibilidades de las radiaciones ionizantes para conservar alimentos. Food Irr., Vol. 2, set. 1973
- 2 - POTTER, N. La ciencia de los alimentos. Primera edición, 1973
- 3 - Datos obtenidos del IV Congreso Internacional de la Ciencia y Tecnología Alimentaria (Madrid, set. 1974)
- 4 - HERSCOVICH, M. Estudio de la acción radiotoxicológica del trigo irradiado en ratas. UBA. Facultad de Farmacia y Bioquímica, 1972. Bs. As.
- 5 - PAPADOPULOS, C. Planta de irradiación semi-industrial de Ezeiza. Informe CNEA 272, 1971
- 6 - Training manual on food irradiation technology and techniques. Technical reports series 114, FAO-IAEA, 1970
- 7 - MONSELISE, S y KAHAN, R. Preservación de frutas y verduras por irradiación. Proc. Panel, Viena 1966
- 8 - MERRIT, C. et al. Radiation preservation project progress reports. Nos 1-6 U.S. Army Natick Labs. Natick 1959-1961
- 9 - MERRIT, C. et al. Symposium of flavor chemistry. Detroit 1965
- 10 - RITACCO, M. Influencia del vacío en la radurización del filete de Merluccius merluccius hubsi. Informe CNEA 409, 1975
- 11 - MARIANO, E. y KAUPERT, N. Radurización del filete de merluza. Informe CNEA 360, 1973
- 12 - BROOKE, R y STEINBERG, M. Food technology, Champaign 187. 1964
- 13 - CONNORS, T. y STEIBERG, M. Food technology, Champaign 18. 1964
- 14 - CANN, D. et al. Apple. bact. Submitted. 1966
- 15 - GARCIA CABREJOS, J. y MALARET, A. La harina de nescado en Argentina. Informe técnico del Proyect de Desarrollo Pesquero. Public. 15. 1969
- 16 - MARIANO, E. Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes. Curso de dosimetría, CNEA
- 17 - Alimentaria. Revista de tecnología e higiene de los alimentos. enero-febrero 1974. España
- 18 - Food Irradiation. Vol. 3, junio 1974
- 19 - SPINELLI et al. Quality indices that can be used to asses irradiated sea foods. Technical conference on freshing and irradiation of fish. Madrid 1967

- 20 - DE LA SIERRA SERRANO, D. y CASAS MEDINA, F. Pruebas de comestibilidad en alimentos irradiados; separata del N° 82, año XVIII; 1974, I.E.N. España
- 21 - ORTIZ, P. et al. Irradiación de naranas: pruebas tecnológicas a escala piloto. CNEA. Uruguay 1973
- 22 - Food Irradiation; Vol. 5, N°3, 1965
- 23 - Manual de dosimetría; CNEA 1973
- 24 - Food Irradiation, Vol. 4, jun. 1975
- 25 - MILLS, P. Report on salicylic acid in strawberry juice. Association of Official Agricultural Chemists; Vol. 35, N° 3
- 26 - MAXIE, E. Effect of gamma irradiation on Shasta strawberries under marketing conditions; USAEC Report SAN-2001; Universidad de California 1963
- 27 - RITACCO, M. Radion preservación de frutillas (variedad Tioga); CNEA; (en desarrollo)
- 28 - RITACCO, M. Radion preservación de limones frescos; CNEA; (en desarrollo)
- 29 - PAHTSSA, J. et al. Aplicación de radiación gamma en la conservación de naranas; CNEA 310, 1972
- 30 - MATHUR, P. Effects of developmental stage at the time of gamma-irradiation and treatment with indolyl-3-acetic acid on the storage behaviour of tomatoes; International Journal of Applied Radiation and Isotopes; 1967, Vol. 13
- 31 - BARALDI, D. Effect of gamma irradiation on carotenoid synthesis and colour development in tomatoes. Comitato Nazionale Energia Nucleare; RT/BIO (72)36; Italia
- 32 - BURNS, E. Maturation changes in tomato fruits induced by radiation; Food Technology 6, 1957
- 33 - MAGGAUDA, G. et al. Irradiación de tomates en dos estadios de maduración; The International Journal of Applied Radiation and Isotopes; Vol. 27, N° 5/6; may/jun. 1976
- 34 - RITACCO, M. Radion preservación de tomates frescos; CNEA, (en prensa)
- 35 - RITACCO, M. Caracteres organolépticos: instrucciones para su evaluación (en prensa)
- 36 - Simposio de radion preservación de alimentos; Bombay, nov. 1972

