



9
2ej 01672

**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO**
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

**EFFECTO LETAL DE LA IRRADIACION GAMMA
SOBRE EL MATACESTODO DE LA Taenia
solium EN CARNE DE CERDO.**

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS VETERINARIAS
P R E S E N T A
JOSE FERNANDO NUÑEZ ESPINOSA



ASESORES:

M. V. Z. M. C. ALINE SCHUNEMANN DE ALUJA
Q. M. C. LAURO J. PEDRAZA CONTRERAS

MEXICO, D. F.

1991



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 está 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.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

CONTENIDO

Página

INTRODUCCION	1
REVISION BIBLIOGRAFICA	4
A. Panorama epidemiológico de la Taeniasis/Cisticercosis por <u>T. solium</u>	4
B. Diagnóstico de la cisticercosis porcina	7
C.1 Morfología y fisiología del metacéstodo de la <u>T. solium</u>	8
C.2 Composición bioquímica del líquido vesicular del metacéstodo de la <u>T. solium</u>	11
D. Métodos utilizados para destruir, o inactivar al metacéstodo de la <u>T. solium</u>	12
E.1 Aspectos generales de la radiación ionizante	12
E.2 Efectos de la radiación ionizante gamma en la materia	15
E.3 Cambios químicos debidos a la radiación ionizante	17
E.4 Efectos de la radiación ionizante gamma en los alimentos	19
E.4.1 Clasificación de los efectos según la dosis de radiación	21
E.4.2 Radiactividad en los alimentos	21
E.5 Dosimetría	22
E.6 Comestibilidad de los alimentos irradiados	23
E.7 Efectos de la radiación ionizante sobre parásitos helmintos y protozoarios	27
E.8 Efectos de la radiación ionizante sobre los componentes nutritivos principales de un alimento	31
E.8.1 Proteínas, aminoácidos y enzimas	31
E.8.2 Lípidos	35

	<u>Página</u>
E.8.3 Carbohidratos	37
E.9 Legislación	39
E.10 Objetivos e hipótesis	41
MATERIAL Y METODOS	42
RESULTADOS	53
DISCUSION	58
APENDICE	69
FIGURAS	70
CUADROS	78
LITERATURA CITADA	86

LISTA DE FIGURAS

<u>Figura</u>	<u>Página</u>
1. Evaginación <u>in vitro</u> (%) de metacéstodos no irradiados e irradiados con 5 kGy (Prueba 5).	70
2. Evaginación <u>in vitro</u> (%) de metacéstodos no irradiados e irradiados con 6 kGy (Prueba 9).	70
3. Evaginación <u>in vitro</u> (%) de metacéstodos no irradiados e irradiados con 6 kGy (Prueba 10).	71
4. Evaginación <u>in vitro</u> (%) de metacéstodos no irradiados e irradiados con 6.5 kGy (Pruebas 11 y 12).	71
5. Evaginación <u>in vitro</u> (%) de metacéstodos no irradiados e irradiados con 7 kGy (Prueba 14).	72
6. Evaginación <u>in vitro</u> (%) de metacéstodos no irradiados e irradiados con 7 kGy (Prueba 15).	72
7. Evaginación <u>in vitro</u> (%) de metacéstodos no irradiados e irradiados con 11.8 kGy (Prueba 22).	73
8. Evaginación <u>in vitro</u> (%) de metacéstodos no irradiados e irradiados con 7 kGy (Prueba 15).	73
9. Porcentaje promedio de metacéstodos (<u>T. solium</u>) evaginados no irradiados e irradiados con kilograys (kGy) diferentes, e incubados durante 12 h a 37°C.	74
9.a Curva de sobrevivencia a partir de la evaginación <u>in vitro</u> de los metacéstodos (<u>T. solium</u>) irradiados con dosis diferentes.	75
10. Taenias (<u>T. solium</u>) obtenidas de hamsters (<u>Mesocricetus auratus</u>) 10 días post-inoculación oral con metacéstodos extraídos de carne de cerdo infectada no irradiada.	76
11. Taenias (<u>T. solium</u>) obtenidas de hamsters (<u>Mesocricetus auratus</u>) 22 días post-inoculación oral con metacéstodos extraídos de carne de cerdo infectada no irradiada.	77

CuadroPágina

1. Evaginación de metacéstodos (<u>T. solium</u>) obtenidos de 22 cerdos, después de la irradiación con dosis diferentes.	78
2. Porcentaje promedio de evaginación <u>in vitro</u> de metacéstodos (<u>T. solium</u>) no irradiados e irradiados con dosis diferentes.	79
3. Análisis de regresión lineal simple del segmento de la curva de evaginación comprendido entre 4.9 y 6.0 kGy.	80
3.a Estimación del porcentaje de evaginación a diferentes dosis de radiación (P 0.01).	81
4. <u>Taenia solium</u> desarrolladas en hamsters inmunosuprimidos, inoculados por vía oral con metacéstodos no irradiados (control) e irradiados con 7.0 kGy (estudio).	82
4.1 Grupo estudio (IA) necropsiados a los 10 días post-infección.	82
4.2 Grupo control (IB) necropsiados a los 10 días post-infección.	82
4.3 Grupo estudio (II C) necropsiados a los 22 días post-infección.	83
4.4 Grupo control (II D) necropsiados a los 22 días post-infección.	83
5. Resultados de la prueba de infectividad en hamsters inmunosuprimidos inoculados, por vía oral con metacéstodos (<u>T. solium</u>) irradiados con 7.0 kGy y no irradiados.	84
6. Evaluación sensorial de carne de cerdo no irradiada e irradiada con 7.0 kGy, a partir de dos pruebas comparativas diferenciales.	85

EFFECTO LETAL DE LA IRRADIACION GAMMA SOBRE EL METACESTODO DE LA Taenia solium EN CARNE DE CERDO.

I. INTRODUCCION

La contaminación de alimentos (principalmente aquellos de origen animal) por microorganismos, particularmente bacterias patógenas no esporuladas y por parásitos, son problemas importantes de salud pública y causa de padecimientos en el hombre en todo el mundo (61). El informe de la Reunión del Comité de Expertos en Seguridad de Alimentos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (WHO), señala que "las enfermedades causadas por alimentos contaminados son quizá el problema de salud más difundido en el mundo contemporáneo y una causa importante de reducción en la productividad económica" (83).

Debido a la gran demanda de alimentos protéicos de costo accesible y a la imposición económica que resulta de la producción animal intensiva, el control de las enfermedades infecciosas de los animales ha sido más difícil (61). Los alimentos de origen animal son fuentes importantes de agentes biológicos causantes de enfermedad, aún a pesar de los esfuerzos encaminados a minimizar su transmisión a través de los canales; la Organización Mundial de la Salud considera que una manera de incrementar la disponibilidad de alimentos inócuos y contribuir a mejorar la salud primaria de los seres humanos, es por medio de la irradiación de alimentos (84).

La irradiación es un método físico de procesamiento de los alimentos, comparable con métodos tales como el tratamiento por

calor y la congelación (41). Consiste en la exposición de los alimentos durante un periodo de tiempo limitado a radiaciones que destruyen los microorganismos e insectos, o procesos vitales como la germinación. Ofrece dos beneficios principales para la salud y el bienestar del hombre: el primero es la destrucción de los gérmenes patógenos transmitidos por alimentos, haciéndolos más inócuos; el segundo es el económico, ya que prolonga la vida natural de los alimentos retardando su deterioro debido a la proliferación de microorganismos saprófitos, de insectos o a la germinación (41, 74).

En 1980, la conclusión a la que llegó el Comité Mixto de Expertos en Alimentos Irradiados de la FAO y la Organización Internacional de Energía Atómica (IAEA), fue que la irradiación de cualquier alimento con una dosis total media de 10 Kilogray (kGy) (*) no tiene problemas microbiológicos o nutricionales especiales, ni presenta riesgos toxicológicos, por lo que establecieron que los alimentos con esa dosis de radiación absorbida son inócuos (61). El Consejo Internacional del Comité de Microbiología e Higiene de los Alimentos de la Unión Internacional de Sociedades de Microbiología (ICFMH), concluyó que no había diferencias cualitativas entre los cambios inducidos por la radiación ionizante (gamma) y aquellos inducidos por los otros procesos (tratamiento por calor, la deshidratación al vacío o el congelamiento). Hasta el momento, no se cuenta con una tecnología que pueda garantizar que en alimentos frescos de origen animal particularmente en la carne de cerdo, no se encuentren parásitos

(*) El gray (Gy) es la unidad de dosis absorbida del Sistema Internacional (SI) y se define como la energía de un joule depositada por kilogramo de materia (J/kg); 1000 Gy son equivalentes a 1 kGy (74).

tales como el metacéstodo de la Taenia solium, quistes de Toxoplasma gondii, y larvas de Trichinella spiralis. La carne infectada es una gran amenaza para la salud pública. Es bien sabido el papel que juega este alimento en la epidemiología de tales enfermedades; por lo tanto, cualquier método fundamentado que contribuya a la descontaminación debe ser evaluado. Como uno de ellos, la irradiación se ha ensayado desde los años cincuenta (20), y los datos de investigaciones realizadas han mostrado que podría contribuir en forma importante a resolver algunos de los problemas de salud de origen alimentario (20, 61 y 83). Uno de los beneficios para la salud más inmediato al usar la irradiación de alimentos en México, es el tratamiento de canales porcinas para inactivar o aniquilar a los parásitos frecuentemente presentes en el cerdo.

Los objetivos de esta investigación, fueron determinar la dosis letal 100% de radiación gamma con cobalto-60 (^{60}Co) para el metacéstodo de la T. solium en la carne de cerdo, y evaluar a través de un análisis sensorial de la carne, los cambios organolépticos producidos por la irradiación y analizar si estos cambios no provocan su rechazo cuando es consumida por el hombre. Con base en estos resultados se podrá definir si el proceso de irradiación aplicado a las canales porcinas puede considerarse una medida de control efectiva que disminuya la incidencia de teniasis humana e indirectamente la frecuencia de cisticercosis, ya que interrumpe el ciclo biológico de este parásito.

A. Panorama Epidemiológico de la Taeniasis/Cisticercosis por I. solium.

La teniasis es una infección producida por el céstodo Taenia solium, el que se establece exclusivamente en el intestino delgado del hombre a nivel de yeyuno. La infección ocurre cuando se ingiere carne del hospedero intermediario (cerdo) insuficientemente cocida, que contiene metacéstodos vivos. El parásito adulto puede sobrevivir por varios años en el intestino del hospedero definitivo (hombre) en donde alcanza una longitud de hasta 8 m, produciendo huevos en cada segmento maduro (de 50 a 60 mil) (2, 6, 64).

La teniasis humana es difícil de detectar, ya que generalmente es asintomática; solo ocasionalmente se observan huevos del parásito al microscopio en exámenes coproparasitológicos y algunas veces se encuentran proglótidos grávidos de la tenia en las heces (2). De allí que el diagnóstico de la teniasis humana es difícil, máxime que los huevos de I. solium no se pueden diferenciar de los de I. saginata. Su importancia en epidemiología radica en que las heces con los huevos de este parásito contaminan tanto el agua como los alimentos (69) ingeridos por el ser humano, el cerdo y otros animales como el perro (54), ocasionándoles la cisticercosis (2, 6, 29).

Las larvas de I. solium tienen predilección por alojarse en el sistema nervioso central del hospedero intermediario causando la neurocisticercosis. En el ser humano ésta es una enfermedad que puede ser grave y es frecuente en muchos países en desarrollo de

América Latina, Asia y África. Tanto el ser humano como el cerdo adquieren la cisticercosis por la ingestión de huevos de la T. solium en alimentos o en agua contaminada (2,64). En personas portadoras del cestodo, la autoinfección puede darse por la vía ano-mano-boca (2). En contraste con lo que sucede en el cerdo, los seres humanos solo son hospederos intermediarios accidentales del metacéstodo de la T. solium ya que no contribuyen al mantenimiento del ciclo biológico del parásito.

Se estima que el 1% de todas las defunciones ocurridas en los hospitales generales de la ciudad de México se deben a cisticercosis y que el 25% de los diagnósticos de neoplasias intracraneales corresponden a la misma causa (2, 3); sin embargo, debe hacerse notar que la información no es muy completa y que los estudios sistematicos a nivel nacional son escasos (24). De 21,597 autopsias entre los años de 1946 y 1979, en individuos fallecidos en hospitales generales de México, se comprobó cisticercosis cerebral en 2.9% y se llegó a la conclusión de que cerca del 3% de la población general está afectada por la parasitosis, ya sea con manifestaciones clinicas o sin ellas (48,51). En el periodo comprendido entre principios de 1953 y fines de 1984, se practicaron 20,206 autopsias en la Unidad de Patología de la U.N.A.M. del Hospital General de México, de las cuales en 481 se había diagnosticado cisticercosis. De éstas se consideró que en 189 la cisticercosis era la enfermedad principal, porque directa o indirectamente fue la causa de la muerte. A partir de estos resultados se concluye que esta parasitosis

representó el 2.38% de las autopsias practicadas en el Hospital General de México (69,79). Woodhouse estima, en un estudio recopilativo que abarca 40 años, que el promedio de la neurocisticercosis humana es de 1.9% con un intervalo de 0.8 a 3.6% (82). De los tres estudios seroepidemiológicos realizados en México, se detectaron anticuerpos anticisticercos en el 1% de muestras en Chiapas (31), en el 3.2% en Oaxaca (38) y un 1% global en 18,417 muestras de suero colectadas en todo el país. En este último estudio se detectaron áreas geográficas en las que los individuos tenían frecuencias significativamente diferentes de anticuerpos anticisticercos entre sí (0 - .20, .21 - .40, .41 - .60 y .61 - 1.0 %). El área que incluye "el Bajío", tiene la más alta frecuencia; notablemente, ésta es una de las principales áreas productoras de cerdos en México (34) con la más alta frecuencia de cisticercosis porcina (5).

El costo del tratamiento de la neurocisticercosis humana implica grandes gastos por intervenciones quirúrgicas, hospitalización y días de trabajo perdidos. En México se ha estimado que el cuidado médico de un paciente con neurocisticercosis cuesta más de 5000 dólares (6).

La cisticercosis porcina es la enfermedad causada por la presencia del metacéstodo de la T. solium principalmente en los músculos esquelético y cardiaco, y en el sistema nervioso central (2).

En la India, Africa, México y varios países de América Latina prevalece la cisticercosis porcina (2, 70). En México, por medio

de los registros llevados en rastros controlados por la Secretaría de Salud se conoce el porcentaje promedio de cisticercosis porcina, la que entre 1980-1981 fue de 1.5% con un intervalo de 0 a 10% (5). Estas cifras no revelan la situación real, ya que todavía existe un elevado número de rastros clandestinos, en los que no se lleva a cabo inspección sanitaria y también por que muchos cerdos que se consumen son sacrificados en forma "casera", escapando así a cualquier medida de control sanitario (5, 9).

Las canales de cerdo infestadas deben ser decomisadas y el Reglamento de la Ley General de Salud correspondiente (71) establece que deben ser destruidas, lo que se traduce en grandes pérdidas económicas ya que solamente se recupera una parte del dinero invertido durante el ciclo productivo del animal. Las pérdidas económicas por el decomiso de canales porcinas infestadas con cisticercosis pueden ser considerables. En México, durante 1980, se decomisaron 264,000 canales porcinas por cisticercosis, y las pérdidas totales se estimaron en más de 43 millones de dólares (1).

B. Diagnóstico de la cisticercosis porcina.

La detección del metacéstodo por inspección de la lengua del cerdo vivo, es hasta el momento el único método práctico en uso para detectar a los animales parasitados, pero solo es efectiva en el 25% de los casos (9). Aunque cerdos infestados podrían ser detectados por métodos serológicos (32), ninguna prueba es usada

actualmente como diagnóstico de rutina ante-mortem.

El diagnóstico de la cisticercosis porcina actualmente se efectúa durante el examen post-mortem por medio de la inspección sanitaria en las canales en los mataderos y frigoríficos. El único método empleado para evitar la utilización de carne de puerco infectada es la inspección sanitaria basada en cortes en los músculos triceps y anconeos (11); sin embargo, este método no es muy eficiente y casos de infección de primer grado (1) (con un número relativamente pequeño de metacéstodos) pueden pasar desapercibidos; por otra parte, el criterio de decomiso, no es estricto y varía en diferentes rastros del país (9). López (1981), demostró que al practicar el corte de rutina en uso actualmente únicamente se detecta el 10% de las canales poco infectadas (49).

C.1 Morfología y Fisiología del metacéstodo de la I. solium.

El metacéstodo es una vesícula de forma oval que contiene líquido y el escólex armado, cuyo tamaño es como el de una cabeza de alfiler. Como parte del desarrollo, al cabo de una semana de haberse transformado en larva, el escólex se origina de un nodulito que entre los 20 y 30 días mide 1-4x0.8-3 mm, y ya se identifica como escólex con doble corona de ganchos. A los 40 - 50 días el metacéstodo mide 3-5.8x3-6.5 mm, el escólex está desarrollado y la larva es infectante, aunque todavía sigue creciendo. A las 10 semanas mide 6-8.5x3-6.5 mm, llegando al

(1) Al corte de músculos triceps y anconeos la presencia de un solo metacéstodo, representa la carne con primer grado de infección. Acevedo, H.A., comunicación personal 1989.

tamaño máximo entre los 100 y 120 días, midiendo 10x5 mm. Cuando está totalmente desarrollado, el metacéstodo consiste en una delgada vesícula llena de líquido en donde se encuentra invaginado el cuello replegado y el escólex. El escólex posee un roseto armado con una doble hilera de ganchos entre 22 y 32, y 4 ventosas.

La superficie que presenta el metacéstodo a su hospedero humano o porcino es un tegumento citoplásmico, sincicial y continuo en la superficie externa de la pared vesicular, excepto en el canal de entrada, con abundantes microvesículas; a través de esta superficie, obtiene sus nutrientes y excreta sus desechos. En congruencia con su función de absorción, la superficie externa del tegumento presenta proyecciones digitiformes designadas como microtricas, similares a las microvellosidades que constituyen los ribetes de cepillo en diversos epitelios de vertebrados e invertebrados. Por debajo del tegumento se encuentran varias capas de tejido muscular liso, así como las llamadas células subtegumentales. Estas células sintetizan activamente proteínas y otros componentes que posteriormente son transportados hacia el tegumento a través de puentes citoplásmicos. A mayor distancia de la superficie se encuentra una serie de conductos o canales, aparentemente relacionados con células ciliadas, llamadas células flama, que constituyen un sistema protonefridial o excretor (6). El subtegumento del canal espiral que forma parte del escólex, está constituido por los mismos elementos que los de la pared vesicular, además de contener corpúsculos

calcáreos y una capa de células musculares que permite la evaginación del escólex. Las ventosas y los ganchos del escólex son las estructuras mediante las cuales el metacéstodo se ancla a la mucosa intestinal al evaginar para después desarrollarse en parásito adulto o cestodo (2, 6, 10).

Uno de los eventos más espectaculares en la ontogenia de muchos cestodos es la evaginación del escólex (46). En la especie I. solium, este fenómeno se puede llevar a cabo in vitro cuando se incuban los metacéstodos en presencia de bilis (de varias especies de vertebrados) o de tripsina (15) ya que requiere de las señales bioquímicas de estas sustancias, que están presentes en el tubo digestivo del hospedero, y parece no depender de condiciones ambientales de "estrés" (17). Se ha demostrado que el metacéstodo de la I. solium se comporta como un organismo anaerobio facultativo, ya que la evaginación ocurre tanto en condiciones aerobias como anaerobias (17 y 19). Respecto a su metabolismo energético, Barret (1976), considera que los carbohidratos son la mayor y posiblemente la única fuente de energía para los helmintos. Estudios histoquímicos y ultraestructurales del metacéstodo de la I. solium han demostrado la presencia de una gran cantidad de glucógeno en el tejido del quiste (10). Estas evidencias parecen corroborar la importancia del metabolismo de carbohidratos para el metacéstodo.

C.2 Composición bioquímica del líquido vesicular del metacéstodo de la I. solium.

Las variaciones en concentraciones de diversos componentes moleculares en el líquido intraquistico de metacéstodos comparados con los líquidos plasmáticos, linfáticos y séricos de sus hospederos, han sugerido que la pared vesicular de los metacéstodos funciona como una barrera que permite la distribución selectiva de iones, moléculas y macromoléculas del parásito y el hospedero (52). Se han identificado sustancias presentes en las vesículas del metacéstodo (I. solium) utilizando métodos enzimáticos, análisis espectrofotométrico, absorción atómica y separación de proteínas y lipoproteínas por electroforesis. El líquido intraquistico contiene una mezcla de componentes muy heterogéneos: enzimas (creatin-cinasa, transaminasa glutámica oxalacética, deshidrogenasa láctica, lipasa, colinesterasa, fosfatasa alcalina, leucil aril amidasa y otras), lípidos (beta-lipoproteínas y triglicéridos), proteínas (globulinas, porfirinas, bilirrubina y hemoglobina) y fracciones (beta y gamaglobulinas, prebeta y betalipoproteínas), carbohidratos, iones (calcio, hierro y zinc) (36). Las porfirinas, algunas enzimas y proteínas involucradas en el proceso metabólico del metacéstodo, son componentes sintetizados por él, cuyo significado se desconoce (36).

D. Métodos utilizados para destruir o inactivar al metacéstodo de la T. solium.

Son dos básicamente los procesos utilizados con éxito en la destrucción e inactivación del metacéstodo de la T. solium: a) la fritura prolongada (45 min a 1 hora) de la carne a una temperatura no menor de 60 °C (40, 57), y b) el congelamiento de canales a -10 °C por lo menos durante 14 días (39, 66). No obstante, ambos procedimientos tienen inconvenientes; en el primero la depreciación económica drástica de la carne, y en el segundo se requieren varios días y grandes cámaras de congelamiento con un consumo constante de energía. Cabe señalar que Robinson y Chambers (1976) (66), refieren que bajo condiciones de congelamiento rápido en 75 minutos a -15 °C se logra una aniquilación completa del metacéstodo. Sin embargo, este sistema de congelamiento también requiere de un consumo considerable de energía y para grandes congeladores resultaría muy costoso. La irradiación gamma como un tratamiento para todas las canales de cerdo podría ser segura y rápida afectando inclusive bacterias y otros parásitos a la vez (4, 23, 26, 28, 42, 45, 62, 67, 68, 74, 81).

E.1 Aspectos generales de la radiación ionizante.

El Comité Mixto de Expertos en Alimentos Irradiados de la FAO/OIEA/OMS en 1964 (59), indicó que los rayos X constituyen un tipo de radiación producida por instrumentos aceptable para la irradiación de productos alimentarios. El mismo Comité en 1980 (61), recomendó la inclusión de los emisores de rayos X y de

electrones en la lista de emisores de radiación aceptables y, además, reconsideró y refrendó la recomendación de un informe de un Grupo Mixto FAO/OIEA Asesor en Aceptación Internacional de Alimentos Irrradiados (60), según la cual la radiación permitida para irradiar alimentos no debe exceder de un nivel energético de 10 millón electron-volts (MeV) si se trata de electrones y de 5 MeV en el caso de radiación gamma o rayos X.

La esencia de la radiación ionizante es precisamente que tiene la capacidad de ionizar la materia. La ionización es la acción de separar completamente a un electrón del resto del átomo. La unidad de energía (intensidad de radiación emitida) que se usa en estos casos es el electrón-volt (eV), que es la energía cinética que adquiere un electrón cuando se acelera al atravesar por una diferencia de potencial de 1 volt (65, 74).

De acuerdo con la Norma del Código General Estándar para Alimentos Irrradiados (18), la radiación gamma del cobalto-60 (^{60}Co) o cesio-137 (^{137}Cs), entre otros tipos de radiación ionizante, son aceptados para el proceso de irradiación de alimentos. El ^{60}Co emite principalmente radiación gamma de 1,170,000 y 1,330,000 eV (1.17 y 1.33 millón electrón-volts (MeV), respectivamente) (27 y 74).

La radiación gamma son ondas electromagnéticas de muy corta longitud. Son emitidas por núclidos⁽²⁾ radiactivos como el ^{60}Co y

(2) Un núclido es una especie atómica caracterizada por los números de protones y neutrones y el contenido energético de su núcleo. Por lo tanto, un núclido queda definido por su número atómico, su número másico y el nivel energético nuclear que lo hace más o menos estable.

el ^{137}Cs . El foton, es la unidad de radiación electromagnética que consiste de quanta o paquetes de energía transmitida en forma de onda móvil. La principal ventaja de la radiación gamma es el intenso poder de penetración y es inversamente proporcional a la densidad del material expuesto (20).

Para ionizar, la radiación debe llevar energía y poder transmitirla a la materia. Los efectos de la irradiación dependen de la dosis suministrada a un producto específico. La dosis es la energía por unidad de masa que absorbe el material u organismo irradiados, medida en Gy. Cuando la materia está expuesta a la radiación ionizante, absorbe la energía y se producen los pares iónicos. La energía es absorbida por colisión de la radiación ionizante con la materia causando ionización y excitación en miles de átomos en su trayectoria, ocurre en periodos muy cortos, aproximadamente 10^{-6} segundos.

La radiación inicialmente distribuye su energía en el material expuesto, muchos de los electrones que fueron expulsados de los átomos en el proceso de ionización pueden poseer suficiente energía para ionizar otros átomos. Estos casos de excitación y ionización producen cambios químicos en los materiales irradiados y producen gran parte de los efectos biológicos en los organismos. Los efectos biológicos de la radiación ocurren como resultado de cambios discretos en las estructuras atómica y molecular del material u organismo (26).

Los rayos gamma al interactuar con la materia sufren tres efectos principalmente: el efecto fotoeléctrico, el efecto Compton

y la formación de pares iónicos. En el primero, el fotón transfiere toda su energía a un electrón de la materia; esta energía se usa por una parte para expulsar o liberar al electrón y por otra para darle velocidad. Si sucede el efecto Compton la energía del fotón original o incidente se reparte entre un electrón del material y un nuevo fotón más débil o dispersado. Por último, si la energía del fotón original es mayor que 1.02 MeV ($1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}$), puede suceder la formación de pares, en donde el fotón se transforma en dos partículas cargadas eléctricamente, el par electrón-positrón (e^- , e^+). Es de notarse que en los tres efectos el fotón original finalmente desaparece y se crean electrones energéticos. Son estos electrones secundarios los que luego producen la mayoría de la ionización de la materia.

E.2 Efectos de la radiación ionizante gamma en la materia.

Los principales cambios en la materia debido a la radiación gamma ocurren en sus propiedades químicas. Los efectos biológicos producidos por la irradiación resultan de su capacidad para inducir cambios en los tejidos. Se distinguen dos procesos en el sustrato irradiado: el primero, denominado efecto directo, provoca la formación de iones, excitación molecular y fragmentación, y el segundo denominado efecto indirecto involucra la interacción de esos productos que pueden conducir a la formación de compuestos diferentes de aquéllos presentes inicialmente (74).

La mayoría de los efectos son causados en gran parte por la

inducción de ionización del sistema solvente del material biológico. La irradiación de un material que contiene agua, causa la ionización de una parte de las moléculas de agua con la formación de átomos hidrógeno altamente reactivo, radicales hidroxilos y electrones hidratados (e^-ac). Estos radicales contribuyen substancialmente a los efectos biológicos de la radiación ionizante, por lo tanto, siempre habrá un efecto indirecto de la irradiación de tejidos húmedos por estos radicales libres debido al agua activada (20, 27 y 74).

Los alimentos y los organismos contaminantes (parásitos, bacterias y hongos), contienen cantidades substanciales de agua. Los productos altamente reactivos de la radiólisis del agua pueden afectar sustancias disueltas en ella.

Los efectos biológicos de la radiación en un organismo vivo están asociados principalmente con el deterioro del proceso metabólico responsable de la división celular. Las moléculas grandes como el ADN (ácido desoxirribonucleico), son más susceptibles a romperse que las más pequeñas. El daño en el ADN impide la división de las células, causando esterilidad o muerte de los organismos como parásitos, insectos, larvas, bacterias, esporas de hongos y virus. Entre más simple es el organismo, mayor deberá ser la absorción de la radiación necesaria para aniquilarlo. Las células que se dividen rápidamente, como las reproductoras, son más susceptibles a la radiación que las que se dividen lentamente (20). Las dosis altas de radiación (entre 10 y 50 kGy) pueden ser letales mientras que con dosis bajas (entre 0.1

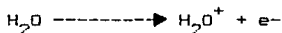
y 1.0 kGy), los organismos afectados pueden recuperarse del daño causado por la radiación (20, 26 y 27).

E.3 Cambios químicos debidos a la radiación ionizante.

El átomo de hidrógeno y los radicales hidroxilos son químicamente muy activos y pueden actuar como agentes reductores y oxidantes. Secundariamente, en presencia de oxígeno disuelto el radical de hidrógeno puede combinarse con oxígeno molecular para formar el reactivo oxiperóxido (HO_2), que puede formar peróxido de hidrógeno. Los radicales hidroxilos también pueden formar este último. Esta acción ofrece una base más amplia para el cambio químico.

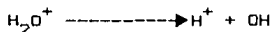
El proceso de irradiación es complejo y generalmente involucra cuatro fases (74):

1.- Fase física inicial. Su duración es de solo fracción de segundos, aproximadamente 10^{-6} s, en los cuales la energía se deposita principalmente en el agua contenida en la célula y causa ionización y excitación. El proceso en el agua se esquematiza como sigue:

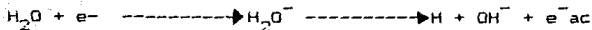


donde H_2O^+ es el ión positivo y e^- el ión negativo.

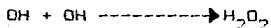
2.- Fase fisicoquímica. Dura aproximadamente 10^{-6} segundos, tiempo en el cual los iones (H_2O^+ , e^-) interactúan con las moléculas resultantes de la radiólisis del agua, p. ej. el ión positivo disociado:



el ión negativo, que es el electrón (e^-), se une a una molécula de agua neutra la cual entonces se disocia:



Así los principales productos de las reacciones son H^+ , OH^- , H , y OH y e^-_{ac} . Los dos primeros iones que siempre están presentes en el agua en forma natural no intervienen en reacciones subsecuentes. Los otros dos productos (H e OH) son los llamados radicales libres, tienen un electrón impar (un electrón en su última orbita) y son altamente reactivos químicamente. Otro producto reactivo es el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) el cual es un fuerte agente oxidante o reductor (según el medio):



3.- Fase química. Esta dura unos cuantos segundos, tiempo en el cual, los productos de la radiólisis del agua interactúan con moléculas orgánicas importantes para la célula. Los radicales libres y los agentes oxidantes pueden afectar ADN, proteínas etc.

4.- Fase biológica. En esta fase el periodo de tiempo varia de 10 minutos hasta 10 años, dependiendo de los efectos particulares. Los cambios químicos discutidos anteriormente pueden afectar a la célula en varias formas:

- a) Muerte celular temprana.
- b) Inhibición de la división celular.
- c) Modificación permanente de las células que se hereda a las células hijas.

Ante la exposición de la radiación ionizante, los sucesos que ocurren en una célula irradiada que involucra las 4 fases anteriores pueden ser divididos en tres periodos: inicial, medio y final.

El periodo inicial incluye el instante de la irradiación y no es patente el efecto provocado por la colisión entre la energía absorbida y las partículas del sustrato; el periodo medio es aquel durante el cual ocurren las reacciones que conducen al efecto final. Durante esta etapa la célula está en un estado fisiológico indicativo de la alteración de su núcleo y probablemente debido a la acción indirecta de las radiaciones sobre el citoplasma, o aun debido a la activación del medio que rodea a la célula. En el periodo final se expresan los efectos de la irradiación, por nombrar algunos: alteraciones de los requerimientos de nutrientes, varias formas de inhibición del crecimiento, mutación del gen y letalidad (27).

E.4 Efectos de la radiación ionizante gamma en los alimentos.

Cuando se usa la radiación ionizante para procesar alimentos se pretende producir los siguientes efectos (13 y 74):

1.- Control de la descomposición microbiana por:

A. Inactivación de todos los microorganismos saprófitos (bacterias, levaduras y hongos) que se encuentren presentes. La total inactivación es la esterilización y, cuando se usa la radiación, el proceso se denomina radappertización.

La radappertización no incluye la inactivación de virus o micotoxinas, toxinas bacterianas o enzimas.

B. Inactivación de algunos de los microorganismos saprófitos presentes. Este es un tratamiento comparable en efecto con la pasteurización por calor y es denominado radurización.

Con la radurización se exacerban las cualidades organolépticas de

los alimentos, provocando simultáneamente una reducción substancial en el número de microorganismos saprófitos específicos viables.

2.- Inactivación de bacterias patógenas no esporuladas.

Este uso de la radiación se denomina radicación. La radicación reduce el número de bacterias patógenas no esporuladas viables en el alimento. El proceso incluye el control de hongos toxicogénicos, algunos virus y parásitos.

3.- Inhibición de la germinación y retraso de la maduración y senescencia (efecto fisiológico).

4.- Descontaminación. Este uso de la irradiación tiene como objetivo la reducción de la población microbiana. Es llamado también higienización.

5.- Desinfestación de insectos. Consiste en controlar o disminuir la infestación de insectos en frutas y vegetales con dosis bajas (entre 0.1 y 1.0 kGy).

6.- Mejoramiento de la calidad. Está basado en los cambios químicos que modifican una o más de las principales características de los alimentos (sensoriales, funcionales y/o de procesamiento).

La modificación de las características de un alimento puede ser de naturaleza sensorial, tal como el cambio del olor, sabor y textura entre otros, o puede estar relacionada con sus propiedades funcionales tal como la capacidad de cocción, o puede mejorar el procesamiento de un alimento, como ejemplo, el de incrementar la tasa de deshidratación. En la mayoría de los casos, los cambios

químicos involucrados son la despolimerización de moléculas de carbohidratos y proteínas o el daño celular con la consecuente pérdida de su contenido (74).

E.4.1 Clasificación de los efectos según la dosis de radiación.

De acuerdo con las dosis utilizadas para alimentos, los efectos también se han clasificado en la siguiente forma (21, 74):

1.- Dosis bajas. Aproximadamente hasta 1 kGy.

- a) Inhibición de la germinación
- b) Desinfestación de insectos o plagas.
- c) Retraso de la maduración o de la senescencia.
- d) Mejoramiento de la calidad.

2.- Dosis medias. Entre 1 y 10 kGy.

- a) Radurización.
- b) Radicidación.
- c) Retraso de la maduración o de la senescencia.
- e) Descontaminación.
- f) Mejoramiento de las propiedades cualitativas de los alimentos o de la calidad.

3.- Dosis altas. Entre 10 y 50 kGy.

- a) Radappertización o esterilización comercial.
- b) Descontaminación y eliminación de algunos virus.

E.4.2 Radiactividad en los alimentos.

Es importante señalar que todo alimento no sometido a ningún proceso en particular, puede ser naturalmente radiactivo y que la reserva de radiactividad de los alimentos varía dependiendo de donde se produce el alimento (20, 27).

Los neutrones inducen radiactividad en los alimentos. Van chocando de núcleo en núcleo hasta perder toda su energía; aún cuando tienen poca energía pueden producir reacciones nucleares de activación. Se ha establecido que el procesamiento de alimentos con radiación gamma, rinde productos alimenticios sin radiactividad inducida (20, 27, 74). Cabe aclarar que la exposición de alimentos a cualquiera de las fuentes de radiación, ^{60}Co o ^{137}Cs , no induce radiactividad en los alimentos ni a dosis de radiación de cien o mil veces mayor que la dosis más alta utilizada para el procesamiento de los alimentos (50 kGy) (30, 41, 60).

E.5 Dosimetría.

Los dosímetros son dispositivos o sustancias químicas que miden la dosis absorbida en el producto durante el tiempo de exposición a la radiación ionizante y son específicos para cada tipo de radiación (alfa, beta, gamma o electrones) (21).

Los dosímetros químicos en general son sustancias que cambian de características al ser irradiadas. El tipo de dosímetro se selecciona en función del intervalo de dosis para el cual se logra el efecto deseado.

Las medidas correctas de dosis y distribución de dosis en los productos, indican que el tratamiento por irradiación será seguro, efectivo y legalmente correcto. El control de calidad del alimento irradiado, es importante para que el consumidor disponga de un alimento nutritivo e higiénico (21, 73).

Los dosímetros más utilizados en alimentos y su intervalo de dosis absorbida son:

<u>DOSIMETRO</u>	<u>INTERVALO DE DOSIS</u> <u>ABSORBIDA (Gy).</u>
Solución de sulfato ferroso.	10 a 4×10^2
Solución de sulfato ferroso y sulfato cúprico.	500 a 1×10^4
Alanina.	1 a 10^5
Solución de etanol clorobence no.	10^2 a 10^5
Solución de sulfato cérico-ceroso.	10^3 a 10^5
Solución de dicromato de potasio.	10^3 a 10^6

Para el procesamiento de alimentos por irradiación a nivel industrial, se realiza la dosimetría en dos etapas: en la primera, se determina la distribución de dosis obteniendo una dosis máxima (D_{max}) y otra mínima (D_{min}) dentro del intervalo de dosis en el cual funciona el dosímetro, para lograr el efecto técnico deseado. En la segunda etapa, para la dosimetría rutinaria, durante el proceso, los dosímetros se colocan en las posiciones de D_{max} y D_{min} previamente determinadas (73).

E.6 Comestibilidad de los alimentos irradiados.

Los requisitos necesarios para asegurar la comestibilidad de los alimentos irradiados fueron discutidos en 1964 por el Comité Mixto de Expertos en Alimentos Irradiados de la FAO/OIEA/OMS (59).

El tratamiento con radiación gamma y rayos X (con energías hasta de 5 MeV), como ya se mencionó, no produce radiactividad inducida, pero la evaluación toxicológica de los alimentos irradiados se justifica por el hecho de que la aplicación de energía de radiación induce los ya expuestos cambios químicos o "reacciones secundarias" que liberan

"reacciones secundarias" que liberan productos radiolíticos potencialmente tóxicos o introducen cambios sensoriales indeseables (61).

Segun el Comité Mixto de Expertos (61), los productos radiolíticos deben considerarse como si fueran aditivos alimenticios (3). La confirmación de la inocuidad de los alimentos irradiados debería basarse en procedimientos similares a los que se usan para evaluar la inocuidad de los aditivos y llevarse a cabo para cada alimento individualmente.

La naturaleza de los compuestos inducidos por radiación depende principalmente de la composición química del alimento (61). La concentración de estos compuestos generalmente aumenta al incrementar la dosis de radiación, pero puede ser modificada por factores tales como la temperatura, la presencia o ausencia de aire y el contenido de agua del producto.

La energía absorbida por el alimento irradiado es mucho menor que la absorbida en el calentamiento. Por lo tanto, los cambios químicos producidos por la irradiación son cuantitativamente mucho menores que los causados por el calentamiento (74). Por ejemplo, una dosis absorbida de 10 kGy corresponde a un aumento de la temperatura de solo 2.4 °C en un alimento que tenga la capacidad calorífica del agua. Esto constituye aproximadamente 3% de la energía necesaria para aumentar la temperatura del agua de 20 °C a 100 °C.

(3) Aditivo. Se entiende por aditivos, aquellas substancias que se añaden a los alimentos y bebidas con el objeto de proporcionar o intensificar aroma, color o sabor, prevenir cambios indeseables o modificar en general su aspecto físico. Queda prohibido su uso para ocultar defectos de calidad (71).

El Comité de Expertos FAO/OMS (1976) (60) concluyó que los productos radiolíticos detectados en una gran variedad de alimentos y componentes de los alimentos que habían sido estudiados, no parecían representar riesgo alguno de toxicidad en las concentraciones halladas. El mismo Comité aceptó que para dosis menores a 10 kGy, pueden extrapolarse las conclusiones sobre artículos de una clase de alimento a otros artículos afines.

El Comité Mixto FAO/OIEA/OMS de Expertos en Alimentos Irradiados (1980) (61) formuló la recomendación de que se aceptara en los alimentos irradiados hasta una dosis total media de 10 kGy. Tal recomendación se basó en que: a) ninguno de los estudios toxicológicos llevados a cabo en distintos alimentos ha demostrado la aparición de efectos negativos como resultado de la irradiación; b) se determinó que los productos radiolíticos de los componentes de los alimentos irradiados son idénticos entre sí y también respecto a los productos radiolíticos encontrados en alimentos procesados por otros métodos de conservación y, c) que la alimentación con productos irradiados de animales de laboratorio, ganado y pacientes inmunodeficientes no ha generado efectos adversos detectables. Tampoco se han hallado riesgos de provocar mayor resistencia de los gérmenes a la radiación, salvo en condiciones especiales de laboratorio, ni se ha observado aumento de la patogenicidad de bacterias, levaduras o virus y tampoco desarrollo de mutaciones inducidas por irradiación, diferentes de las producidas por otros métodos de conservación o que supongan riesgos para la salud.

Recientemente, la "Food and Drugs Administration (FDA)" de los Estados Unidos de Norteamérica sugirió que la irradiación debe considerarse como un proceso y que la información obtenida de estudios sobre efectos en los componentes químicos de un alimento irradiado con las dosis establecidas puede ser usada para evaluar el efecto de la irradiación en otros alimentos de composición similar.

En los últimos años ha sido publicado un cúmulo considerable de conocimientos científicos sobre productos radiolíticos en alimentos (20, 30, 40, 60, 61). Algunos productos radiolíticos que fueron identificados en un estudio de carne (26), también fueron encontrados en alimentos no irradiados procesados por otros métodos de conservación.

La radiación ionizante usada en el procesamiento de alimentos tiene una consecuencia similar a los procesos comerciales utilizados actualmente (congelamiento, utilización de aditivos y deshidratación) en el sentido de no producir una reducción significativa en la calidad nutricional de las proteínas, lípidos, carbohidratos y minerales a dosis establecidas (13, 20, 27, 41, 60, 61, 65). Sin embargo, cada producto fresco tiene una dosis de radiación límite por arriba de la cual ocurren cambios sensoriales. Para la carne esta dosis es más alta cuando es tratada en estado congelado (17, 20, 21). Como los niveles de dosis absorbida requerida causan una elevación mínima de la temperatura en los alimentos irradiados, no se altera el estado físico del alimento irradiado y su carácter de fresco, congelado o

deshidratado no se modifica (20, 40, 84).

En un programa de esterilización de alimentos llevado a cabo por la Comisión de Energía Atómica y la Fuerza Armada de los Estados Unidos de Norteamérica (63), se estableció que los alimentos irradiados con dosis altas entre 10 y 50 kGy eran inócuos para su consumo, aunque en algunos casos mostraron el inconveniente de haberse modificado sabor y aroma. Es interesante notar que los productos de cerdo fueron resistentes a esos cambios y se consideraron satisfactorios tanto en apariencia como en calidad nutritiva, aun a dosis hasta de 30 kGy. En realidad los resultados del análisis de degustación con muestras de carne de cerdo irradiada y no irradiada, demostraron que las muestras de cerdo irradiadas fueron preferidas contra las no irradiadas, y que la vida de almacén en las primeras es considerablemente más larga.

E.7 Efectos de la radiación ionizante sobre parásitos helmintos y protozoarios.

El tratamiento de radiación ionizante, así definido y descrito en el Código Alimentario y en el Código Internacional Recomendado para Prácticas sobre las Operaciones que Facilitan el Uso de la Radiación en el Tratamiento de Alimentos (18), tiene como aplicación prioritaria entre otras, el control de la infección por parásitos que se transmiten por alimentos (41, 60).

El conocimiento del efecto de la irradiación en todos los parásitos responsables de infecciones en mamíferos hasta la fecha es incompleto. Más de cien especies de parásitos pueden ser

trasmitidas al hombre a través de alimentos contaminados, pero solamente cinco zoonosis parasitarias se han intentado controlar por la técnica de irradiación: la triquinelosis, la toxoplasmosis, la teniasis, la anisakiasis y opistorquiasis/clonorchiasis.

La irradiación de parásitos protozoarios y helmintos causa disminución de la infectividad, de la patogenicidad, rompe el ciclo biológico y/o mata al parásito (61). Se acepta en general que se requieren dosis entre 4 y 6 kGy para exterminar a los parásitos que contaminan alimentos; sin embargo, muchos autores consideran que las dosis por abajo de 1.0 kGy son suficientes para impedir la infección de parásitos presentes en los alimentos, porque evitan la reproducción o su desarrollo y esto disminuye su capacidad para infectar (61, 83); ejemplo de esto son los trabajos realizados por varios investigadores: para el protozoario Toxoplasma gondii, Song Chang-Cun (23) reportó que 0.35 kGy es la dosis mínima efectiva para aniquilar taquizoitos (cepa CN) y que entre 0.5 y 0.7 kGy son las dosis que aniquilan taquizoitos de las cepas FT y ZA. Para la cepa NT la dosis mínima efectiva que evita la infectividad de los quistes es de 0.55 kGy. En esta investigación es notable la diferente sensibilidad entre cepas del mismo parásito. Por otro lado, se reportó que 0.4 kGy reduce la viabilidad de quistes de Toxoplasma gondii presentes en los músculos de la lengua, corazón y brazuelos de cerdos infectados experimentalmente y, que la dosis de 0.5 kGy los mata (28). Contrario a esto, Wikerhauser (81), reportó que los quistes de Toxoplasma gondii en carne de cerdo irradiada con 0.5 kGy siguen

siendo infectantes en gatos y ratones, pero entre 0.7 y 1.0 kGy ya no lo son. Sobre las metacercarias del tremátodo Clonorchis sinensis, Jong-Yil Chai y cols. (43) irradiaron metacercarias aisladas, pescado infectado con metacercarias y ratas infectadas también con la larva. En el primer experimento con dosis entre 0.005-0.03 kGy la tasa de sobrevivencia de las metacercarias irradiadas que posteriormente se inocularon en ratas, fue de 1-44%; con 0.05 kGy algunas sobrevivieron e inoculadas en las ratas no se desarrollaron normalmente. En el segundo experimento, las metacercarias extraídas del pescado irradiado con 0.01-0.05 kGy tuvieron una tasa de sobrevivencia entre 28 y 80%, pero con 0.1 kGy fueron aniquiladas del 97 al 100% (promedio= 99%), y en ratas infectadas e irradiadas con 0.1 kGy se recuperaron pocos parásitos y algunas ratas murieron. Con base en esto último concluye que 0.1 kGy es la dosis mínima efectiva. Por otra parte, Song Chang-Cun (22) reportó que 0.2 kGy es la dosis mínima efectiva que causa la destrucción del 100% de las metacercarias, ya que al ser inoculadas a grupos de hamsters, ningún parásito adulto fue encontrado. El mismo autor reporta que para metacercarias del tremátodo Paraquonimus westermani la dosis de radiación de 4.0 kGy produce incapacidad de la larva para penetrar la pared intestinal. También se informó que la irradiación de pescado fresco con 0.5 kGy evita la infectividad de la metacercaria de Opisthorchis viverrini (41). Otras investigaciones, con los metacéstodos Angiostrongylus cantonensis y A. costaricensis, que se transmiten al hombre a través de algunos

moluscos, demostraron que sus fases infectantes (larva 3 para ambos) son resistentes a dosis bajas de irradiación entre 0.3 y 1.0 kGy y con la dosis media de 2.0 kGy respectivamente, incluso en soluciones acuosas (44). Al inocular por vía oral a ratones y ratas, larvas infectantes fase 3 de Gnathostoma spinioerum, irradiadas en forma aislada con dosis entre 0.3 y 1.0 kGy, se recuperan entre un 62 y 63%; dichas tasas de recuperación son semejantes en larvas no irradiadas y concluyen que este parásito es resistente a la irradiación con dosis bajas (67). Este último parásito se trasmite por el consumo de pescado crudo infectado.

Las dosis de radiación gamma mínima y máxima manejadas comúnmente para carne de cerdo fresca o en canal para el control de Trichinella spiralis son 0.3 y 1.0 kGy respectivamente. Dosis entre 0.15 y 0.30 kGy dejan al parásito estéril sexualmente y bloquean la maduración de larvas ingeridas por el hospedero (4, 42, 45); experimentos con canales recién obtenidas (pre-rigor mortis) de cerdos sacrificados, indican que las larvas distribuidas en el músculo esquelético son igualmente sensibles a la radiación gamma (42, 45). Con la dosis de 0.4 kGy aplicada a la canal de bovinos infectados con metacéstodos de la Taenia saginata se evita el desarrollo del parásito en el hospedero humano (14, 75); recientemente se encontró que 3.7 kGy lo inactiva, porque se limita el movimiento del escólex y de sus ventosas; sin embargo, solo con dosis de 6.0 kGy se logra inhibir por completo su evaginación (37). Verster (77), expuso al metacéstodo de la Taenia solium a dosis de radiación gamma entre 0.2 y 1.4 kGy, con estas

dosis observó efectos negativos en su habilidad para evaginar in vitro, dicho efecto fue mayor con dosis de 1.0, 1.2 y 1.4 kGy para las cuales ningún metacéstodo evaginó a los 21, 18 y 12 días respectivamente, después de haber sido incubados; sin embargo, afirma que entre 0.2 y 1.2 kGy los metacéستodos son tan infectivos a hamsters dorados como los metacéستodos sin irradiar, y que con dosis hasta de 0.8 kGy evaginaron 24 días después. Por otra parte, asegura que los céستodos resultantes de metacéستodos irradiados no crecen, ya que algunos finalmente constan solo del escólex, sugiriendo que la irradiación inhibe la habilidad de las células de la región del cuello para dividirse y así formar nuevos proglótidos (78).

La evaginación in vitro se ha utilizado como prueba para evaluar el efecto de la irradiación, por que se considera un criterio de viabilidad (19, 68, 77, 78), pero existen dudas respecto a su valor para determinar la no infectividad (37).

Se ha demostrado que los hamsters dorados (Mesocricetus auratus) tratados con sustancias inmunosupresoras son más susceptibles a infección por Taenia solium (8, 16, 76, 77). Verster (76), afirma que en estos hamsters el céстodo sí desarrolla sus órganos genitales pero no produce huevos.

E.8 Efecto de la radiación ionizante sobre los componentes nutritivos principales de un alimento.

E.8.1 Proteínas, aminoácidos y enzimas.

El efecto de la irradiación sobre las proteínas con dosis

empleadas para alimentos (menores de 50 kGy) no es significativo. Las moléculas de proteína tienden a comportarse en forma semejante ante la radiación, de manera característica más que al azar. La naturaleza del cambio químico depende de su estructura particular (fibrosa o globular), de su condición natural (si está desnaturalizada o no), su composición; presencia de otras sustancias y el estado físico en el que se encuentra (solución, suspensión, liofilizadas o congeladas) (20 y 27).

Por ser moléculas grandes y complejas poseen varios sitios de acción de la radiación. Aunque la energía de la radiación puede ser absorbida en un punto, también puede transferirse a otro de la misma molécula en donde la fuerza de unión determina el "sitio sensible" donde ocurre la ruptura del enlace (74). El efecto indirecto de la irradiación juega un papel muy importante cuando está presente el agua, a menos que ésta se encuentre ligada o congelada, estado físico en el cual la radiolisis del agua y la formación de pares iónicos son limitados (27).

La desnaturalización de proteínas puede inducirse con dosis altas de radiación (mayores de 71 kGy) (20); se produce hidrólisis molecular seguida de polimerización de las fracciones; puede haber disociación a unidades más pequeñas, o solo fragmentación. Dichos cambios pueden alterar las propiedades de la proteína.

En soluciones acuosas o suspensiones de proteínas, expuestas a irradiación, hay desdoblamiento molecular; el aumento de grupos sulf_hidrilo demuestra que ocurre reagrupamiento molecular, sin embargo, no hay aumento de nitrógeno amino, lo que indica que las

uniones peptídicas no son atacadas fácilmente. Las uniones de azufre son definitivamente el sitio del efecto de la irradiación, pero también las uniones con enlaces de hidrógeno se rompen (27). Después de la irradiación con dosis altas se liberan aminoácidos de las proteínas (55).

En los aminoácidos, la desaminación también se lleva a cabo más fácilmente en presencia de agua libre. Los aminoácidos aromáticos sufren ruptura de su estructura anular. El rendimiento de amoníaco está directamente relacionado con la dosis de radiación aplicada - (27). El olor desarrollado por la irradiación está relacionado con la cantidad de aminoácidos que contienen azufre (20, 55). Los alimentos de alto contenido proteico como la carne de res y de cerdo, pueden exhibir grandes cambios en el olor y sabor cuando son esterilizados con dosis entre 28 y 56 kGy [2.8 - 5.6 Megarad (Mrad)]; pero solo con dosis de 71 kGy o mayores, se ha demostrado hidrólisis molecular en proteínas y aminoácidos libres (20, 26). En general con las dosis de radiación empleadas en los alimentos, la cantidad de aminoácidos virtualmente no varía y en consecuencia las proteínas no sufren pérdidas nutricionales significativas (20).

Los efectos de la radiación ionizante sobre las proteínas se reducen, cuando éstas son irradiadas en su medio natural; las sustancias naturales aceptadoras de radicales libres como las vitaminas (C, E y K principalmente) y las enzimas presentes en los tejidos animales y vegetales, aparentemente protegen a las proteínas de la radiación (27). Sin embargo, las vitaminas

generalmente son sensibles a la radiación ionizante y su destrucción es del mismo orden de magnitud que en los procesos térmico y de congelamiento (20).

Para el caso de las enzimas, éstas pueden ser inactivadas por el efecto directo o indirecto de las radiaciones ionizantes. Sin embargo, la inactivación completa de aquellas enzimas termoestables, requiere dosis del orden de cinco veces la requerida para la destrucción de microorganismos. La baja sensibilidad de esas enzimas a los efectos de la irradiación tiene interés práctico en la esterilización, ya que al haber desdoblamiento molecular en los componentes nutritivos, la actividad enzimática provocará su deterioro rápido; es decir, el desdoblamiento de los componentes nutritivos (proteínas, lípidos y carbohidratos) hace más accesible el punto de ataque para las enzimas (27).

El color de los pigmentos puede alterarse dependiendo de la dosis. La mioglobina en carnes rojas es una cromoproteína que contiene hierro reducido. Cuando la carne es tratada con energía ionizante en presencia de oxígeno atmosférico cambia de color, de rojo (característico del hierro reducido) a café pálido (característico del hierro oxidado) como un resultado de la interacción del pigmento con el oxígeno atmosférico. Esto, visto de otra forma, cuando la carne cruda es irradiada la mioglobina resulta en la formación de oximioglobina (hemocromo) que da un color rojo brillante; este color se desarrolla en ausencia de oxígeno atmosférico. En presencia de oxígeno se

forma la metamioglobina (hemicromo) que da el color café. En carne empacada al vacío e irradiada, su color rojo brillante se tornará café tiempo después cuando sea expuesta al oxígeno atmosférico (20).

E.8.2 Lípidos.

Los lípidos son sensibles a la radiación. El sitio principal de acción es la doble ligadura. Nawar (58) encontró un mecanismo radiolítico general para los lípidos a partir de sus triglicéridos, en donde la hidrólisis ocurre principalmente en cinco posiciones y el resto de la cadena permanece intacta.

Los cambios que resultan de la irradiación de lípidos se agrupan como: a) cambios evidentes de las características físicas y químicas, b) autooxidativos y c) radiolíticos no oxidativos.

Los cambios en las propiedades físicas y químicas de los lípidos pueden ser leves cuando se someten a dosis de radiación por abajo de 50 kGy (5 Mrad). A dosis entre 100 y 1000 kGy (10 y 100 Mrad) se incrementa significativamente la cantidad de ácidos y peróxidos; el contenido de ácidos grasos cambia, se modifica el punto de fusión y varían las constantes refractométrica y dieléctrica, la viscosidad y la densidad.

Dependiendo de la dosis de radiación se acelera el proceso oxidativo. En general la mayoría de aceites y grasas de origen animal aumentan sus peróxidos y su acidez por exposición a dosis altas de radiación ionizante (20). Las radiaciones ionizantes causan la destrucción de los antioxidantes presentes naturalmente en los alimentos; en seguida se forman peróxidos y aparecen los

compuestos carbonilos y ácidos.

También en la grasa la irradiación produce radicales libres; los tipos de radicales formados y su grado de estabilidad dependen de la temperatura, siendo más estables a temperaturas bajas; expuestos al oxígeno pueden reaccionar y formar otros radicales, así como peróxidos. La reacción con el oxígeno puede ocurrir después de un periodo de tiempo prolongado post-irradiación.

Los radicales libres se forman principalmente por la expulsión de hidrógeno de otras moléculas más que por su liberación espontánea o por la combinación con otros radicales. Como consecuencia se produce una cantidad considerable de compuestos radiolíticos (27, 58).

El proceso autoxidativo inducido por radiación sigue el mismo camino, finalizando con un mecanismo en cadena de radicales libres, produciendo hidroperóxidos que posteriormente se descompone en una variedad de productos y, destruye los antioxidantes.

Para el caso de grasas saturadas, la mayoría de los compuestos formados por la radiación en ausencia de oxígeno, generalmente son similares a los compuestos que se forman en las grasas insaturadas; sin embargo, la presencia de alguna doble ligadura, provoca la formación de otros compuestos radiolíticos insaturados. También sucede hidrogenación. Se forman cantidades significativas de dímeros (56). La irradiación de ácidos grasos saturados puros en ausencia de oxígeno da como resultado la formación de hidrógeno, bióxido de carbono, monóxido de carbono, vapor de agua

y gases de hidrocarburos volátiles. Ocurre una descarboxilación (58).

El estado físico (sólido o en emulsión) de una grasa que es sometida a irradiación, también influye en la cantidad de productos radiolíticos. En emulsión acuosa, la principal reacción que ocurre en ausencia de oxígeno es provocada por el sistema de radicales libres formado en la ionización del agua, siendo la interacción de radicales libres y componentes de los lípidos la principal reacción que causa el daño (27).

En trabajos con dosis de 5 a 60 kGy en diferentes grasas, se formaron productos tales como hidrocarburos, aldehídos, ésteres metílicos. Ácidos grasos libres entre otros. La formación de los diferentes productos depende de la composición de la grasa. La concentración de estas sustancias en el alimento irradiado es baja debido al efecto diluyente de otras sustancias presentes en el alimento (74).

Los cambios de sabor en la grasa de la carne ocurren a dosis de 20 kGy (2 Mrad); su olor desagradable se acentúa cuando la grasa la constituyen principalmente ácidos grasos insaturados (58).

E.8.3 Carbohidratos.

El efecto de la irradiación sobre los carbohidratos varía según las condiciones naturales en las que se encuentre. Los carbohidratos puros son muy sensibles a la radiación cuando se encuentran en estado cristalino. Dependiendo del carbohidrato irradiado, se produce una gran cantidad de sustancias.

En soluciones acuosas, la irradiación de carbohidratos causa

hidrólisis oxidativa. Los cambios son debidos principalmente por la formación de radicales ox_hidrilos producidos por la radiolisis del agua. En presencia de oxígeno ocurren reacciones secundarias; el pH influye en la formación de algunas substancias. El efecto de la radiación se puede producir en cualquier lugar de la molécula. En moléculas grandes puede haber fragmentación; en moléculas más pequeñas, la oxidación finalmente produce ácidos (27).

E.9 Legislacion.

Hasta la fecha 32 países han aprobado alrededor de 40 alimentos irradiados para consumo; 17 países (Bélgica, Brasil, Chile, Cuba, Dinamarca, Finlandia, Francia, República Democrática Alemana, Hungría, Israel, Japón, República de Corea, Holanda, Noruega, Sud-Africa, U.S.A. y Yugoslavia) están usando la irradiación para procesar 20 productos alimenticios con propósitos comerciales (41, 61). En 1983, los 122 países que conformaban la Comisión del Codex Alimentarius del "Joint FAO/WHO/Food Standard's Programme" adoptaron las Normas Generales del Codex para Alimentos Irradiados y el Código Internacional Recomendado de Prácticas para el Funcionamiento de Instalaciones de Irradiación para el Tratamiento de Alimentos (18). En México, hasta hace poco se legisló sobre fuentes de irradiación en el Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Control Sanitario de Actividades, Establecimientos, Productos y Servicios. Título Vigésimo Quinto, Capítulo I, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 18 de enero de 1988 (71).

La irradiación es por tanto, una de las tecnologías a través de la cual es factible descontaminar alimentos y evitar una posible introducción de riesgos para la salud pública (41). La puesta en práctica de estos sistemas conducirá a que se le pueda ofrecer al consumidor alimentos libres de patógenos.

Es importante señalar que la irradiación de alimentos no elimina las prácticas adecuadas de higiene que habitualmente forman parte de otros procesos; en este sentido, resulta obvio que

la irradiación de alimentos deberá realizarse de acuerdo con el Código de Buenas Prácticas de Manufactura (18). Por otra parte se ha reconocido que el éxito de su utilización depende en gran medida de la aceptación por parte de los consumidores y que tiene el potencial para reducir la incidencia de enfermedades transmitidas a través de la ingestión de alimentos contaminados, entre ellas las parasitosis (30).

De todos los esfuerzos para reducir al máximo la contaminación a lo largo de la cadena productiva de alimentos, el tratamiento final por irradiación juega un papel significativo; adicionalmente aquellos alimentos fuente de infección y contaminación deben haberse identificado como causa de problemas graves y particulares de salud pública.

La aplicación general de la irradiación de alimentos en países en desarrollo, debe ser considerada cautelosamente por las implicaciones económicas altas para la inversión inicial (57, 61). El proceso debe ser introducido donde se prevén beneficios de salud pública y/o económicos.

E.10 Objetivos e Hipótesis.

Objetivos:

1. Determinar la dosis letal 100% de radiación gamma con ^{60}Co para el metacéstodo de la Taenia solium en carne de cerdo.
2. Evaluar los cambios sensoriales en la carne de cerdo producidos por la irradiación gamma del ^{60}Co con la dosis letal 100%.

Hipótesis:

1. La dosis letal 100% de radiación gamma con ^{60}Co para el metacéstodo de la Taenia solium en carne de cerdo fresca se encuentra en el intervalo entre 4 y 10 kGy.
2. La carne irradiada con la dosis letal 100% no presenta características sensoriales diferentes.

II. MATERIAL Y METODOS

1.- Obtención de las muestras de carne con metacéstodos.

Las muestras de carne de cerdo (regiones escapulo braquiales derecha e izquierda) se obtuvieron de 22 canales infectadas con metacéstodos de la T. solium, 19 de las cuales fueron detectadas por inspección sanitaria en varios rastros del Distrito Federal y Estado de México y las 3 restantes, de cerdos infectados experimentalmente a los tres meses de haber sido inoculados. De estos últimos uno se destinó para obtener larvas que fueron inoculadas por vía oral a hamsters. La edad de los cerdos decomisados fue entre 7 y 10 meses, la de los cerdos infectados experimentalmente fue de 6 meses y el tiempo aproximado entre la matanza y la irradiación fue de 2 a 3 horas.

2.- Irradiación gamma con ^{60}Co de la carne infectada.

La irradiación se llevó a cabo en el irradiador de alta intensidad, tipo alberca denominado Gammabeam 651 PT. Esta es una fuente de cobalto-60 de intensidad de dosis variable, diseñada para investigación; localizada en el Instituto de Ciencias Nucleares de la U.N.A.M. y fue realizada por técnicos del mismo instituto.

La dosimetría se determinó con el dosímetro sulfato ferroso sulfato cúprico por el método de Fricke modificado (73). El sistema de Fricke modificado, es un procedimiento empleado para determinar la dosis absorbida que resulta de la oxidación de iones ferrosos (Fe^{2+}) en una solución acuosa de ácido sulfúrico

conteniendo sulfato cúprico. La dosis absorbida se deriva de la concentración de iones férricos (Fe^{3+}) en la solución después de la irradiación.

El análisis del dosímetro se realizó por espectroscopia a 304 nanómetros (nm), midiendo el ión férrico formado por efectos de la radiación. El intervalo de dosis del dosímetro utilizado es de 5×10^4 a 1×10^6 rad (dosis de radiación absorbida) y en este intervalo el cambio químico es proporcional a la dosis de radiación. Dado que la unidad Gammabeam 651 PT es de alta intensidad, este es el dosímetro más apropiado.

La región escapulo-braquial derecha del cerdo infectado se sometió al proceso de irradiación, la porción izquierda no se irradió, y de ellas se extrajeron los metacéstodos que formaron los grupos estudio y control, respectivamente. El número de larvas por grupo fue de 60 o más.

La muestra a irradiar se introdujo en dos bolsas de polietileno, de esta manera se evitó en lo posible el contacto de la pieza con el oxígeno atmosférico durante la irradiación; a su vez la carne así empacada se introdujo en una caja de cartón y se identificó con la fecha y la dosis solicitada. La selección del intervalo de dosis de radiación se hizo por una parte, con base en el conocimiento de investigaciones en las que se han aplicado ciertas dosis al metacéstodo de la I. solium (26, 35, 62, 68, 77, 78) y por otra, de aquellas consideradas como las requeridas para aniquilar parásitos que infectan alimentos (41, 61, 74). Por lo tanto, el intervalo de dosis de radiación a partir del cual se determinó la dosis letal 100% para el metacéstodo de la I. solium

fue entre 4.0 y 10.0 kGy, con una intensidad de dosis de la fuente de radiación de 2.81 kGy/hora para el 10 de febrero de 1988 y de 2.38 kGy/hora al 15 de febrero de 1989. Inicialmente la muestra (región escapulo braquial derecha) se expuso a la dosis de 4.0 kGy; posteriormente a la irradiación se determinó la viabilidad de los metacéstodos; en tanto hubo evaginación, se aumentó la dosis en 1.0 kGy hasta llegar a la que logró abatirla a 0%. Asimismo para algunas dosis se repitió el estudio dos a tres veces con el objeto de poder evaluar la reproducibilidad del efecto en las larvas, así como también la homogeneidad de la dosis de radiación sobre la muestra.

3.- Viabilidad de los metacéstodos (*I. solium*) irradiados y sin irradiar.

La viabilidad de los metacéstodos se determinó bajo el criterio fisiológico de la evaginación in vitro (19).

Para esta prueba se preparó una solución al 25% de bilis de bovino cuyo diluyente fue el medio para cultivo celular RPMI 1640 con L-glutamina, al cual se le agregó dextrosa y bicarbonato de sodio pH 7.5 (1.04% de RPMI 1640, 0.4% de dextrosa, 0.2% de bicarbonato de sodio y 98.36% de agua destilada). De cada "espaldilla" infectada (irradiada y sin irradiar) se extrajeron 60 o más metacéstodos, de los cuales se formaron los grupos estudio y control respectivamente, para las diferentes dosis. Las larvas irradiadas y sin irradiar se colocaron por separado en cajas de Petri conteniendo la solución descrita; la proporción entre el número de metacéstodos y mililitros de la solución fue de 60:16.

Las cajas de Petri fueron colocadas en la estufa a una temperatura de 37 °C; la lectura se realizó a las 12 horas de haber sido incubadas y consistió en contar las larvas evaginadas y no evaginadas para obtener porcentajes de cada grupo. La evaginación fue considerada normal solo cuando el cuello del metacéstodo se distendió y los ganchos y las ventosas en el escólex tuvieron motilidad (15, 19).

4.- Infectividad de los metacéstodos (T. solium) irradiados y sin irradiar.

Este ensayo fue un estudio en el que se determinó la infectividad de las larvas no irradiadas e irradiadas con la dosis que abatió a 0% su evaginación.

Para llevar a cabo este ensayo se utilizaron 26 hamsters dorados (Mesocricetus auratus) con las siguientes características: Cepa CHCM (Checoslovaquia/Cuba/México), 21 semanas de edad, hembras y con pesos promedios entre 110.83 y 129.21 g. Todas estuvieron sometidas a las mismas condiciones ambientales y de manejo. Se mantuvieron en jaulas de acrílico con tapas de alambre galvanizado y capacidad para 6 animales. Los bebederos fueron biberones de vidrio con capacidad para 250 ml, con tapones de hule y pipetas de acero inoxidable; el agua de bebida era potable, tal como se obtiene directamente de la llave y se cambió diariamente. La alimentación consistió de comprimidos para roedor (PURINA). El lavado de jaulas y cambio de cama se realizó cada tercer día. El fotoperíodo fue de 12 horas luz por 12 horas de oscuridad, la ventilación se mantuvo constante y la temperatura osciló entre 22

$^{\circ}C \pm 2^{\circ}$.

Se formaron al azar dos grupos de 13 animales identificados con los numeros romanos I y II; a su vez cada grupo se dividió tambien en forma aleatoria, en dos subgrupos de 6 y 7 animales conformando un total de 4 subgrupos identificados con las letras A, B, C y D. Los subgrupos A y B correspondieron al grupo I y, C y D al grupo II; los subgrupos A y C (de 6 animales cada uno) fueron a los que se inocularon larvas irradiadas y se identificaron como los grupos estudio; los subgrupos B y D (de 7 animales cada uno) fueron los controles (inoculados con larvas sin irradiar). A dos animales de cada subgrupo se les practicó inicialmente un análisis coproparasitoscópico en serie de tres, toma directa, con la técnica de flotación.

Una vez determinada la dosis de radiación que abatió a 0% la evaginación de los metacéstodos, se inocularon por vía oral a cada uno de los hamsters de los grupos estudio, 5 metacéstodos irradiados depositándolos uno por uno en la cavidad oral hasta que fue deglutido; de igual forma se inocularon los hamsters de los grupos control, con 5 metacéstodos no irradiados extraídos de la "espaldilla" control.

A cada uno de los hamsters se les aplicó por vía intramuscular (I.M.) una dosis de 4 mg de acetato de metilprednisolona (Depo-Medrol), 24 horas antes de la inoculación y después cada semana al grupo que se sacrificaría hasta los 22 días post-infección, con el fin de inmunodeprimirlos para lograr que se desarrollen las tenias de acuerdo con las recomendaciones de

Verster (76). Diez y 22 días después de la inoculación se practicó la eutanasia a los hamsters, introduciéndolos uno por uno en un frasco con algodones impregnados de eter. Los animales del grupo I se sacrificaron a los 10 días post-inoculación y los del grupo II a los 22 días. La necropsia se practicó como sigue:

a) Se realizó una incisión sobre la línea media y se separaron los intestinos seleccionando el segmento que correspondió al intestino delgado, se colocó en una caja de Petri que contenía solución salina al 9%.

b) El intestino delgado de cada hamster se lavó con solución salina utilizando una jeringa, haciendo pasar el líquido a través del lumen intestinal, y se examinó el líquido y contenido intestinal sobre fondo oscuro para detectar las tenias.

c) Finalmente se abrió el segmento intestinal longitudinalmente para buscar las tenias que pudieron haber quedado adheridas a la mucosa.

d) Las tenias recuperadas se contaron y midieron.

e) Las tenias se fijaron con formol al 10% y se observaron al microscopio estereoscópico para identificar sus ventosas y corona de ganchos.

El cuadro siguiente muestra el diseño experimental descrito:

DISEÑO EXPERIMENTAL PARA LA INOCULACION ORAL DE HAMSTERS (Mesocricetus auratus) con metacéstodos de la T. solium irradiados y sin irradiar.

GRUPOS	No. ANIMALES FOR GRUPO	DEPO-MEDROL mg/ANIM/SEM VIA I.M.	INOC. ORAL 5 LARVAS/ ANIMAL *. IRR.** NO IRR.	NECROPSIA DIAS POST-INOC.
IA	6	4	x	10
IB	7	4		10
IIC	6	4	x	22
IID	7	4		22

A y C GRUPOS ESTUDIO

B y D GRUPOS CONTROL

(*) 24 HORAS DESPUES DE LA ADMINISTRACION DEL DEPO-MEDROL (ACETATO DE METIL PREDNISOLONA).

(**) IRRADIADOS A LA DOSIS DE 7 kGy.

5.- Análisis sensorial de la carne irradiada.

El análisis sensorial se llevó a cabo para obtener información acerca de la calidad sensorial de la carne irradiada, es decir, se determinó si la carne irradiada con 7 kGy fue diferente a la carne que no se irradió.

En la evaluación sensorial dos grupos de especialistas actuaron como jueces, evaluando las características de olor y sabor bajo ciertas condiciones: a) el area donde se realizaron las dos pruebas estuvo libre de olores y ruidos hasta donde fue posible, bien ventilada y con iluminación uniforme; b) el personal que preparó las muestras estuvo capacitado técnicamente; c) las muestras fueron preparadas y servidas lo más uniformemente

posible. Se tomaron en cuenta los siguientes factores: temperatura, cantidad de muestra, orden de presentación, información sobre el método de cocción de las muestras y los recipientes en que se sirvieron. Se llevó a cabo la prueba de comparación pareada, para el reconocimiento de pequeñas diferencias; es analítica y objetiva, ya que los sentidos fueron usados como detectores analíticos sin actitud personal alguna de gusto o disgusto. El estudio fue ciego. Los miembros que participaron en este análisis fueron personal especializado de una empresa productora de carnicos. Los grupos evaluadores estuvieron constituidos por 5 y 6 integrantes.

Se evaluaron dos factores determinantes de la calidad sensorial, olor y sabor, en ambas muestras (no irradiadas e irradiadas con 7 kGy). Durante todo el curso de la investigación las muestras se obtuvieron de una misma localización en la canal y correspondieron al músculo longissimus dorsi y/o psoas mayor, ya que estos favorecen la evaluación de las características sensoriales por tener poco tejido conjuntivo y fibras musculares de textura suave y jugosas (47). El método estándar de preparación culinaria de la carne fue la cocción a vapor ($10 \text{ lb/in}^2/10 \text{ min} = 0.70307 \text{ kg/cm}^2/10 \text{ min}$) empleando temperatura constante.

Los evaluadores seleccionaron entre dos muestras, la que tuviera un olor y/o sabor diferentes al común de la carne de cerdo cocida. Las piezas de carne fueron lo suficientemente grandes y permitieron a los miembros hacer nuevas pruebas cuando así lo consideraron necesario; en el momento de la degustación la carne

siempre estuvo a la misma temperatura.

Para el estudio estadístico de las pruebas sensoriales, se utilizaron tablas estadísticas para el análisis rápido de datos.

6. - Análisis Estadístico para la evaginación in vitro de los metacéstodos (T. solium) irradiados con dosis diferentes.

Con el objeto de sustentar la variabilidad de la evaginación de los metacéstodos irradiados y sin irradiar, se identificaron aquellas variables o factores que influyen en la evaginación y que no fueron controlados, y aquellos que se consideraron para el análisis estadístico en cuestión.

6.1 Identificación de variables.

A. Variable independiente:

Tratamiento o factor de riesgo = Radiación gamma de cobalto-60.

Tratamientos o niveles del factor = Dosis medias de radiación gamma (entre 4 y 10 kGy).

B. Variables dependientes:

b.1 Viabilidad del metacéstodo de la Taenia solium.

b.1.1 Evaginación in vitro (%).

b.1.2 No evaginación in vitro (%).

b.2 Infectividad del metacéstodo de la Taenia solium.

b.2.1 Infectivo = Presencia del céstodo (%).

b.2.2 No infectivo = Ausencia del céstodo (%).

C. Variables no controladas:

c.1 Edad del hospedero (cerdo).

c.2 Tamaño y aspecto de los metacéstodos (T. solium).

c.3 Temperatura durante el proceso de irradiación de la carne infestada.

6.2 Pruebas estadísticas.

6.2.1 Estadística paramétrica:

Coefficiente de correlación, coeficiente de determinación y regresión lineal simple.

Como se trata de una investigación de causa-efecto, para el estudio estadístico de la evaginación in vitro de los metacéstodos (T. solium) irradiados, se utilizó un análisis de regresión lineal simple con el modelo:

$$Y_i = \alpha + \beta X_i + \epsilon_i$$

Donde:

α es la ordenada al origen en la población (intercepto).

β es la pendiente en la población, o el coeficiente de regresión poblacional.

ϵ_i es el error aleatorio.

La ecuación de la línea de regresión estimada que corresponde a la fórmula anterior que se requiere ajustar es:

$$Y = a + bx$$

Donde:

El valor de a es el estimador de α , y b el estimador de β o coeficiente de regresión muestral.

Y_i es el valor estimado de Y cuando X es igual a X_i .

Para contrastar la hipótesis de nulidad (H_0) se realizó la prueba estadística t de Student y se aplicó la siguiente fórmula:

$$t_c = b/S_b$$

Donde S_b es el error estándar de b .

Se plantearon las siguientes hipótesis:

H_0 : No hay asociación lineal entre las dos variables ($\rho=0$).

H_a : Existe asociación lineal negativa entre las dos variables ($\rho<0$).

La regla de decisión fue:

Si $t_c < -t(g.l., \alpha)$, para $\alpha = 0.01$ y $g.l. = n-2$, se rechaza la H_0 y se concluye que β es menor que cero y que la regresión lineal negativa es significativa ($P<0.01$).

III. RESULTADOS

Irradiación y evaginación.

Se irradiaron con dosis entre 4.0 y 11.8 kGy 22 regiones escapulo-braquiales ("espaldillas") derechas infectadas con metacéstodos de la T. solium; 19 de estas provinieron de cerdos infectados naturalmente, decomisados durante la inspección sanitaria, y las tres restantes de cerdos infectados experimentalmente. Las "espaldillas" izquierdas no irradiadas fueron los controles. De cada "espaldilla" irradiada se extrajeron cuidadosamente 60 o más metacéstodos que formaron los grupos estudio y de las no irradiadas se formaron los grupos control. Con los grupos estudio y control de metacéstodos se llevaron a cabo 44 pruebas de evaginación (Cuadro 1) y se obtuvieron los siguientes porcentajes promedio de evaginación (Cuadro 2): con la dosis de 4.9 kGy (pruebas 2 y 3 del cuadro 1) evaginaron el 75% en promedio, para los controles fue de 98%; con 5 kGy (prueba 5 del cuadro 1) solo evaginaron el 13% y en el control fue de 70.13% (Figura 1). Dosis aplicadas de 5.6, 5.7 y 5.9 kGy (pruebas 6, 7 y 8 respectivamente) dieron como resultado promedio 22.3%, la evaginación de los grupos control fue de 77.1%. Con 6 kGy (pruebas 9 y 10) solo evaginaron el 7.3% promedio, en tanto que para los controles fue del 88.8% (Figuras 2 y 3). Con 6.5 kGy (pruebas 11 y 12) la evaginación se redujo a 0%, siendo diferente para los grupos control cuyo porcentaje promedio de evaginación fue del 90% (Figura 4). Con 7 kGy (pruebas 14 y 15) el 6.6% en promedio de las larvas mostraron su cuello y el escólex contraídos y

ligeramente por afuera de su vesícula, pero no tuvieron motilidad; la evaginación promedio de los grupos control fue de 90.8% (Figuras 5 y 6). Con 7.6 kGy (prueba 16), el 4% de las larvas mostraron el mismo fenómeno anterior y nuevamente no tuvieron motilidad, el grupo control tuvo una evaginación del 100%. Con dosis de 7.7 y 7.9 kGy (prueba 17 y 18 respectivamente) se reduce a 0% la evaginación como sucedió con 6.5 kGy, y para los grupos control fue del 93.15% en promedio. Lo mismo sucedió con 11.8 kGy (prueba 22), en donde el grupo control tuvo una evaginación del 97.2% (Figura 7).

Para las pruebas 1 y 4 donde se aplicaron dosis de 4 y 5 kGy respectivamente, evaginaron el 10% en la prueba 1 y el 1.5% en la 4. Sin embargo, en los grupos control la evaginación fue de 37% y 3.8% respectivamente, lo que se consideró demasiado bajo y estos resultados no fueron tomados en cuenta. Algo similar sucedió con la dosis de 9.7 kGy (pruebas 19, 20 y 21), con la que no hubo evaginación, pero los controles tuvieron evaginaciones bajas, e incluso para la prueba 19 fue nula (0%, 31.2% y 18.3% respectivamente) por lo que los resultados tampoco fueron tomados en cuenta.

Análisis estadístico para la evaginación de los metacéstodos. Las dosis de radiación estudiadas entre 4.9 y 7.0 kGy, tuvieron efecto sobre la evaginación de los metacéstodos (I. solium), es decir, existe asociación entre la dosis de radiación gamma (variable independiente=X) y el porcentaje de evaginación de las larvas (variable dependiente=Y) (Cuadro

No. 3). La asociación que se buscó fue de tipo lineal. El coeficiente de correlación de la muestra ($r=-0.944318$) indicó que hubo una correlación lineal negativa, ya que al aumentar la dosis de radiación en una unidad de medida estimada, dada por $a=382.439$ y $b=-62.7205$, el porcentaje de evaginación tiende a disminuir (cuadro 3.a). El coeficiente de determinación ($r^2=89.17\%$) indicó que el 89.17% de la variación en la evaginación es explicada por el efecto de la radiación gamma a través del modelo $Y_i = \alpha + \beta X_i + \epsilon_i$. Con la prueba estadística t de Student se encontró que existe asociación lineal negativa entre las dos variables ($p < 0$) y que esta fue significativa ($P < 0.01$).

La figura 9.a muestra el comportamiento de la evaginación de los metacéstodos irradiados con diferentes dosis. El punto de partida en el eje de las ordenadas, es el promedio de evaginación de los grupos no irradiados o controles (88.8%).

Las evaginaciones con diferentes dosis de radiación que forman la curva de "sobrevivencia", quedaron dispuestas con base a las dosis aplicadas. Dicha curva es similar a las curvas de sobrevivencia que caracterizan los radiobioensayos estudiados por Weiss, J.F. y Sree, K.K. (85).

Bioensayo.

Los resultados del análisis coproparasitoscópico previos al estudio, en los hamsters utilizados, mostraron trofozoitos de Entamoeba muris en la primera toma directa, volviéndose negativos en los últimos análisis.

El cerdo infectado experimentalmente, destinado para el bioensayo, fue sacrificado el mismo día que se llevara a cabo la infección de los hamsters, y las larvas inoculadas presentaron las siguientes características: diámetro aproximado de 0.5 mm, membrana vesicular transparente, liquido intraquistico incoloro y transparente, y escólex blanquecino. La evaginación in vitro de las larvas control (sin irradiar) fue del 100% y la de las larvas irradiadas con 7 kGy fue del 0% con un 9.8% de larvas que mostraron su cuello y el escólex contraídos y ligeramente por afuera de su vesicula (prueba 15 del cuadro 1) (figuras 6 y 8).

Los metacéstodos extraídos de la carne irradiada con 7.0 kGy no fueron infectivos experimentalmente en los hamsters inmunosuprimidos, porque no se encontraron tenias post-infección en las necrópsias ni a los 10 ni a los 22 días (Cuadros 4.1, 4.3, 5). En cambio se obtuvieron tenias en los grupos control, tanto a los 10 como a los 22 días post-infección (Cuadros 4.2, 4.4, 5). Tres hamsters (43%) del grupo control II-D murieron el día 11 posterior a la infección, probablemente, por que no soportaron el tratamiento con corticosteroides, sin embargo en dos de ellos fue posible identificar a la necropsia 1 y 3 tenias respectivamente; el tercero no pudo ser necropsiado debido al canibalismo. Los 4 animales restantes (57%) sobrevivieron hasta el final del periodo de observación (Cuadro 4.4).

En el grupo control I-B, sacrificado a los 10 días, se encontraron parasitados el 100% de los hamsters (Cuadros 4.2, 5). En el grupo control II-D, sacrificado a los 22 días,

se encontraron tenias en 3 de los 4 sobrevivientes (75%) (Cuadros 4.4, 5).

Los céstodos desarrollados tuvieron longitud variable; la longitud promedio a los 10 días de la infección fue de 0.7 cm fluctuando entre 0.1 y 1.4 cm, y a los 22 días fue de 4.0 cm (la más corta de 0.5 y la más larga de 15 cm). El número de tenias por grupo fue: para el I-B, 19 de 35 larvas inoculadas, correspondiendo al 54.2% y para los 4 hamsters del grupo II-D, que sobrevivieron hasta el final del periodo de observación, 11 tenias de 20 larvas inoculadas, correspondiendo al 55%. En cuanto al número promedio de tenias por animal, en ambos grupos fue de 3, encontrando entre 1 y 5 en el grupo I-B, y entre 0 y 5 en el grupo II-D (Cuadro 5 y figuras 10 y 11).

Al microscopio estereoscópico los escólices de estos céstodos estaban desarrollados a los 10 días, las ventosas se distinguieron claramente así como una hilera de ganchos pequeños.

Análisis sensorial de la carne irradiada con 7.0 kGy.

El grupo de degustadores detectó diferencias en el olor y sabor de la carne irradiada con 7 kGy, pero estadísticamente no fueron significativas al 5% entre las muestras (Cuadro 6).

IV. DISCUSION.

Se determinó que 7 kGy es la dosis letal 100 % de radiación gamma con cobalto-60 para metacestodos de la Taenia solium en carne de cerdo, porque esta dosis logró abatir a 0% su evaginación in vitro e inoculados a hamsters por via oral las larvas no desarrollaron cestodos ni a los 10 ni a los 22 días días posinfección, en cambio los grupos controles desarrollaron tenias.

La dosis de radiación de 7 kGy se encuentra dentro de los limites de seguridad aceptados y es considerada inócua por el grupo de expertos en irradiación de alimentos (84). En esta investigación, el análisis sensorial realizado, demostró que hubo diferencias en las características sensoriales de olor y sabor, las que sin embargo no fueron significativas estadísticamente. Esto coincide con los resultados presentados por Plough y col. en 1960 (64), que demostraron que carne de cerdo irradiada con dosis para esterilización (de 10 hasta 30 kGy) y almacenada a temperatura ambiente fue resistente a los cambios sensoriales. La carne irradiada hasta con 30 kGy todavía se consideró satisfactoria tanto en apariencia como en calidad nutritiva. Llama la atención que los resultados del análisis de degustación obtenidos por Plough, con muestras de carne de cerdo irradiada y no irradiada, demostraron que las muestras irradiadas fueron preferidas contra las no irradiadas, y que la vida media en las primeras fue considerablemente más larga. Cabe recordar que cada producto fresco tiene una dosis de radiación límite por arriba de la

cual ocurren cambios sensoriales. Para la carne esta dosis podrá ser más alta cuando sea tratada en estado congelado (26).

Los resultados de esta investigación hicieron patente que conforme se incrementa la dosis de radiación gamma, los metacéstodos sufren un efecto negativo en su capacidad para evaginar. Por ejemplo, la dosis de 6.5 kGy reduce a cero la evaginación, en cambio los controles evaginaron en promedio el 90%; aunque, con 7.0 y 7.6 kGy se observaron metacéstodos con el cuello y escólex contraídos y ligeramente por afuera de su vesícula, pero sin motilidad. Este hallazgo supone posibles modificaciones en el metabolismo del parásito por cambios químicos a nivel de su estructura atómica y molecular que alteran hasta cierto grado el mecanismo fisiológico de la evaginación, en la medida que se incrementa la dosis. Puede considerarse la expresión del efecto de la irradiación en las células en el periodo final (27), o una reacción del parásito en un intento de sobrevivir a este tratamiento. Con dosis de 7.7 y 7.9 kGy, nuevamente se reduce a cero la evaginación que para los grupos control fue del 93.15% en promedio. Finalmente, con una dosis alta de 11.8 kGy, en donde el 97.2% de las larvas del grupo control evaginaron, se abate a cero la evaginación de las irradiadas, como sucedió con las dosis de 6.5, 7.0, 7.7 y 7.9 kGy. Por lo tanto la dosis letal 100% determinada a partir de la no evaginación in vitro fue de 7.0 kGy. Con el fin de confirmar tal efecto se realizó el bioensayo en hamsters para determinar la no infectividad a esta dosis,

ya que la evaginación ha sido utilizada por algunos investigadores como prueba para evaluar el efecto de la irradiación, porque se considera un criterio de viabilidad, aunque, existen dudas respecto a su valor para determinar si conservan el poder de infectar, debido a que para algunos autores, la evaginación y la motilidad no son sinónimos de infectividad. Geerts y Borchgave (1989), observaron que metacéstodos de Iaenia saquinata irradiados con 0.4 kGy no son infectivos cuando son ingeridos por el hombre, y en un medio de cultivo in vitro evaginan y se mueven. Con respecto a I. solium no se dispone de información sobre el comportamiento de metacéstodos irradiados en el intestino del hombre. Por otro lado, los estudios realizados por Geerts y Borchgave (1989) con metacéstodos irradiados de I. saquinata en dos pequeños grupos de humanos (2 y 3 personas), no han producido resultados convenientes. Con base en esto se optó por llevar a cabo el bioensayo en hamsters; para la prueba biológica, los resultados mostraron que ninguno de los animales que ingirieron metacéstodos irradiados con 7 kGy desarrollaron tenias, mientras que 12 de los 14 controles (a los que se les había dado larvas no irradiadas) tuvieron entre 1 y 5 céstodos cada uno. Las tenias encontradas en los hamsters controles a los 22 días posinfección fueron más anchas y más largas que a los 10 días, lo que coincide con lo observado por Arias (1981). Los escólicex estaban desarrollados a los 10 días con una hilera de pequeños ganchos y las ventosas fueron distinguidas claramente. Las diferencias en la longitud entre los

céstodos desarrollados a los 10 y 22 días fueron en general marcadas, ya que la longitud promedio obtenida a los 10 días fue de 0.7 cm y a los 22 días de 4.0 cm; sin embargo, el intervalo de longitudes encontrado a los 10 días fue de 0.1 a 1.4 cm y a los 22 días de 0.5 a 15 cm, esta última medida solo se observó en un cestodo. Esto indica diferencias individuales en los metacéstodos o los hospederos.

Los resultados muestran claramente una correlación entre el incremento de dosis de radiación, evaginación abatida y no infectividad; se establece que con 7 kGy los metacéstodos no son viables, ya que se reduce a 0% su evaginación y las condiciones del medio que los rodearon en el intestino del hamster no influyeron en su recuperación, seguramente porque los cambios producidos por la irradiación con esta dosis son irreversibles, así los metacéstodos no fueron infectivos. Puede aceptarse por lo tanto que aplicando esta dosis el efecto biológico logrado por la irradiación es la muerte celular, ya que no se encontraron cestodos en el intestino del hamster, lo que elimina la posibilidad de un efecto pasajero de los rayos gamma sobre el metacestodo. El efecto letal de la irradiación, seguramente se debe al daño que sufre el ADN de las células por el efecto indirecto que resulta de la formación de radicales libres producto de la radiolisis del agua intracelular, así como de la interacción entre ellos y con otras moléculas de sustancias orgánicas importantes para el metabolismo celular (27, 76).

Verster (1976), sometió a irradiación metacéstodos de Iaenia solium extraídos de canales porcinos infectadas. Se

evaluaron dosis de radiación entre 0.2 y 1.2 kGy. Observó efectos negativos en la habilidad de las larvas para evaginar in vitro; sin embargo, afirma que entre 0.2 y 1.2 kGy los metacéstodos son infectivos al hamster como los no irradiados. Por otra parte, dice que los cestodos irradiados no crecen ya que algunos finalmente constan solo del escólex y sugiere que la irradiación inhibe la habilidad de las células de la región del cuello para dividirse y así formar nuevos proglótidos.

Los resultados de las pruebas de evaginación de los metacéstodos irradiados por Verster, solo coinciden con la presente investigación, en el efecto negativo producido por la irradiación gamma sobre la habilidad de las larvas para evaginar in vitro, pero no con los tiempos de evaginación; Verster señala que con dosis hasta de 0.8 kGy los metacéstodos evaginan 24 días después y con dosis de 1.0, 1.2 y 1.4 kGy ningún metacéstodo evagina a los 21, 18 y 12 días después, respectivamente. Contrario a esto, en nuestra investigación, los metacéstodos irradiados con dosis entre 4.9 y 6.0 kGy, mucho mayores a las utilizadas por Verster, las evaginaciones ocurren durante las 12 horas siguientes a la incubación después del tratamiento. Una explicación posible a esto, podría ser que Verster haya depositado los metacéstodos en un medio líquido o en una solución de baja concentración y después los expuso a la irradiación. La irradiación produce radiolisis del agua y el efecto indirecto debido a la mayor formación de radicales libres pudo haber sido la causa de estas diferencias. Cabe recordar

que en nuestra investigación, el efecto de la irradiación sobre los metacéstodos de la T. solium se produjo en piezas de carne infestada y aunque la carne contiene gran cantidad de agua libre o no ligada, las sustancias nutritivas de los alimentos tienen un efecto protector sobre los organismos contaminantes presentes, independientemente de la especie, ya que la energía de la radiación es absorbida por todas las moléculas y por lo tanto el efecto indirecto es menos severo respecto a los cambios que induce.

Nuevamente cabe señalar que las condiciones que rodean a los organismos vivientes antes y después de la irradiación, pueden modificar el efecto letal que podría observarse en un medio determinado y no ser así al transferir los organismos a otro medio (26, 76); esto no fue el caso para esta investigación, pues lo que se consideró letal a partir de la evaginación abatida en un medio nutritivo para cultivo con bilis de bovino, lo fue también in vivo, porque no fueron infectivos en hamsters y las condiciones diferentes que rodearon a las larvas no influyeron para su recuperación.

Como se ha podido comprobar, los hamsters son susceptibles a infectarse con metacéstodos de T. solium. Sin embargo, en esta especie experimental los céstodos que se desarrollan, no siempre logran alcanzar su madurez sexual, lo que resulta ser un obstáculo para comprobar que este mismo suceso puede ser provocado con la irradiación. La única forma de poder comprobarlo sería que grupos de seres humanos ingirieran metacéstodos irradiados, pero éticamente esto no procede por el riesgo que implica. Otra forma posible sería, por medio

de pruebas que confirmaran la no infectividad aún en larvas que evaginen, tratadas con dosis bajas (menores de 1.0 kGy), como podría ser la expresión del ADN (ácido desoxirribonucleico) posterior a la irradiación de los metacéstodos.

Por otro lado, el efecto producido por la irradiación sobre algunos grupos de metacéstodos de la I. solium quedó encubierto cuando los controles de esos grupos tuvieron evaginaciones muy bajas, incluso en una ocasión llegó a ser nula, tal como se presentaron en las pruebas 1, 4, 5, 13, 19, 20 y 21. Estas evaginaciones reducidas o nulas, se debieron posiblemente a que los metacéstodos se encontraban afectados por la respuesta del sistema inmunocompetente (celular y humoral) del hospedero. Al respecto, Aluja y Vargas (1989) clasificaron histológicamente en las larvas de I. solium grados de afectación diferentes, dependiendo de la severidad de la reacción inflamatoria tisular, y establecen siete grados que representan numéricamente en orden creciente según la magnitud del daño histológico. Los autores suponen que las larvas que se encuentran en los grados 0, 1, 2 y 3 son viables, en tanto que los metacéstodos que se encuentran en los grados 4, 5 y 6 ya no lo son. Estos grados de afectación diferentes pueden observarse aún en larvas procedentes de un mismo hospedero (cerdo); sin embargo, encontraron una mayor proporción de larvas con grados 4, 5 y 6 en animales viejos. La variación observada en las pruebas de evaginación de los metacéstodos irradiados, también se debe probablemente a diferencias en

la edad de las larvas, pues en general organismos jóvenes son más radiosensibles o susceptibles a los efectos de la irradiación (directos e indirectos) (20). También se ha informado que a mayor dosis de radiación, el tiempo de sobrevivencia para cualquier organismo será menor y en parásitos helmintos puede llegar a producir atrofia o ingravidez que bloquea por completo su desarrollo (20). Así, en este trabajo, con la dosis de 4.9 kGy, se redujo en un 25% la evaginación de las larvas, mientras que con 5.6 kGy aumentó al 50% la incapacidad de evaginar, y con las dosis de 5.7, 5.9 y 6.0 kGy solo evaginó en promedio el 10% (figura 9.a). Una estimación del porcentaje de evaginación con diferentes dosis, a partir del análisis de regresión lineal simple (Cuadro 3.a), muestra el efecto de la irradiación. Posiblemente con estas dosis de radiación, el efecto negativo producido sobre la habilidad de los metacéstodos para evaginar, depende de cambios a nivel celular que se producen en el periodo medio, (durante el cual ocurren las reacciones que llevan al efecto final). En esta etapa, la célula se encuentra en un estado fisiológico indicativo de una alteración de su núcleo y probablemente debido a la acción indirecta de las radiaciones sobre su citoplasma, o aún debido a la activación del medio que rodea a la célula (20, 27). Se considera que las condiciones que rodean a los organismos vivientes antes y después de la irradiación, pueden modificar los efectos aparentemente letales; así, organismos que parecen muertos al mantenerse en un medio, pueden resultar viables al ser transferidos a

otro medio (27).

Con base en los resultados obtenidos puede considerarse la irradiación de canales porcinas, como una medida efectiva para el control de la teniasis humana y de la cisticercosis, ya que es posible romper el ciclo biológico de la T. solium al aniquilar la larva infectante. Simultáneamente, este efecto se aplicaría a otras parasitosis que también se transmiten por la carne de cerdo y en las que se ha comprobado menor radioresistencia con respecto al metacéstodo de la T. solium; tales son los casos de la triquinelosis (4, 48) y de la toxoplasmosis (23, 28 y 83). Por otra parte, se reduciría la carga bacteriana contaminante que también es causa de pérdidas y problemas graves de salud pública. Además, las diferencias sensoriales en la carne no fueron significativas para que sea rechazada por el consumidor y en condiciones óptimas de almacenamiento se prolongaría la vida media del producto. Es importante señalar que la carne irradiada tiene que ser manejada higiénicamente y transportada bajo condiciones de humedad, temperatura y oxígeno atmosférico particulares, ya que por efectos de la irradiación se provoca la destrucción de los antioxidantes presentes naturalmente (ácido ascórbico y vitamina E) (20, 27, 76) y la grasa de la carne estará más propensa al enranciamiento oxidativo si tales condiciones no se controlan. Al respecto, una envoltura de polietileno que cubra las canales antes de ser sometidas al proceso de la irradiación, evitaría el contacto del producto con el medio exterior y las protegería de contaminaciones subsecuentes

durante la manipulación y transporte para su distribución. Esto no cambiaría los resultados obtenidos en nuestro trabajo, pues las porciones anatómicas sometidas a irradiación, fueron previamente introducidas en bolsas dobles de polietileno para disminuir la tensión de oxígeno; así, los metacéstodos de las canales estarían en las mismas condiciones sin contacto con el oxígeno atmosférico. También se ha comprobado que la ausencia de oxígeno les confiere a los microorganismos cierta protección contra el efecto indirecto de la irradiación, porque no participa combinándose en las reacciones desencadenadas durante el proceso (27, 76).

El poder de penetración que caracteriza a la radiación gamma (76), así como el resultado de diversas investigaciones con otros parásitos que infectan la carne (metacéstodo de la T. saginata, quistes de Toxoplasma gondii y larvas de Trichinella spiralis) (4, 12, 23, 28, 38, 48, 83) indican que las fases infectantes distribuidas a diferentes profundidades de la masa muscular de la canal tienen radiosensibilidad similar; sin embargo, será necesario aplicar la irradiación sobre canales en número representativo, para confirmar la efectividad del proceso.

Uno de los inconvenientes más importantes para el uso de la irradiación, es la elevada inversión inicial que supone una planta de irradiación; sin embargo, el costo de la irradiación (una vez instalada la planta) y el gasto de energía que esta exige, pueden compararse favorablemente con los de los métodos convencionales de procesamiento de

alimentos (congelamiento y esterilización por calor (20). En los Estados Unidos se han realizado algunos estudios de factibilidad económica en irradiación de alimentos (86). El costo del proceso se estimó entre 2 y 10 centavos de dólar por kilogramo de producto expuesto, dependiendo del producto y de los requerimientos del proceso. En Mexico, el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) calcula el costo de la irradiación por kilogramo de producto expuesto dependiendo del producto a irradiar y el servicio solicitado que incluye la dosis de radiación.

A P E N D I C E

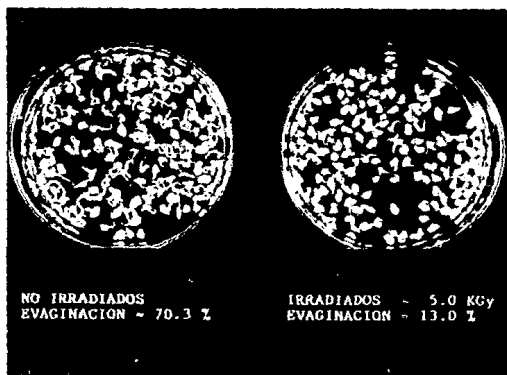


FIGURA 1. EVAGINACION *in vitro* (%) DE METACES
TODOS NO IRRADIADOS E IRRADIADOS CON 5 kgy --
(PRUEBA 5 DEL CUADRO 1).

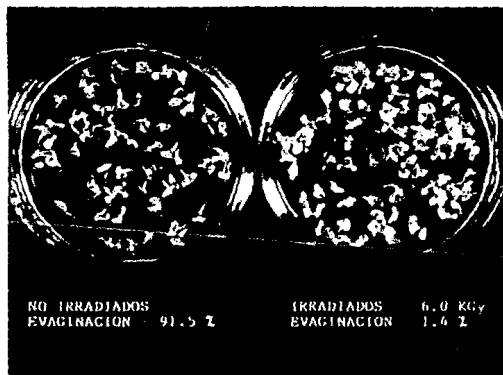


FIGURA 2. EVAGINACION *in vitro* (%) DE METACES
TODOS NO IRRADIADOS E IRRADIADOS CON 6 kgy --
(PRUEBA 9 DEL CUADRO 1).

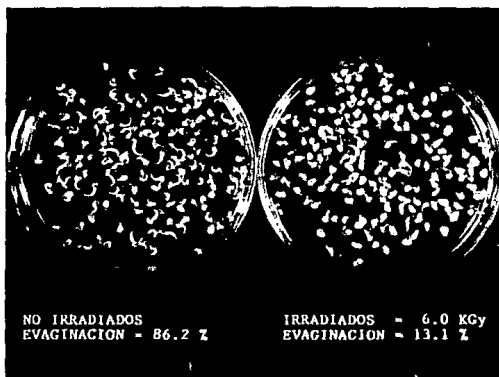


FIGURA 3. EVAGINACION in vitro (%) DE METACES TODOS NO IRRADIADOS E IRRADIADOS CON 6 kGy -- (PRUEBA 10 DEL CUADRO 1).

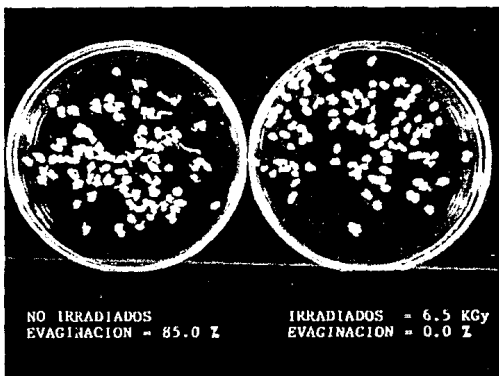


FIGURA 4. EVAGINACION in vitro (%) DE METACES TODOS NO IRRADIADOS E IRRADIADOS CON 6.5 kGy (PRUEBAS 11 y 12 DEL CUADRO 1).

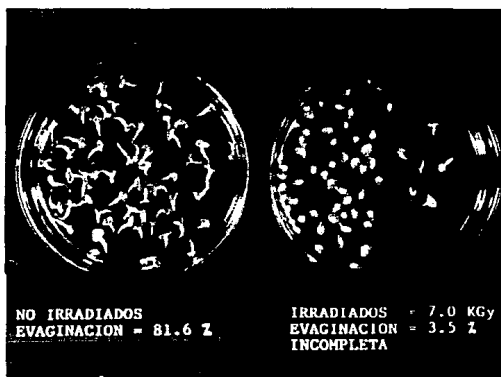


FIGURA 5. EVAGINACION in vitro (%) DE METACES TODOS NO IRRADIADOS E IRRADIADOS CON 7 kg_y -- (PRUEBA 14 DEL CUADRO 1).

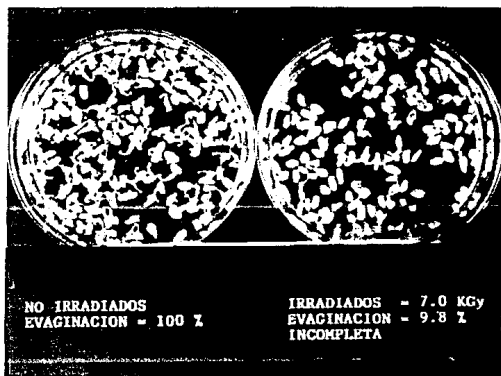


FIGURA 6. EVAGINACION in vitro (%) DE METACES TODOS NO IRRADIADOS E IRRADIADOS CON 7 kg_y -- (PRUEBA 15 DEL CUADRO 1).

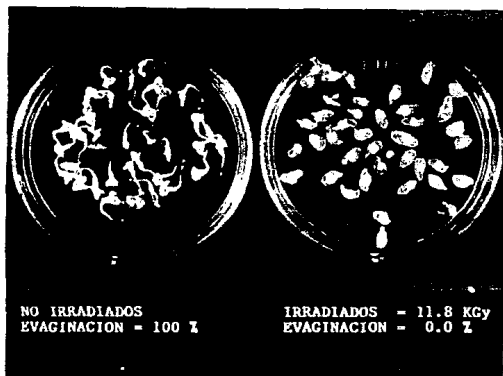


FIGURA 7. EVAGINACION in vitro (%) DE METACES TODOS NO IRRADIADOS E IRRADIADOS CON 11.8 kGy (PRUEBA 22 DEL CUADRO 1).

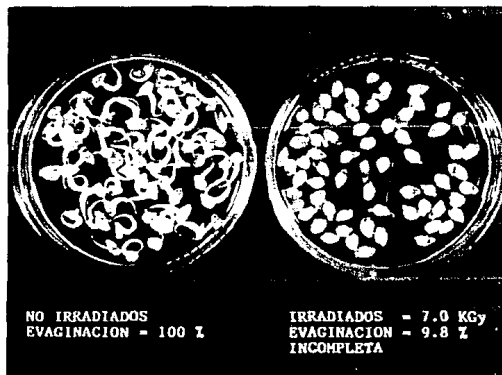
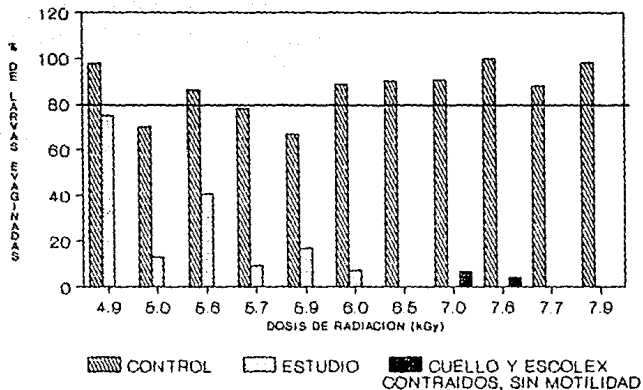


FIGURA 8. EVAGINACION in vitro (%) DE METACES TODOS NO IRRADIADOS E IRRADIADOS CON 7 kGy -- (PRUEBA 15 DEL CUADRO 1).



* Mantenido en medio para cultivo RPMI con L-glutamina, bicarbonato de sodio sin antibiótico y 25% bñis de bovino.

80-160 LARVAS PROBADAS EN CADA GRUPO
 ----- EVAGINACION in vitro NORMAL

Figura 9. Porcentaje promedio de metacés todos (*T. solium*) evaginados no irradiados e irradiados con kilograys (kGy) diferentes, e incubados* durante 12 h. a 37 °C

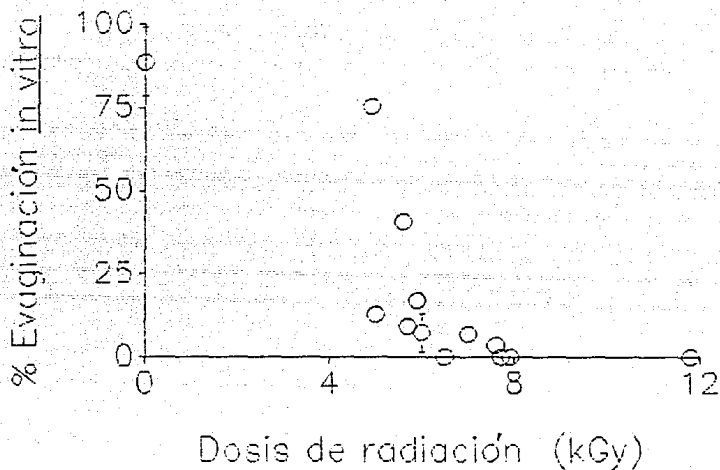


FIGURA 9.a CURVA DE SOBREVIVENCIA A PARTIR DE LA EVAGINACION in vitro DE LOS METACESTODOS (T. solium) IRRADIADOS CON DOSIS DIFERENTES.

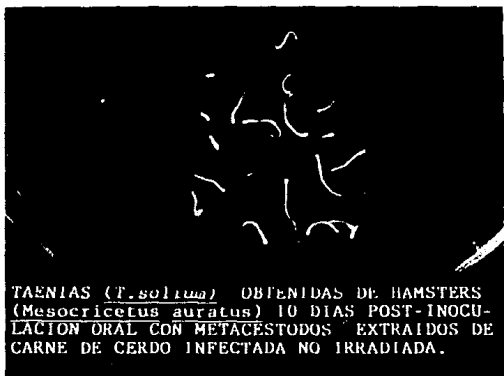


FIGURA 10

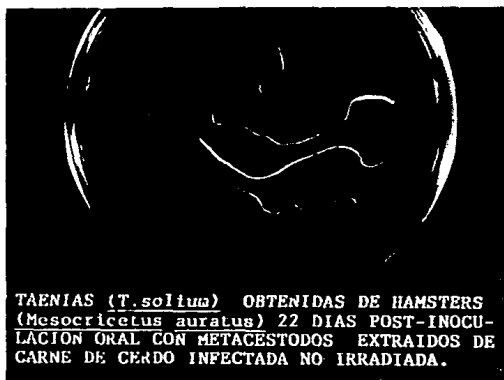


FIGURA 11



FIGURA 11

CUADRO NO. 1 EVAGINACION DE MESTACESTODOS (*T. solium*) OBTENIDOS DE 22 CERDOS, DESPUES DE LA IRRADIACION CON DOSIS DIFERENTES.

NO. CERDO	NO. LARVAS/GRUPO PARA EVAGINACION <i>in vitro</i> (*).		VOLUMEN (μ l) DE C/LARVA		EVAGINACION <i>in vitro</i> (%) DESPUES DE 12 H.		DOSIS IRRAD. (kGy).
	C	E	C	E	C	E	
1	65	65	50	50	37.0	10.0	4.0
2	100	100	40	20	97.0	79.0	4.9
3	100	100	40	20	99.0	72.0	4.9
4	65	65	40	40	3.8	1.5	5.0
5	154	154	43	50	70.13	13.0	5.0
6	80	80	40	40	86.2	40.7	5.6
7	155	155	100	100	78.1	9.3	5.7
8	65	65	41	41	67.0	17.0	5.9
9	160	160	50	50	86.2	13.1	6.0
10	100	100	80	87.5	91.5	1.4	6.0
11	66	66	67	67	85.0	0.0	6.5
12	66	66	67	100	95.0	0.0	6.5
13	95	95	50	50	44.2	4.0 (**)	7.0
14	60	60	60	60	81.6	3.5 (**)	7.0
15	60	60	40	40	100.0	9.8 (**)	7.0
16	75	75	67	50	100.0	4.0 (**)	7.6
17	50	50	60	75	88.0	0.0	7.7
18	100	100	50	50	98.3	0.0	7.9
19	40	40	40	40	0.0	0.0	9.7
20	48	48	100	100	31.2	0.0	9.7
21	49	49	78	89	18.3	0.0	9.7
22	41	41	60	60	97.2	0.0	11.8

LA EVALUACION DE TODAS LAS PRUEBAS DIO COMO RESULTADO QUE 7 kGy SERIA LA DOSIS SELECCIONADA PARA LA DETERMINACION DE LA NO INFECTIVIDAD EN HAMSTERS.

(*) INCUBADAS EN MEDIO PARA CULTIVO RPMI 1640 CON L-GLUTAMINA, BICARBONADO DE SODIO, SIN ANTIBIOTICO Y 25% DE BILIS DE BOVINO A 37°C.

C = GRUPO CONTROL (NO IRRADIADOS).

E = GRUPO ESTUDIO (IRRADIADOS).

(**) ESTOS METACESTODOS NO EVAGINARON: SOLO MOSTRARON UNA PORCION DEL CUELLO Y EL ESCOLEX CONTRAIDOS Y UN POCO FUERA DE LA VESICULA: NO TUVIERON MOTILIDAD.

CUADRO No. 2 PORCENTAJE PROMEDIO DE EVAGINACION in vitro DE METACESTODOS (T. solium) NO IRRADIADOS E IRRADIADOS CON DOSIS DIFERENTES.

EVAGINACION <u>in vitro</u> (%)		DOSIS (kGy).	No. LARVAS/ CADA GRUPO.	No. PBAS.
GRUPOS	CONTROL			
	ESTUDIO			
98.0	75.0	4.9	100	2
70.13	13.0	5.0	154	1
77.1	22.3	5.6/5.7/5.9	80/155/65	3
88.8	7.3	6.0	160/100	2
90.0	0.0	6.5	66	2
90.8	6.6*	7.0	60	2
100.0	4.0*	7.6	75	1
93.15	0.0	7.7/7.9	50/100	2
97.2	0.0	11.8	41	1

* ESTOS METACESTODOS NO EVAGINARON, SOLO MOSTRARON UNA PORCION DE SU CUELLO Y EL ESCOLEX CONTRAIDOS Y LIGERAMENTE POR AFUERA DE SU VESICULA. NO TUVIERON MOTILIDAD.

**CUADRO 3. ANALISIS DE REGRESION LINEAL SIMPLE DEL SEGMENTO DE LA CURVA DE EVAGINACION
COMPRENDIDO ENTRE 4.9 Y 6.0 kGy.**

VARIABLE DEPENDIENTE: PORCENTAJE DE EVAGINACION.

VARIABLE INDEPENDIENTE: DOSIS DE RADIACION GAMMA (kGy).

PARAMETRO	ESTIMACION	ERROR ESTADAR	VALOR T	NIVEL DE PROBABILIDAD
CONSTANTE	382.4397	10.91243	35.046245	.00884
COEFICIENTE DE X	-62.7205	12.61742	-4.97094	.01461

COEFICIENTE DE CORRELACION (r): - 0.9443182

COEFICIENTE DE DETERMINACION (r²): 0.891737 = 89.17%

NUMERO DE OBSERVACIONES: 5

GRADOS DE LIBERTAD: 3

CUADRO 3.a ESTIMACION DEL PORCENTAJE DE EVAGINACION A DIFERENTES DOSIS DE RADIACION ($P < 0.01$).

MODELO: $y = a + bx + E$

PORCENTAJE DE EVAGINACION ESPERADA (y)	DOSIS DE RADIACION EN (kGy) (x)	
0	6.045	(1)
5	5.974	
10	5.90	
15	5.83	
20	5.761	
25	5.690	
30	5.619	
35	5.548	
40	5.977	
45	5.406	
50	5.334	(2)
55	5.263	
60	5.192	
65	5.121	
70	5.050	
75	4.979	
80	4.908	
85	4.837	
90	4.766	
95	4.695	
100	4.624	

(1) ESTIMACION DE LA DOSIS LETAL 100% DE RADIACION GAMMA.

(2) ESTIMACION DE LA DOSIS LETAL 50% DE RADIACION GAMMA.

CUADRO No. 4 *Taenia solium* DESARROLLADAS EN HAMSTERS INMUNOSUPRIMIDOS, INOCULADOS POR VIA ORAL CON METACESTODOS NO IRRADIADOS (CONTROL) E IRRADIADOS CON 7.0 Kgy (ESTUDIO).

4.1 GRUPO ESTUDIO (IA) NECROPSIADOS A LOS 10 DIAS POST-INFECCION.

HAMSTER	NO. LARVAS INOCULADAS	NO. TENIAS DESARROLLADAS	INFECTIVIDAD (%)	LONGITUD DE LAS TENIAS (cm)
1	5	0	0	-
2	5	0	0	-
3	5	0	0	-
4	5	0	0	-
5	5	0	0	-
6	5	0	0	-
TOTAL	30	0	0	-

4.2 GRUPO CONTROL (IB) NECROPSIADOS A LOS 10 DIAS POST-INFECCION.

HAMSTER	NO. LARVAS INOCULADAS	NO. TENIAS DESARROLLADAS	INFECTIVIDAD (%)	LONGITUD DE LAS TENIAS (cm)
1	5	2	40	0.4, 0.9
2	5	5	100	0.6, 0.6, 1.1, 1.2, 1.4
3	5	3	60	0.2, 0.3, 1.0
4	5	3	60	0.1, 0.4, 0.5
5	5	2	40	0.2, 0.4
6	5	1	20	0.7
7	5	3	60	0.6, 1.1, 1.4
TOTAL	35	19	54.2	MEDIA ARITMETICA = 0.7 cm

CUADRO No. 4 *Taenia solium* DESARROLLADAS EN HAMSTERS INMUNOSUPRIMIDOS, INOCULADOS POR VIA ORAL CON METACESTODOS NO IRRADIADOS (CONTROL) E IRRADIADOS CON 7.0 Kgy (ESTUDIO).

4.1 GRUPO ESTUDIO (IA) NECROPSIADOS A LOS 10 DIAS POST-INFECCION.

HAMSTER	NO. LARVAS INOCULADAS	NO. TENIAS DESARROLLADAS	INFECTIVIDAD (%)	LONGITUD DE LAS TENIAS (cm)
1	5	0	0	-
2	5	0	0	-
3	5	0	0	-
4	5	0	0	-
5	5	0	0	-
6	5	0	0	-
TOTAL	30	0	0	-

4.2 GRUPO CONTROL (IB) NECROPSIADOS A LOS 10 DIAS POST-INFECCION.

HAMSTER	NO. LARVAS INOCULADAS	NO. TENIAS DESARROLLADAS	INFECTIVIDAD (%)	LONGITUD DE LAS TENIAS (cm)
1	5	2	40	0.4, 0.9
2	5	5	100	0.6, 0.6, 1.1, 1.2, 1.4
3	5	3	60	0.2, 0.3, 1.0
4	5	3	60	0.1, 0.4, 0.5
5	5	2	40	0.2, 0.4
6	5	1	20	0.7
7	5	3	60	0.6, 1.1, 1.4
TOTAL	35	19	54.2	MEDIA ARITMETICA = 0.7 cm

4.3 GRUPO ESTUDIO (II C) NECROPSIADOS A LOS 22 DIAS POST-INFECCION.

HAMSTER	NO. LARVAS INOCULADAS	NO. TENIAS DESARROLLADAS	INFECTIVIDAD (%)	LONGITUD DE LAS TENIAS (cm)
1	5	0	0	-
2	5	0	0	-
3	5	0	0	-
4	5	0	0	-
5	5	0	0	-
6	5	0	0	-
TOTAL	30	0	0	-

4.4 GRUPO CONTROL (II D) NECROPSIADOS A LOS 22 DIAS POST-INFECCION

HAMSTER	NO. LARVAS INOCULADAS	NO. TENIAS DESARROLLADAS	INFECTIVIDAD (%)	LONGITUD DE LAS TENIAS (cm)
1*	5	1	20	0.3
2*	5	4	80	0.4, 0.5, 0.6, 0.7
3	5	0	0	-
4*	5	?	?	?
5	5	3	60	2.3, 7.2, 15.0
6	5	5	100	0.5, 0.6, 0.6, 0.6, 0.9
7	5	3	60	2.1, 6.0, 9.0
TOTAL	35	16	45.7	MEDIA ARITMETICA = 4 cm MEDIA PODADA = 3.26 cm

* Estos hamster murieron el día +11 post-infección y debido al canibalismo uno de ellos no pudo ser necropsiado (4). Las longitudes de sus tenias (*T. solim*) no fueron tomadas en cuenta para obtener promedios.

CUADRO 5. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE INFECTIVIDAD EN HAMSTER INMUNOSUPRIMIDOS INOCULADOS POR VIA ORAL CON METACESTODOS (T. solium) IRRADIADOS CON 7.0 kGy Y NO IRRADIADOS.

GRUPOS	NO. ANIMALES		NO TENIAS DESARRO-- LLADAS NO. LARVAS INOCULADAS	NO. PROMEDIO DE TENIAS/ ANIMAL		INTERVALO DEL NO. DE TENIAS/ GRUPO	LONGITUD PROMEDIO DE TENIAS/ GRUPO (cm)	INTERVALO DE LONGITUDES DE TENIAS/GRUPO (cm)
	INFECTADOS	NO. ANIMALES INOCULADOS						
IA	0/6	0	0/30	0	0	-	-	
IB	7/7	100	19/35	54.2	2.7=3	1 - 5	0.7	.1 - 1.4
IIC	0/6	0	0/30	0	0	-	-	
IID	5/7*	71.4	16/35	45.7	2.6=3	0 - 5	4.0	.5 - 15
TOTAL (B+D)	12/14*	85.7	35/70	50.0	2.7=3	-	-	-

I sacrificados a los 10 días postinfección

II sacrificados a los 22 días postinfección

A y C Grupos estudio

B y D Grupos control

* 3 animales murieron el día + 11 postinfección y debido al canibalismo UNO de ellos no pudo ser necropsiado. Las longitudes de sus tenias (T. solium) no fueron tomados en cuenta para obtener los promedios ni los intervalos de longitud.

CUADRO NO. 6 EVALUACION SENSORIAL DE CARNE DE CERDO NO IRRADIADA E IRRADIADA CON 7.0 kGy, A PARTIR DE DOS PRUEBAS COMPARATIVAS DIFERENCIALES.

PRUEBA 1				
DEGUSTADOR	CARNE NO IRRADIADA (CONTROL)		CARNE IRRADIADA CON 7.0 kGy (ESTUDIO)	
	CARACTERISTICAS SENSORIALES			
	OLOR	SABOR	OLOR	SABOR
1	SIN CAMBIO	SIN CAMBIO	SIN CAMBIO	SIN CAMBIO
2	SIN CAMBIO	SIN CAMBIO	LIGERAMENTE DIFERENTE	LIGERAMENTE DIFERENTE
3	SIN CAMBIO	SIN CAMBIO	SIN CAMBIO	SIN CAMBIO
4	SIN CAMBIO	SIN CAMBIO	SIN CAMBIO	SIN CAMBIO
5	SIN CAMBIO	SIN CAMBIO	LIGERAMENTE DIFERENTE	LIGERAMENTE DIFERENTE
6	SIN CAMBIO	SIN CAMBIO	SIN CAMBIO	SIN CAMBIO
PRUEBA 2				
1	SIN CAMBIO	SIN CAMBIO	LIGERAMENTE DIFERENTE	LIGERAMENTE DIFERENTE
2	SIN CAMBIO	SIN CAMBIO	LIGERAMENTE DIFERENTE	LIGERAMENTE DIFERENTE
3	SIN CAMBIO	SIN CAMBIO	SIN CAMBIO	SIN CAMBIO
4	SIN CAMBIO	SIN CAMBIO	SIN CAMBIO	SIN CAMBIO
5	SIN CAMBIO	SIN CAMBIO	SIN CAMBIO	SIN CAMBIO

PRODUCTO: LOMO Y ESPALDILLA COCIDOS A VAPOR. LAS MUESTRAS SE COCINARON A $10 \text{ lb/in}^2/10 \text{ min} = 0.70307 \text{ kg/cm}^2/10 \text{ min}$.

CONCLUSION DEL ANALISIS ESTADISTICO: NO EXISTE DIFERENCIA SIGNIFICATIVA AL 5% ENTRE LAS MUESTRAS.

LITERATURA CITADA

1. Acevedo, H. A.: Economic impact of porcine cysticercosis. In: Cysticercosis Present State of Knowledge and Perspectives. Ed. by: Flisser, A., Willms, K., Laclette, J.P., Larralde, C., Ridaura, C., Beltrán, F., 63-68, Academic Press, New York, 1982.
2. Acha, P. y Szyfres, B.: Zoonosis y Enfermedades Transmisibles comunes al Hombre y a los Animales. 2a. ed., OPS/OMS, 1986.
3. Albores, J. y Altamirano, M.: Algunas consideraciones sobre 9412 autopsias realizadas en el Hospital General de México. Gac. Med. Mex. 102: 193 (1971).
4. Alkarmi, I.: Prevalence of food-borne parasitic diseases in Kuwait and the effect of gamma radiation on the infectivity and viability of Trichinella spiralis and T. pseudospiralis. In: Second FAO/IAEA Research Coordination Meeting (RCM) on the Use of Irradiation to Control Infectivity of Food-Borne Parasites, 31-35. FAO/IAEA, Bangkok, Fattaya, Thailand, 1989.
5. Aluja, S. A.: Frequency of porcine cysticercosis in Mexico. In: Cysticercosis: Present State of Knowledge and Perspectives. Ed. by: Flisser, A., Willms, K., Laclette, J.P., Larralde, C., Ridaura, C., Beltrán, F., 53-62, Academic Press, New York, 1982.
6. Aluja, S. A., Escobar, A., Escobedo, F., Flisser, A., Laclette, J.P., Larralde, C., Madrazo, I., Velázquez, V. y Willms, K.: Cisticercosis Una Recopilación Actualizada de los Conocimientos Básicos para el Manejo y Control de la Cisticercosis causada por Taenia solium. 1a. ed., Biblioteca de la Salud, Fondo de Cultura Económica e Instituto Nacional de Salud Pública, México, D.F., 1987.
7. Aluja, S. A. and Vargas, G.: The histopathology of porcine cysticercosis. Vet. Parasitol., 28:65-77 (1988).
8. Arias, N. J.: Efecto del acetato de cortisona sobre el desarrollo de la Taenia solium en hamsters dorados (Mesocricetus auratus). Tesis de licenciatura, Fac. de Med. Vet. y Zoot., Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F., 1981.
9. Avilés, B. F.: Situación de la cisticercosis en México en el periodo de 1974 a 1978. Tesis de licenciatura. Fac. de Med. Vet. y Zoot., Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F., 1980.
10. Barret, J.: Bioenergetics in helminths. In "Biochemistry of parasites and host-parasites relationships". Ed. by: Van den Bossche, 67-80, Biomedical Press Amsterdam, Elsevier / North - Holland, 1976.

11. Bartels, H.: Inspección Veterinaria de la Carne. ed. Acribia, Zaragoza, España, 1971.

12. Becker, R.L.A.: A determination of the radioactivity induced in foods as a result of irradiation by electrons of energy between 10 and 16 MeV. US Army Natick Research and Development Command, 1979.

13. Browell, L. E.: Radiation Uses in Industry and Science. Atomic Energy Commission. U.S., 1961.

14. Bulent, M., Aibay, M., and Emre, Z.: Inhibition of infectivity of Cysticercus bovis by irradiation of meat. In: Second FAO/IAEA Research Coordination Meeting (RCM) on the Use of Irradiation to Control Infectivity of Food-Borne Parasites, 27-29. FAO/IAEA, Bangkok, Pattaya, Thailand, 1989.

15. Cañedo, L., Lacleste, J.P. y Morales, E.: Evagination of the metacestode of Taenia solium. In: Cysticercosis: Present State of Knowledge and Perspectives. Ed. by: Flisser, A., Willms, K., Lacleste, J.P., Larraide, C., Ridaura, C., Beltran, F., 363-373, Academic Press, New York, 1982.

16. Castillo, R. M.R. y Quiroz, R. H.: Efectividad del prazicuantel y del nitroxinil sobre formas inmaduras de Taenia solium en cricetos. Vet. Mex., 18: 203-205 (1987).

17. Cervantes, V. M.: Consumo de oxígeno por el cisticerco de la Taenia solium con y sin evaginación in vitro. Tesis de maestría. Fac. de Med., Universidad Nacional Autónoma de México., México, D.F., 1987.

18. Comisión FAD/DMS del Códex Alimentarius. Codex General Standard for Irradiated Foods and Recommended International Code of Practice for the Operation of Radiation Facilities Used for the Treatment of Foods. Vol. XV. Roma, FAO, 1984.

19. Correa, D., Lacleste, J.P., Rodríguez del Rosal, Merchant, M. and Flisser, A.: Heterogeneity of Taenia solium cysticerci obtained from different naturally infected pigs. J. Parasitol., 73(2):443-445 (1987).

20. Council for Agricultural Science and Technology. Report on "Ionizing Energy in Food Processing and Pest Control". Ed. by: Ralston J. Graham, Lincoln, Nebraska, with assistance from the CAST headquarters staff. 1987.

21. Chadwick, K. H., Ehlermann, D. A.E. and McLaughlin, W. L. Manual of Food Irradiation Dosimetry, Report Serie 178. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, 1977.

22. Chang-Cun, S: Studies on the use of irradiation to control infectivity of food-borne parasites (Paragonimus westermani, Clonorchis sinensis). In : Second FAO/IAEA Research Coordination Meeting (RSM) on the Use of Irradiation

to Control Infectivity of Food-Borne Parasites, 11 and 12. FAO/IAEA, Bangkok, Pattaya, Thailand, 1989.

23. Chang-Cun, S: Use of cobalt-60 irradiation to control infectivity of Toxoplasma gondii. In: Second FAO/IAEA Research Coordination Meeting (RCM) on the Use of Irradiation to Control Infectivity of Food-Borne Parasites, 15-18. FAO/IAEA. Bangkok, Pattaya, Thailand, 1989.

24. Damont, V. L. J.: Desconocimiento de la epidemiología de la cisticercosis en México. Salud Pública en México, 25:3 (1983).

25. Dawson, E. H., Gragnoro, J. L. and Mc Manus: Sensory testing of differences in taste, selection of panel members. Food Techn., 17(10):3943 (1963).

26. Dempster, F. J.: Radiation preservation of meat and meat products: A review. In Meat Science. Ed. by: Elsevier Applied Science Publishers Ltd, 12:61-89, England, 1985.

27. Desrosier, N. W.: The Technology of Food Preservation. 2th. ed. The Avi Publishing Company, Inc. Westport, Connecticut, U.S., 1963, 12a. impresión en español. Cia. Editorial Continental, Mexico, 1982.

28. Dubey, J. P., Brake, R. J., Murrell, K. D. and Fyer, R.: Effect of irradiation on the viability of Toxoplasma gondii cysts in tissues of mice and pigs. Am. J. Vet. Res. 47:518-522 (1986).

29. Escobar, I. A.: Patología de la neurocisticercosis. En: Cisticercosis Humana y Porcina. Su Conocimiento e Investigación en México. Ed. por: Flisser, A. y Malagón, F., 89-94, CONACYT, Noriega Editores, Limusa, México, D.F., 1989.

30. FAO/IAEA/DMS/ITC-UNCTAD/GATT. La irradiación de alimentos no debe asociarse a la radiactividad. Conferencia sobre Aceptación, Control y Comercio de Alimentos Irradiados. Ginebra, 1988. Bol. Sanit. Panam., 106 (6):547-548 (1989).

31. Flisser, A., Bulnes, I., Díaz, M., Luna, R., Woodhouse, E., Beltrán, F., Martínez, I., y Larralde, C.: Estudio seroepidemiológico de la cisticercosis humana en poblaciones predominantemente indígenas y rurales del estado de chiapas. Arch. Invest. Med., México. 3:107 (1976).

32. Flisser, A., Pérez-Montfort, R., and Larralde, C.: The immunology of human and animal cysticercosis: A Review. Bull. WHO 51:839 (1979).

33. Flisser, A., Woodhouse, E. and Larralde, C.: Human cysticercosis: antigens, antibodies and non-responders. Clin. Exp. Immunol. 39:27 (1980).

34. Flisser, A.: Cysticercosis: A major threat to human

- health and livestock production. Food. Techn. 39:61-64 (1985).
35. Gemmell, M.: Guidelines for surveillance, prevention and control of taeniasis/cysticercosis. Ed. by: Z. Matyas, Z. Pawlowski, E.J.L. Soulsby, in cooperation with C. Larralde, G.S. Nelson, B. Kosicky. 1984.
36. García-González, F., Romero, M., Díaz, F. y Cañedo, L.: The chemical composition of the vesicular fluid of cysticerci of Taenia solium. J. Parasit., 72(4): 569-577, 1982.
37. Geerts, S and Borchgrave, J.: Susceptibility of Taenia saginata metacestodes to gamma irradiation and shelf-life extension of the treated meat. In: Second FAO/IAEA Research Coordination Meeting (RCM) on the Use of Irradiation to Control Infectivity of Food-Borne Parasites, 25 and 26. FAO/IAEA, Bangkok, Pattaya, Thailand, 1989.
38. Goldsmith, R. S., Kagan, I. G., Reyes-González, M. A. y Ferreira, J.: Estudios seroepidemiológicos realizados en Oaxaca, México. I Encuesta de anticuerpos parasitarios mediante la prueba de hemaglutinación indirecta. Bol. Of. Sanit. Panamer., 69: 500 (1971).
39. Hilwig, R. W., Cramer, J. D. and Forsythe, K. S.: Freezing times and temperatures requerid to kill cysticerci of Taenia saginata in beef. Vet. Parasitol., 4:215 (1978).
40. Institute of Food Technologist's Expert Panel on Food Safety and Nutrition. Radiation Preservation of Foods. Food Techn., 55-80 (1983).
41. International Consultive Group on Food Irradiation Task Force Meeting on the Use of Irradiation to Ensure Hygienic Quality of Food (ICGFI): WHO/EHE/FOS/87 . 2, Vienna, 1986.
42. Jacek, S. S. and Kirt, S. R.: Low-Dose Irradiation: A promising option for trichina-safe pork certification. International Conference on Radiation Desinfestation of Food and Agricultural Products. Honolulu, Hawaii, nov., 14-18 (1983).
43. Jong-Yil, Ch., Sung-Tae, H., Woon-Mok, S. and Soon-Hyung, L.: The effects of gamma-irradiation on survival and development of Clonorchis sinensis metacercariae. In: Second FAO/IAEA Research Coordination Meeting (RCM) on the Use of Irradiation to Control Infectivity of Food-Borne Parasites, 9 and 10. FAO/IAEA, Bangkok, Pattaya, Thailand, 1989.
44. Kamiya, M.: Radiation sensitivity of Angiostrongylus cantonensis and A. costaricensis. In: Second FAO/IAEA Research Coordination Meeting (RCMO) on the Use of Irradiation to Control Infectivity of Food-Borne Parasites, 2-4. FAO/IAEA, Bangkok, Pattaya, Thailand, 1989.
45. Kasprzak, W.: Effect of low-dose irradiation on

Trichinella spiralis isolates. In: Second FAO/IAEA Research Coordination Meeting (RCM) on the Use of Irradiation to Control Infectivity of Food-Borne Parasites, 36 and 37. FAO/IAEA, Bangkok, Pattaya, Thailand, 1989.

46. Laclette, J.F. y Lazzano, A.: El origen y la evolución de los cístodos: Una nueva hipótesis. En: Cisticercosis Humana y Porcina. Su Conocimiento e Investigación en México. Ed. por: Flisser, A. y Malagón, F., 7-11, la ed. CONACYT, Noriega Editores, Limusa, México, D.F., 1989.

47. Lawrie, R. A.: Meat Science. 2a. ed. española, Acribia, Zaragoza, España, 1977.

48. Lombardo, L., Mateos, J. H. y Estañol, B.: La cisticercosis cerebral en México. Gac. Med. Mex., 118(1):1-16, 1982.

49. López, B. J.: Situación actual de la epidemiología de la cisticercosis en México. Tesis de licenciatura. Fac. de Med. Vet. y Zoot., Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F., 1981.

50. Luna, C. P. y Reyes, L. J.: Situación Internacional de la Irradiación de Alimentos. II Seminario sobre Irradiación de Alimentos. Centro Nuclear, Salazar, México, 1987.

51. Mateos, J. H.: La cisticercosis cerebral en México, II Frecuencia. Gac. Med. Mex., 118:2-4 (1982).

52. Martínez-Zedillo, G., Rebolledo, C. P., y Barrera, R. R.: Composición bioquímica del líquido intravesicular de Cysticercus cellulosae obtenido de cerdos. VI Reunión Anual de Parasitología Veterinaria. Morelia, Mich., 1985, 56. Asociación Mexicana de Parasitología Veterinaria.

53. Mazzotti, L.: La fritura como medio para tratar la carne cisticercosa del cerdo. Rev. Ent. Trop. Mex., 21:119-124 (1961).

54. Mazzotti, L., Dávalos, A. y Martínez-Marañón, R.: Infecciones naturales y experimentales por Cysticercus cellulosae en diferentes especies de mamíferos. Revista del Instituto de Salubridad y Enfermedades Tropicales de México., 25:151-162 (1965).

55. Merrit, C., Bresnick, S., Bazinet, M., Walsh, J. and Angelini, P.: Determination of volatile components of food stuffs. Techniques and their Application to Studies of Irradiated Beef. J. Agr. Food Chem., 7:784 (1959).

56. Merrit, C. Jr., Angelini, P. and Nawar, W.: Chemical analysis of radiolysis products relating to the wholesomeness of irradiated food. In: "Food Preservation by Irradiation", Vol. 11, STI/PUB/470, IAEA, Vienna, 1978.

57. Morrison, R. M. and Roberts, T. A.: Food irradiation: New

perspectives on a controversial technology. A review of technical, public health and economic considerations. Office of Technology Assessment, Congress of the United States. Washington D.C., 1985.

58. Nawar, W. W.: Radiolytic changes in fats. Radiation Res. Rev., 3(4):327-334, 1972.

59. Organización Mundial de la Salud. Bases técnicas para la legislación referente a los alimentos irradiados. Informe de un Comité Mixto FAO/OIEA/OMS de Expertos. Ginebra, 1966. Serie de Informes Técnicos 316.

60. Organización Mundial de la Salud. La comestibilidad de los alimentos irradiados. Informe de un Comité Mixto FAO/OIEA/OMS de Expertos. Ginebra, 1977. Serie de Informes Técnicos 604.

61. Organización Mundial de la Salud. La comestibilidad de los alimentos irradiados. Informe de un Comité Mixto FAO/OIEA/OMS de Expertos. Ginebra, 1981. Serie de Informes Técnicos 659.

62. Pawel, C.: Devitalization of cysticerci by gamma irradiation. In: Elimination of Harmful Organism from Food and Feed by Irradiation. Panel Proceedings Series, 91, International Atomic Energy Agency, Vienna, 1968.

63. Plough, I. C.: An evaluation in human beings of acceptability, digestibility and toxicity of pork sterilized by gamma radiation and stored at room temperature. Presented to the Joint Committee on Atomic Energy, U.S. Congress, 1960.

64. Quiroz, R. H.: Parasitología y Enfermedades Parasitarias de Animales Domésticos. Ed. Limusa, México, D.F., 1984.

65. Reyes, L. J. y López, V. H.: Irradiación de Alimentos. II Seminario sobre Irradiación de Alimentos. Centro Nuclear, Salazar, México, 1987.

66. Robinson, J. T.R. and Chambers, P. G.: Observations on Cysticercus cellulosae cyst at low swine herd. J. Am. Vet. Med. Assoc., 146:366 (1976).

67. Rojekittikhun, W.: Effects of cobalt-60 gamma radiation on Gnathostoma spinigerum larvae. In Second FAO/IAEA Research Coordination Meeting (RCM) on the Use of Irradiation to Control Infectivity of Food-Borne Parasites, 5 and 6. FAO/IAEA, Bangkok, Pattaya, Thailand, 1989.

68. Sánchez, V. M., Toledo, F. y Del Pozo, C.: Eliminación de cisticercos de la carne de cerdo mediante radiación gama. Seminario de América Latina sobre Aplicaciones Industriales de las Radiaciones, Quito, Ecuador, 1988. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. CONUEP, Quito.

69. Sarti, E.: Epidemiología de la Taeniasis/Cisticercosis.

En: Cisticercosis Humana y Porcina. Su Conocimiento e Investigación en México. Ed. por: Flisser, A. y Malagón, F., 233-240, 1a. ed., CONACYT, Noriega Editores, Limusa. México, D.F., 1989.

70. Schenone, H.: Epidemiology of human cysticercosis in Latin America. In: Cysticercosis: Present State of Knowledge and Perspectives. Ed. by: Flisser, A., Willms, K., Lacleste, J.F., Larralde, C., Ridaura, C. and Beltrán, F., 63-68, Academic Press, New York, 1982.

71. Secretaría de Salud. Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Control Sanitario de Actividades, Establecimientos, Productos y Servicios, (Publicado en el Diario Oficial de la Federación, el 18 de enero de 1988).

72. Sornmani, S.: The study of irradiation to control liver fluke infection Opisthorchis viverrini in Thailand. In: Second FAO/IAEA Research Coordination Meeting (RCM) on the Use of Irradiation to Control Infectivity of Food-Borne Parasites, 7 and 8. FAO/IAEA, Bangkok, Pattaya, Thailand, 1989.

73. Treviño, C., Negrón-Mendoza, A., Fedraza, L.J. y Albarrán, G.: Dosimetría de la Unidad Gammabeam 651 PT. Informe técnico Q-03-87. Instituto de Ciencias Nucleares. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F., 1987.

74. Urbain, W.M.: Food irradiation. Food science and technology. A series of monographs. Academic Press, INC, Orlando, Florida, U.S. 1986.

75. Van Kooij-Robins.: Gamma irradiation elimination of C. bovis in meat. In: Elimination of Harmful Organisms from Food and Feed by Irradiation, Proc. Panel Zeist, FAO/IAEA, 1967.

76. Verster, A.: The golden hamsters as a definitive host of Taenia solium and Taenia saginata. Onderstepoort, J. Vet. Res., 41(1) 23-28 (1974).

77. Verster, A., Du Plessis, T. A. and Van Den Heever, L. W.: The effect of gamma radiation on the cysticerci of Taenia solium. Onderstepoort, J. Vet. Res., 43(1) 23-26 (1976).

78. Verster, A., Du Plessis, T. A. and Van Den Heever, L. W.: Sterilisation of cysticerci with gamma radiation. Onderstepoort, J. Vet. Res., 10: 1-3 (1976).

79. Villagrán, J. y Olvera, E. J.: La cisticercosis en el material de autopsia del Hospital General de México. En: Cisticercosis. Su Conocimiento e Investigación en México. Ed. por: Flisser, A. y Malagón, F., 97-105, 1a ed. CONACYT, Noriega Editores, Limusa. México, D.F., 1989.

80. Weinling, H.: Tecnología Práctica de la Carne. Acribia, Zaragoza, España, 1973.

81. Wikerhauser, T.: Irradiation to control infectivity of Toxoplasma gondii in edible porcine and ovine tissues. In: Second FAO/IAEA Research Coordination Meeting (RCM) on the Use of Irradiation to Control Infectivity of Food-Borne Parasites, 19 and 20. FAO/IAEA, Bangkok, Pattaya, Thailand, 1989.
82. Woodhouse, E., Flisser, A. and Larralde, C.: Epidemiology of human cysticercosis in Mexico. In: Cysticercosis: Present State of Knowledge and Perspectives. Ed. by: Flisser, A., Willms, K., Lachette, J.F., Larralde, C., Ridauro, C. and Beltrán, F., 11, Academic Press, New York, 1982.
83. WHO. The role of food safety in health and development. Technical Report Series No. 705, World Health Organization, Geneva, Switzerland, 1984.
84. WHO. Food irradiation. In point of fact. Technical Report Series No. 40, World Health Organization, 1987.
85. Weis, F.J. and Sree, K.K.: Antioxidant mechanisms in radiation injury and radioprotection. In: Cellular antioxidant defense mechanisms, cap. 24, vol. 11, p 163-183. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida, 1988.
86. IAEA. Food Processing by Irradiation: World facts and trends. IAEA New Features, number 5, Vienna, Austria, 1989.