

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ciencias y Humanidades
Departamento de Ingeniería Química

METODOLOGIA DE IRRADIACION Y REFRIGERACION
DEL BANANO : DISEÑO PRELIMINAR DE UNA
PLANTA DE IRRADIACION DE BANANOS

ANA MARIA GALINDO ROBLEDO



Guatemala

1995

METODOLOGIA DE IRRADIACION Y REFRIGERACION DEL BANANO:
DISENO PRELIMINAR DE UNA PLANTA DE IRRADIACION DE
BANANOS

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ciencias y Humanidades
Departamento de Ingeniería Química

METODOLOGIA DE IRRADIACION Y REFRIGERACION
DEL BANANO : DISEÑO PRELIMINAR DE UNA
PLANTA DE IRRADIACION DE BANANOS

ANA MARIA GALINDO ROBLEDO

Trabajo de investigación presentado para optar
el grado académico de
Licenciatura en Ingeniería Química

Guatemala

1995

Vo.Bo.:

(f)



Ingeniera Mayra Patricia Peña
Asesora

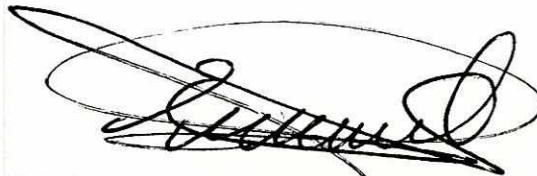
Tribunal:

(f)



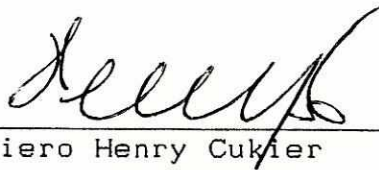
Ingeniera Mayra Patricia Peña

(f)



Ingeniero Eduardo Calderón

(f)



Ingeniero Henry Cukier

Fecha de aprobación : 25 de Septiembre de 1995.

A MIS PADRES

A MI HERMANA

Ileana Ivonne

A MIS HERMANOS

Luis Raúl y
Raúl Alfredo

A MIS SOBRINAS

María Alejandra y
Luisa María

A MI SOBRINO

Todd Luis

Agradezco la valiosa colaboración de:

Ingeniera Mayra Patricia Peña,
Ingeniero Jaime Cáceres Knox,
Señora Verónica Cáceres de Samayoa,
Señora Doris Chour Lambour,
Bananos de Guatemala (BANDEGUA) y
Conservas y Alimentos S.A. (CONSALSA)

RESUMEN

El cultivo del banano es de gran trascendencia para la economía del país. Proyectos como el que se presenta, contribuyen a diversificar la orientación de la comercialización del banano, ayudando a la estabilización de mercados.

Se irradia banano usando una dosis de 25 Krad. Se utilizó un irradiador Dynarad 5L, que contiene una fuente de Cobalto-60, el cual es propiedad de la Dirección General de Energía Nuclear del Ministerio de Energía y Minas.

Para irradiar el banano, se colocó en bolsas plásticas con orificios, en quintuplicado. Ya finalizada la irradiación el banano fue colocado en una refrigeradora a catorce grados Celsius. También se contó con un banano "testigo 1" sin refrigerar ni irradiar, con un banano "testigo 2" sin irradiar, pero sí refrigerado a 14 grados Celsius y con un grupo de bananos "testigo 3" irradiado a 25 Krad pero no refrigerado. Se mantuvo a temperatura ambiente.

Tanto el banano "testigo 1", "testigo 2" y el irradiado, no refrigerado, fueron los que más rápido maduraron, en comparación con el banano refrigerado e irradiado que tardó más tiempo en madurar, siendo su vida útil de:

BANANO	VIDA UTIL DEL BANANO (días)
testigo 1	12
testigo 2	18
irradiado no refrigerado	21
irradiado refrigerado	47

Se realizo un diseno preliminar de la planta de irradiacion localizada en Puerto Barrios.

La fuente a usar, es de Cobalto-60 con una actividad de diez mil curies. Para que el banano reciba una dosis de 25 Krad, se tarda un tiempo de irradiacion de 28.0 minutos.

Se utilizo un blindaje de piscina, cuando la fuente no se usa. Las paredes de la planta, son de concreto de 1.70 m de espesor.

Es un proceso continuo, cuya banda a usar es de nylon con cloruro de polivinilo (PVC); tambien se utiliza un motor de velocidad variable para la banda.

I N D I C E

I.	INTRODUCCION	1
II.	ANTECEDENTES	3
	Definiciones	3
	A. Historia	4
	1. Fuentes de radiación	5
	a. Rayos X	6
	b. Rayos Gamma	6
	c. Radiación Ultravioleta	7
	B. ALIMENTOS	8
	1. Proceso de irradiación	9
	2. Rayos Gamma en alimentos	9
	3. Ventajas de la radiación gamma en alimentos.	10
	4. Pruebas de mercadeo	14
	C. INTERACCION DE LA RADIACION CON LA MATERIA	15
	D. DOSIMETRIA	16
III.	JUSTIFICACION	22
IV.	OBJETIVOS	24
V.	HIPOTESIS	25
VI.	METODOLOGIA	26
VII.	RESULTADOS	27
VIII.	DISCUSION DE RESULTADOS.....	36
IX.	CONCLUSIONES	40
X.	RECOMENDACIONES.....	41
XI.	BIBLIOGRAFIA	43
	ANEXOS	45

I. INTRODUCCION

Uno de los principales objetivos de la tecnología, ha sido y sigue siendo la búsqueda de métodos adecuados para la preservación de los alimentos. La preservación en este sentido, implica no sólo la prolongación del período de almacenamiento del alimento, sino también la conservación de sus nutrientes, de su condición y estructura física y química, de su calidad y de su aceptabilidad para el público consumidor. Ultimamente, se ha reconocido que la preservación de alimentos por irradiación, no es una fantasía como se imaginó al inicio de la investigación en este campo. La investigación ha demostrado las ventajas y desventajas del proceso. Aunque el proceso parece tener desventajas para la preservación de ciertos alimentos, la evidencia total indica que el proceso será aplicado en el futuro para la preservación de la mayor parte de los alimentos.

En Guatemala, el banano es una fruta de gran importancia económica. El 89% del banano cosechado, se exporta tanto a Estados Unidos como a los países europeos. Pero últimamente, ha habido muchos problemas en la exportación del banano, ya que hay mucha competencia con otros países y los países importadores, son cada vez más exigentes con la calidad del producto. Además, la cantidad de banano que se tira a la basura mensualmente, debido a su rápida maduración, es bastante grande. Alrededor de cuatrocientos cincuenta y cinco mil kilogramos de banano mensuales. Esto implica una gran pérdida para las com-

pañías bananeras. Por estas razones, las compañías bananeras de Guatemala, principalmente BANDEGUA, se interesan en un método que pueda contribuir al aumento de la vida útil del banano.

En esta época, se están buscando nuevas alternativas para el tratamiento postcosecha de los alimentos. La radiación gamma, ha demostrado ser efectiva en contra de varias plagas postcosecha de muchas frutas tales como mango, banano y papaya. Además de inhibir varios microorganismos que dañan el alimento, también se logra aumentar la vida útil de la fruta.

En el presente trabajo, se irradiará la fruta, (en este caso banano), utilizando la dosis de radiación gamma que proporciona mejor resultado. Almacenando la fruta a 14°Celsius, que es la temperatura a la cual la fruta es exportada, el banano irradiado se comparará con el banano testigo, el cual no está irradiado. Para realizar un trabajo más completo, se hará un diseño preliminar de la planta de irradiación necesaria en Guatemala. Lugar de instalación: Puerto Barrios. Datos proporcionados por BANDEGUA, que es una de las compañías bananeras más grande, encargada de la exportación de bananos en Guatemala. La irradiación del banano se realizará en quintuplicado.

II. ANTECEDENTES

DEFINICIONES

Curie: (Ci) es una unidad de radioactividad definida como la cantidad de cualquier nucleido radioactivo, en el cual el numero de desintegraciones por segundo es de 3.7×10^{10} .

Dosis absorbida: cantidad de energía absorbida por unidad de masa irradiada.

Electrovoltio: energía cinética que adquiere un electrón al atravesar en el vacío una diferencia de potencial de un voltio. Equivale aproximadamente a 1.60219×10^{-19} Julios (J). Su símbolo es: ev.

Fuente de radiación: aparato o material que emite o es capaz de emitir radioaciones ionizantes.

Irradiar: someter a un material a la acción de la radiación.

Isótopo: cada uno de los distintos núclidos que tienen el mismo número atómico y por tanto, pertenecen al mismo elemento químico, pero difieren entre sí en el número másico.

Rad: esta unidad, depende solo de la cantidad de energía absorbida por unidad de masa de la substancia irradiada y no de la energía o tipo de radiación, ni de la naturaleza del cuerpo absorbente. El rad se define como la cantidad de energía transmitida a la materia por las radiaciones ionizantes, por unidad de masa de la sustancia irradiada, en el lu

gar que interesa. Un rad es equivalente a 100 erg/gr. Así pues, el rad denota exclusivamente la cantidad de energía absorbida, sin considerar el tipo de radiación ionizante o el tipo de medio de absorción.

$$1 \text{ rad} = 10 \text{ krad} = 100 \text{ erg/g} = 10 \text{ J/kg} = 10 \text{ kGY}$$

kGY=kiloGray. Un Gray equivale a 1J/kg de materia irradiada

Radiación: energía que se propaga a través del espacio en forma de ondas electromagnéticas o partículas (fotones).

Radioisótopo: isótopo de los elementos naturales o artificiales que emite radiaciones ionizantes.

Unidades: la cantidad de energía absorbida en los alimentos (dosis) determina el tipo y la extensión de los cambios que se producirá en el material irradiado. Las unidades usadas en irradiación de alimentos son el Gray (equivale a 1 J/kg de materia irradiada) y sus múltiplos. Hasta hace poco, se usaba la unidad denominada rad (equivalente a 100 erg/g de material irradiado).

A. HISTORIA

El descubrimiento de los rayos X por W. K. Roentgen en 1895 y el descubrimiento de sustancias radioactivas por H. Becquerel en 1896, condujeron a investigaciones intensas sobre los efectos biológicos de estas radiaciones (1).

Inicialmente, la mayoría de las irradiaciones se hicie

ron con rayos X, los cuales se producen cuando electrones de un acelerador son detenidos en materiales, preferiblemente de átomos con un número atómico alto, como el tungsteno. En esta época, las fuentes eran muy costosas y por ello no se pudieron llevar a cabo las aplicaciones prácticas. No fue sino hasta mediados de 1940 cuando la irradiación de alimentos volvió a tomar interés. Cuando Huber, en 1945, sugirió usar un acelerador de electrones, para preservar el alimento. Pero los aceleradores en esos días eran muy costosos y de poca confianza para la aplicación en industrias. A principios de 1950, el precio de cobalto-60 se redujo significativamente, por lo que la compañía Johnson & Johnson tomó la decisión de cambiar la irradiación por Co-60 de rayos gamma. A principios de los años 60, la compañía Riso de Dinamarca demostró que un acelerador lineal de 10 MeV (Megaelectrón-Volt) podía operarse con confianza par la esterilización de productos medicinales (17).

1. FUENTES DE RADIACION

Actualmente, se cuenta con varias fuentes de radiaciones ionizantes, tales como rayos "X", rayos Gamma, partículas Alfa y Beta, protones y neutrones y además, radiación ultravioleta (UV). Aunque ésta última, no es una radiación ionizante de las longitudes de onda comúnmente empleadas. Los

rayos X, rayos gamma y la luz UV se diferencian por su longitud de onda (10 y 0.001 nm (nanómetros) para rayos X y rayos gamma respectivamente. En comparación con 2 o 3 mil nm para la luz UV determinan la poca similitud que existe en su uso práctico. Es deseable usar maquinas que produzcan radiaciones de onda corta (rayos X duros) ya que su penetración es mayor que la de los rayos X de longitud de onda más larga (6, 11).

a. RAYOS "X"

Los rayos X o de Roentgen, son rayos luminosos no perceptibles a simple vista que, bajo la acción de una corriente eléctrica, nacen dentro de una ampolla de cristal, donde se ha hecho el vacío a la perfección. Los rayos X, atraviesan casi todos los cuerpos opacos a la luz ordinaria, impresionan las placas fotográficas, iluminan las sustancias fluorescentes y poseen propiedades terapéuticas (16).

b. RAYOS GAMMA

Es una clase de radiación electromagnética, similar a las ondas de radio, luz visible, microondas, rayos UV, etc. Sin embargo, la diferencia que le da propiedades de ionizar y atravesar la materia, esta en su frecuencia, que es muy alta. Los rayos gamma, tienen una longitud de onda menor que la de los rayos X, que los hacen tener mayor energia por fotón

(16, 20).

Los rayos gamma, pueden ser penetrantes y atravesar el cuerpo humano de parte a parte, pero quedan casi completamente absorbidos por una capa de concreto de un metro de espesor. Un rayo gamma, es de longitud muy corta. Carece de masa en reposo, de carga eléctrica y se propaga a una velocidad igual a la velocidad de la luz (aproximadamente 3×10^8 m/s en el vacío), (20).

En la producción industrial de rayos gamma, se emplean normalmente los nucleidos ^{60}Co y ^{137}Cs . La radiación gamma de ^{60}Co tiene una energía de un millón de electrón-voltio y una longitud de onda de 10 m. Fuentes radioactivas artificiales como ^{60}Co y ^{137}Cs son producidas al bombardear ^{59}Co con neutrones en un reactor nuclear y por separación química de combustible nuclear. Ambas fuentes radioactivas emiten alta frecuencia de radiación electromagnética llamada rayos gamma. Esta alta radiación penetrante es usada en la preservación de alimentos (13).

c. RADIACION ULTRAVIOLETA

Tiene una penetración muy limitada en los tejidos. La absorción de la luz ultravioleta depende en gran parte, de la es

* = ^{60}Co = Cobalto 60 , fuente de radiacion gamma

** = ^{137}Cs = Cesio 137 , fuente de radiacion gamma

estructura molecular. Las longitudes de onda en el rango de 2500 y 2900 nm son biológicamente más activas, ya que es la región de máxima absorción de luz por los ácidos nucleicos (18).

B. ALIMENTOS

Enormes cantidades de frutas y vegetales, (alrededor de un cuarto del total de la producción de alimentos en el mundo), son producidas anualmente. La mayoría contiene grandes cantidades de agua, así como solutos listos para ser usados por microorganismos e insectos. Esto, los hace muy sensibles a la maduración, especialmente bajo condiciones de almacenamiento que prevalecen en la mayoría de países tropicales, es decir, a altas temperaturas y alta humedad relativa. Para prevenir la maduración, se aplican usualmente procesos de refrigeración o calentamiento, en donde existen estas facilidades (15).

Radiación ionizante puede ser útil para resolver algunos de los problemas anteriores. Irradiación puede reducir el número de insectos y/o microorganismos a un nivel en donde la estabilidad entomológica y microbiológica está asegurada. Se puede tratar y aplicar este procedimiento, para desinfectar de insectos y microorganismo las frutas y vegetales. Además, los microorganismos dañinos a la salud humana

(aquellos que causan envenenamiento de alimentos) también pueden destruirse por irradiación y aún más, cambios fisiológicos como la maduración, puede ser influenciada por la radiación (15).

1. PROCESO DE IRRADIACION

La irradiación de alimentos es el uso de la radiación ionizante en éstos. Esta radiación, deposita energía en los átomos y moléculas que constituyen el alimento, formándose iones, los que originan una serie de reacciones químicas que se traducen en cambios físicos, químicos, fisiológicos y técnicos en los alimentos tratados. La fuente de energía ionizante, puede ser radiación gamma proveniente del decaimiento natural de radioisótopos de Co-60, Cs-137 o electrones generados por máquinas que trabajan a energías de 5 MeV o inferiores. El uso de este tipo de radiaciones, es común en terapia de cáncer y obtención de radiografías (radiaciones gamma y X) y en el tratamiento industrial (electrones) de diferentes materiales (gomas, maderas, plásticos, etc.) (9, 15).

2. RAYOS GAMMA EN ALIMENTOS.

La penetración de los rayos gamma y su intensidad depende de la energía gamma. Los alimentos están formados químicamente por arreglos de moléculas. Moléculas que también

forman parte de insectos, bacterias y otros microorganismos. Cuando los rayos gamma penetran el alimento, inyectan electrones a los átomos de moléculas, inhibiendo el mecanismo de reproducción de materia viva. Por ello, los rayos gamma causan daño en todos los microorganismos e insectos indeseables presentes en los alimentos (2, 4). La cantidad total de energía depositada en un volumen dado de alimento es proporcional al número total de rayos gamma entrando en el alimento (4).

3. VENTAJAS DE LA RADIACION GAMMA DE ALIMENTOS

Investigaciones hechas desde 1943, han demostrado que el tratamiento de alimentos con irradiación, puede proveer considerables ventajas:

1. Preservación de alimentos: esto varía según el tratamiento. La irradiación controla el crecimiento de los microorganismos dañinos al alimento. Todos los organismos presentes en el alimento, pueden ser inactivados para asegurar una preservación a largo tiempo, o una fracción de ellos, pueden ser inactivados para asegurar una extensión limitada de la vida del producto. Carnes, frutas, verduras, mariscos, cereales y legumbres, son algunos de los alimentos que pueden preservarse (21 23).
2. Descontaminación de alimentos : de bacterias patógenas, hongos, levaduras e insectos. Esta descontaminación, au-

menta la calidad higiénica de los alimentos y previene el potencial de las enfermedades. Carnes y mariscos pueden descontaminarse de bacterias y parásitos. Cereales, legumbres, frutas y pescado seco, se descontaminan de insectos; y alimentos secos tales como las especias, pueden descontaminarse de bacterias e insectos (23). Los insectos constituyen la más abundante forma de vida animal sobre la tierra. Se les encuentra en todas partes del mundo, excepto en los mares y en las regiones polares y su existencia en la tierra, es de más de 250 millones de años. Debido al gran número y la variedad de especies existentes, el desarrollo de método de control de plagas de insectos, ha sido el motivo de preocupación de múltiples centros de investigación a nivel mundial. Además, debido al fenómeno de inducción de una mayor resistencia a los insecticidas, absorbidos en la mayor parte de los insectos y a la gran toxicidad y contaminación ambiental producida por los insecticidas empleados, se ha hecho necesario encontrar otras formas de control. Entre ellas, se encuentra el uso de radiaciones ionizantes para el control de plagas. Los efectos dañinos de la radiación en los insectos son: letalidad, disminución de la longevidad, esterilidad, reducción en la incubación de huevos retrasos en el desarrollo biológico, disminución del con

sumo de alimentos e inhibición de la respiración (9, 20, 23).

Dosis baja de irradiación puede causar la muerte o esterilidad de insectos. La desinfectación por medio de radiación es uno de los mejores sustitutos de los agentes químicos que el hombre posee en la actualidad. Como se requieren dosis de alrededor de 0.3 kGY, los cambios en frutas frescas y hortalizas son insignificantes. El efecto de la irradiación se traduce en la esterilización sexual de estos parásitos. De este modo se les impide completar su ciclo de vida (9, 14).

3. Control de la maduración y descomposición de frutas frescas y vegetales: la irradiación puede extender la vida de mercado de aquellos alimentos que, después de la cosecha, continúan activos fisiológicamente por medio de retardo de maduración y descomposición (4, 5, 22).

Bajas dosis de irradiación, retardan la maduración de algunas frutas como plátano, mango, papaya y guayaba, aumentando por otra parte, su vida útil. Este efecto fisiológico, no debe confundirse con el aumento de la vida útil que se obtiene por reducción de la población microbiana. Una extensión de vida útil razonable, se puede obtener con dosis de 0.3 - 0.5 kGY (14).

4. Alteración de la composición química: la composición quí

mica de varios alimentos tales como cereales y legumbres, pueden alterarse para aumentar la calidad. Esta alteración química puede hacerse a través de la acción de la radiación en el alimento. La "dosis" aplicada, es el parámetro del proceso más importante para asegurar el efecto deseado (2, 4, 6).

5. Mantiene calidad sensorial: debido a la muy pequeña cantidad de cambio químico que la irradiación produce en los alimentos, generalmente no se observan cambios sensoriales en los resultados. Por ejemplo, la irradiación de carnes y mariscos para la inactivación de bacterias vegetativas patógenas y parásitos u otros microorganismos dañinos para extender la vida del producto, no causa ningún cambio en sus características sensoriales normales. Mientras que la esterilización por medio de calor, degrada severamente la textura de las carnes, la esterilización por radiación produce cambios mínimos en la textura (6, 20).
6. Mantiene el valor nutritivo total de los alimentos: estudios en el valor nutritivo de alimentos irradiados determinan que la irradiación no causa ningún cambio en los macronutrientes y cambios insignificantes en los micronutrientes (vitamina A, D, E, K, C, ...). En los alimentos irradiados por corto tiempo, no muestra ningún daño en

los micronutrientes (12).

4. PRUEBAS DE MERCADEO

Una de las mayores razones del por qué los alimentos irradiados no aumentan su uso comercial, se debe a que los gobiernos e industria de alimentos están preocupados por la aceptación de estos por el consumidor. Pruebas recientes de mercadeo de alimentos irradiados, sugirieron que los consumidores bien informados, no rechazan probar alimentos identificados como haber sido procesados por radiación. Estas pruebas, se han realizado en países como Argentina, Chile, China, Tailandia, Polonia, Filipinas, Hungría, Francia, Indonesia, Israel y Estados Unidos. Las frutas tratadas eran manzana, papa, cebolla, fresa, mango, papaya, pescado seco y salchichas de cerdo fermentadas (6, 8, 20).

1. Papaya irradiada: la papaya proveniente de Hawaii se colocó en el supermercado, en California. La prueba duró 8 horas. Al final, resultó que 75 kgs de papaya irradiada fueron vendidas y sólo 7 kg de papaya sumergidas en agua caliente se vendieron. Por tanto, la relación fue de 11:1 en favor de la papaya irradiada (11).
2. Fresas irradiadas: la fruta se colocó en el supermercado identificada como producto irradiado y su precio era un poco más caro que las fresas no irradiadas. Se concluyó

en que el consumidor, prefiere comprar más las fresas irradiadas debido a su mejor calidad (11).

3. Radiación de salchichas de cerdo fermentadas: una popular salchicha de cerdo fermentada (Nham) es normalmente consumida cruda en Tailandia. Es decir, sin cocer o con algún tratamiento térmico. Este producto, está continuamente contaminado por *Salmonella* y ocasionalmente por *Trichinella spiralis*. Nham irradiado (2.0 kGy mínimo) y etiquetado como producto irradiado, se colocó a la venta, junto con productos no irradiados en algunos supermercados de Bangkok. Los resultados obtenidos por una encuesta, a los consumidores, fueron que el 34.1 % de consumidores compró Nham por simple curiosidad, mientras que el 65.9% de los consumidores, la compró por el simple hecho de que creían en su seguridad de *Salmonella* y *Trichinella* (6, 7, 9).

Por los resultados obtenidos en las pruebas realizadas, se pudo observar que el factor más significativo que influye en la aceptación de productos irradiados, se debe a su mejor calidad.

C. INTERACCION DE LA RADIACION CON LA MATERIA

La interacción de la radiación con la materia, se basa en 2 procesos fundamentales:

- a. proceso primario (efecto directo)
- b. proceso secundario (efecto indirecto)

El proceso primario, implica el impacto directo de la radiación sobre las moléculas, formandose como resultado, fragmentos moleculares, iones y moléculas excitadas. El proceso secundario, involucra la interacción del proceso primario, pudiendo ocurrir la formación de compuestos diferentes a los originales (12).

D. DOSIMETRIA

1. APLICACIONES DE LA IRRADIACION

La irradiación tiene variadas e interesantes aplicaciones en los alimentos, las que pueden ser clasificadas de acuerdo a la cantidad de energía absorbida por unidad de masa. Esto es, según el rango de dosis, como sigue:

a. dosis baja (< 1kGY)

- inhibición de brotación en bulbos y tubérculos
- desparasitación de carnes
- retardo de maduración (extensión vida útil)
- desinfectación

b. dosis medias (1-10 kGY)

- destrucción de microorganismos (reducción de contaminación)
- mejoramiento de las propiedades tecnológicas de los ali-

mentos

c. dosis altas (> 10 kGY)

- esterilización
- eliminación de virus

La cantidad de trabajos de investigación referente a los efectos de la irradiación sobre el contenido de los nutrientes de los alimentos irradiados, es muy abundante. En un trabajo publicado por Schultz y Lee (21) se discute, en términos generales, el estado presente de preservación de alimentos por medio de la irradiación. El artículo resume los efectos conocidos de la irradiación sobre varios alimentos y proyecta estos resultados, para indicar el estado de estos alimentos con respecto a la probabilidad de poder procesarse.

Un estudio realizado por A. Méndez (14) indica que, el valor nutritivo de la mezcla vegetal Incap #9 (Incaparina), no fue afectada prácticamente por la irradiación gamma a dosis de 300 y 3000 rad aunque se encontro una correlación negativa y estadísticamente significativa, entre dosis de irradiación y lisina disponible, gossipol libre (substancia tóxica que se encuentra en la semilla de algodón) y el índice de eficiencia proteica. El aspecto físico -color y olor- de la harina no fue afectada por la irradiación gamma a dosis de 300 y 3000 rad.

E. IRRADIADORES DE ISOTOPOS RADIOACTIVOS

1. IRRADIADORES DE COBALTO-60

Los irradiadores de Cobalto-60 pertenecen al grupo de irradiadores radioactivos porque emplean Co - 60 como fuente de irradiación. Los irradiadores de este tipo constan de cuatro partes principales:

1. la fuente de irradiación;
2. un recinto para el almacenaje de la fuente radioactiva;
3. una cámara de irradiación o celda caliente donde ocurre el proceso de irradiación de las muestras;
4. equipo electro-mecánico para colocar el material que se irradiaría (16).

La fuente de irradiación es la parte más importante del irradiador y dependiendo de la actividad de la fuente de Co-60, puede llegar a ser la parte más cara.

Existen diferentes diseños para las fuentes radioactivas de Co-60 (16).

Los irradiadores, pueden ser de almacenaje seco, o de almacenaje de piscina. En el primer caso, la fuente radioactiva se aloja en un recinto seco, blindado de hormigón armado. Para efectos de radioprotección y de economía, generalmente estos recintos secos se construyen en el subsuelo (16).

Los irradiadores de piscina son aquellos en los que la fuente se encuentra alojada en una piscina de agua, es decir,

que el agua constituye el blindaje.

Los irradiadores de almacenaje seco o bien los de almacenaje de piscina, pueden ser de tipo batch o continuos. En los de tipo batch, la irradiación se hace más demorada por cuanto para cada irradiación hay que almacenar la fuente en su lugar, mientras se disponen los materiales en la cámara de irradiación y también después de la irradiación, mientras se descarga el material irradiado.

Los irradiadores de sistema continuo, son más eficientes porque en ellos la irradiación continúa por el tiempo requerido, sin necesidad de almacenar la fuente. En este caso, la instalación requiere de un sistema de cinta móvil (conveyor) (3).

También existen los irradiadores portátiles, los cuales se han instalado en grandes camiones, en plataformas de ferrocarril, o en embarcaciones. Las ventajas que tienen estas unidades de irradiación, es que pueden prestar el servicio de irradiación en diferentes lugares de un territorio, sin que el usuario tenga que transportar sus productos a largas distancias. Pero por otro lado, el uso de dichos irradiadores, demanda una red de carreteras y de ferrocarril de primer orden, con una alta garantía de seguridad. Su mantenimiento es mucho más costoso que para los irradiadores no portátiles (16).

2. IRRADIADORES DE CESIO-137

Los irradiadores de Cesio-137 constan de las mismas partes de un irradiador de Co-60, pero la energía de este isótopo del cesio es mucho menor que la del Co-60. Por esta razón, para un irradiador de Cs -137 se requiere cuatro veces más la cantidad de curies para que sea equivalente al irradiador de Co-60 (16).

En la Dirección General de Energía Nuclear del Ministerio de Energía y Minas, se han hecho varios trabajos, utilizando la fuente de irradiación Dynarad 5L (con fuente de Cobalto-60).

Entre los trabajos que se encuentran están los siguientes:

" De acuerdo con Montepeque Roldán (1984), la dosis de radiación gamma de Co- 60 sobre los tubérculos de papa influyen en la brotación." Se llegó a la conclusión que "los tubérculos de papa tratados con 4 y 6 krad, tuvieron una respuesta análoga al testigo, en donde la brotación comenzó al mes de la recolección. Dosis de 8, 10, 12 krad si inhiben la brotación de los tubérculos en forma irreversible, independiente de la época de irradiación y condiciones de iluminación."

Se realizó otro trabajo acerca del efecto mutagénico de los rayos gamma de Co-60 en la fenología (estudio de los efectos del ambiente sobre la vida y salud de los organismos) y contenido de proteína en 2 variedades de frijol común. " De acuerdo con Pretzanzín (1985), la inducción de mutaciones usando radiaciones gamma de Co - 60 es una herramienta útil en la obtención de variabilidad, para el mejoramiento de plantas por contenido de proteína total."

Uno de los trabajos más interesantes que se han realizado es es de Villagrán C (23), quien propuso que la irradiación de mangos de la variedad Tommy Atkins extiende el tiempo de vida útil y proporciona un control de plagas. " De acuerdo con Villagrán (1992), una dosis de 0.75 kGY en combinación con refrigeración de 8-12 grados Celsius va a preservar la fruta en condiciones óptimas para su consumo y mercadeo por un período de 29 días. Es tiempo suficiente para alcanzar un mercado efectivo de exportación."

III. JUSTIFICACION

Las necesidades mundiales de alimentos, siguen en aumento mientras que la producción y la productividad, son reducidas o limitadas. Así mismo, los problemas de almacenamiento y tratamiento de alimentos, persisten, lo cual obliga a buscar nuevos métodos de conservación. El tratamiento de alimentos por partículas o radiaciones ionizantes, es un método reciente y todavía poco usado, que permite destruir en ciertos casos, algunos o casi todos los microorganismos presentes en los alimentos. También se emplea para destruir insectos, inhibir o retardar procesos fisiológicos de maduración y germinación de productos vegetales.

Del total de banano producido en Guatemala, el 89% es para el extranjero. Solamente un porcentaje mínimo, está destinado para consumo nacional. De este 89% de producción, el 47% se exporta a Estados Unidos de América y el 42 % se exporta a la Comunidad de Estados Europeos.

De la producción total mensual del banano por BANDEGUA, aproximadamente cuatrocientos cincuenta y cinco mil kilogramos de banano es rechazado del mercado. Cada caja de banano, tiene un peso neto de 18.2 kg (40lb) y cada caja, según la época del año, cuesta alrededor de \$8.00 & \$12.50 (US dólares)

Los 455,000 bananos desperdiciados representan 25,000 ca

jas de banano, lo que también representa la cantidad de alrededor de doscientos mil dólares mensuales tirados a la basura, por lo que se requiere de un método para aumentar la vida útil del banano, sin necesidad de cambiar las condiciones de exportación. Para ello, debe hacerse un diseño preliminar de la planta de irradiación necesaria, según la capacidad de banano promedio que se exporta.

La irradiación, es uno de los más nuevos procesos de preservación de alimentos. Tiene lugar en situaciones específicas, en donde otros procesos no han sido satisfactorios.

La irradiación de los alimentos, consiste en exponerlos durante un período de tiempo a radiaciones gamma, con el propósito de destruir microorganismos e insectos. Este proceso, ofrece indudables beneficios para la salud y el bienestar del hombre, ya que destruye gérmenes patógenos presentes en los alimentos, además de prolongar la vida útil de los alimentos perecederos y así asegurar el producto en el mercado por más tiempo. También, por medio de la radiación, ocurre una pérdida mínima de nutrientes.

IV. OBJETIVOS

Objetivos Generales

1. Contribuir al uso de nuevas técnicas aplicadas a la investigación del país, y contribuir al mejoramiento de la calidad de los productos de exportación de Guatemala, tal como el banano.
2. Realizar un diseño preliminar de una planta de irradiación de bananos que pueda utilizarse como base en un futuro, por las compañías bananeras.

Objetivos Específicos

1. Utilizando la mejor dosis de irradiación encontrada para el banano (25 krad), determinar el efecto de la radiación gamma de Cobalto-60 y de la refrigeración, a catorce grados Celsius sobre la prolongación de vida útil del banano.
2. Por medio de radiación gamma de Cobalto-60 reducir las pérdidas de banano en el mercado de alimentos.
3. Mejorar las condiciones de competencia en el mercado internacional de alimentos y reducir los rechazos en los países importadores.

*Estos datos se encuentran en el trabajo de graduación de la Universidad del Valle de Guatemala realizado acerca del "Efecto de la radiación gamma de Cobalto-60 sobre la vida util del banano".



V. HIPOTESIS

- * Las dosis de radiación Gamma de Co-60 sobre el banano y la refrigeración de los mismos a catorce grados, aumenta significativamente su vida útil.
- * El uso, en un futuro, de una planta de irradiación por las compañías bananeras, puede mejorar la calidad del producto de exportación y disminuir significativamente la pérdida del banano en el mercado.

VI. METODOLOGIA

1. Toma de la muestra de banano de la variedad Grane Naine, procedente de Bananera, Izabal (proporcionada por BANDEGUA).
2. En la planta piloto de irradiación localizada en la Dirección General de Energía Nuclear del Ministerio de Energía y Minas de Guatemala, se irradian las muestras de banano con una dosis de 25 krad (se hace en quintuplicado) utilizando un irradiador Dynarad 5L, que contiene una fuente de Co-60, cuya actividad tomada el primero de abril de 1993 era de 68.951 krad/hr. Luego de la irradiación, los bananos se empacarán en bolsas plasticas con orificios pequeños y se colocaran en la refrigeradora a catorce grados Celsius.
También se colocará una bolsa de bananos no irradiados.
3. Observación de la maduración del banano cada tres días, comparándolos con el cuadro No. 2 y se observa también el aspecto de ellos y sus cambios físicos. La observación de los bananos se llevara a cabo por un período de 2 meses, en el cual se espera que los bananos testigo e irradiados ya hayan madurado.
4. Realización del diseño preliminar de la planta de irradiación.

VII. RESULTADOS

Los resultados obtenidos, se muestran en los cuadros I y II . La dosis de irradiación fue de 25 krad y se hizo en quintuplicado. La refrigeradora en donde se colocaron los bananos ya irradiados, se mantuvo a una temperatura de 14 grados Celsius. Para poder comparar los resultados obtenidos, se contaba con el banano "testigo 1", el cual no fue irradiado ni refrigerado. También se refrigeró banano no irradiado al cual se le llamo "testigo 2". Y por último, se irradió banano a 25 krad pero no se refrigeró.

T1 = TESTIGO 1 = BANANO NO IRRADIADO NI REFRIGERADO

T2 = TESTIGO 2 = BANANO REFRIGERADO NO IRRADIADO

T3 = BANANO REFRIGERADO A 14 C E IRRADIADO A 25 KRAD

T4 = BANANO IRRADIADO A 25 KRAD NO REFRIGERADO

CUADRO No. I

Tiempo de vida útil del banano

DOSIS DE IRRADIACION (KRAD)	DURACION DE VIDA UTIL DEL BANANO IRRADIADO Y REFRIGERADO (dias)
T 1	12
T 2	18
T 3	47
T 4	21

Los resultados obtenidos en el cuadro No. I, se muestran mejor en la gráfica No. 1.

CUADRO No. II

Tiempo de vida útil del banano irradiado a 25 krad y refri -
gerado a 14 grados Celsius

REPETICION (R)	TIEMPO DE VIDA UTIL (días)
R 1	45
R 2	48
R 3	47
R 4	46
R 5	47

Promedio de tiempo de vida útil = 47 días

La observación de bananos, se llevó a cabo por un período de mes y medio, en el cual los bananos testigo e irradiado + refrigerado ya se han madurado. La maduración del banano se observo cada tres días comparándolos con el cuadro No. 3.

Tanto el banano testigo como el refrigerado e irradiado, no sufrieron ningún daño significativo en su apariencia.

La planta de irradiación se localiza en BANDEGUA, Puerto Barrrios. La fuente a utilizar es Cobalto-60.

Se utiliza un sistema de tipo continuo con bandas de nylon + PVC. Esta banda cuenta con un motor de velocidad variable. El material más apropiado para las paredes de la planta para evitar que la radiación salga al medio ambiente, es el concre-

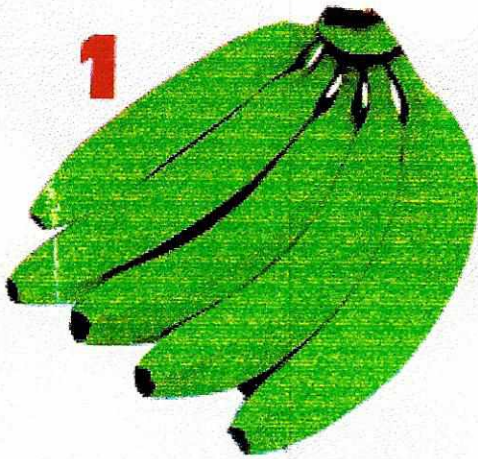
to.

Se utiliza una piscina de agua como blindaje de la fuente.

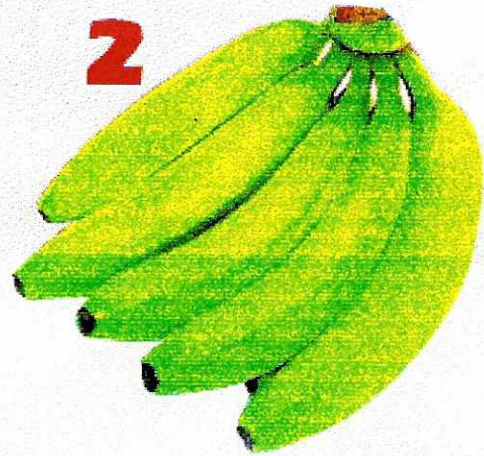
Las dimensiones de la planta se muestran en las figuras # 1 y # 2.

grado de maduracion

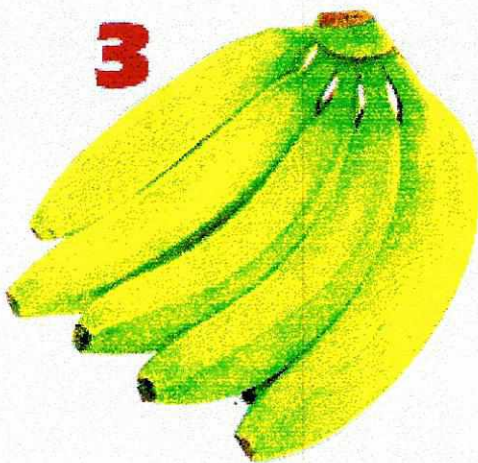
1



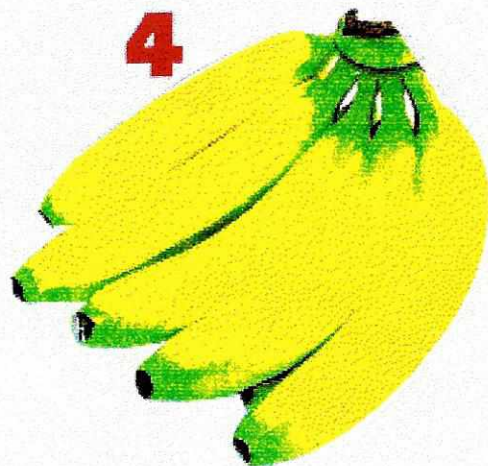
2



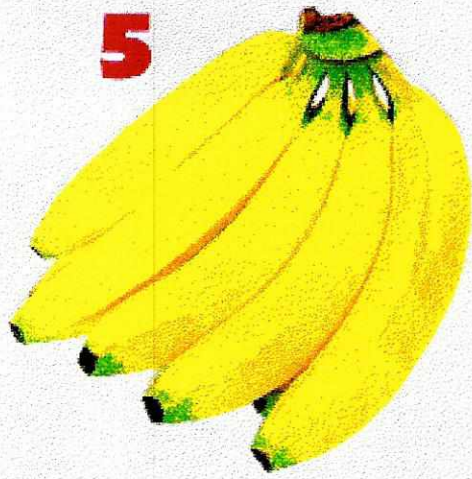
3



4



5



6

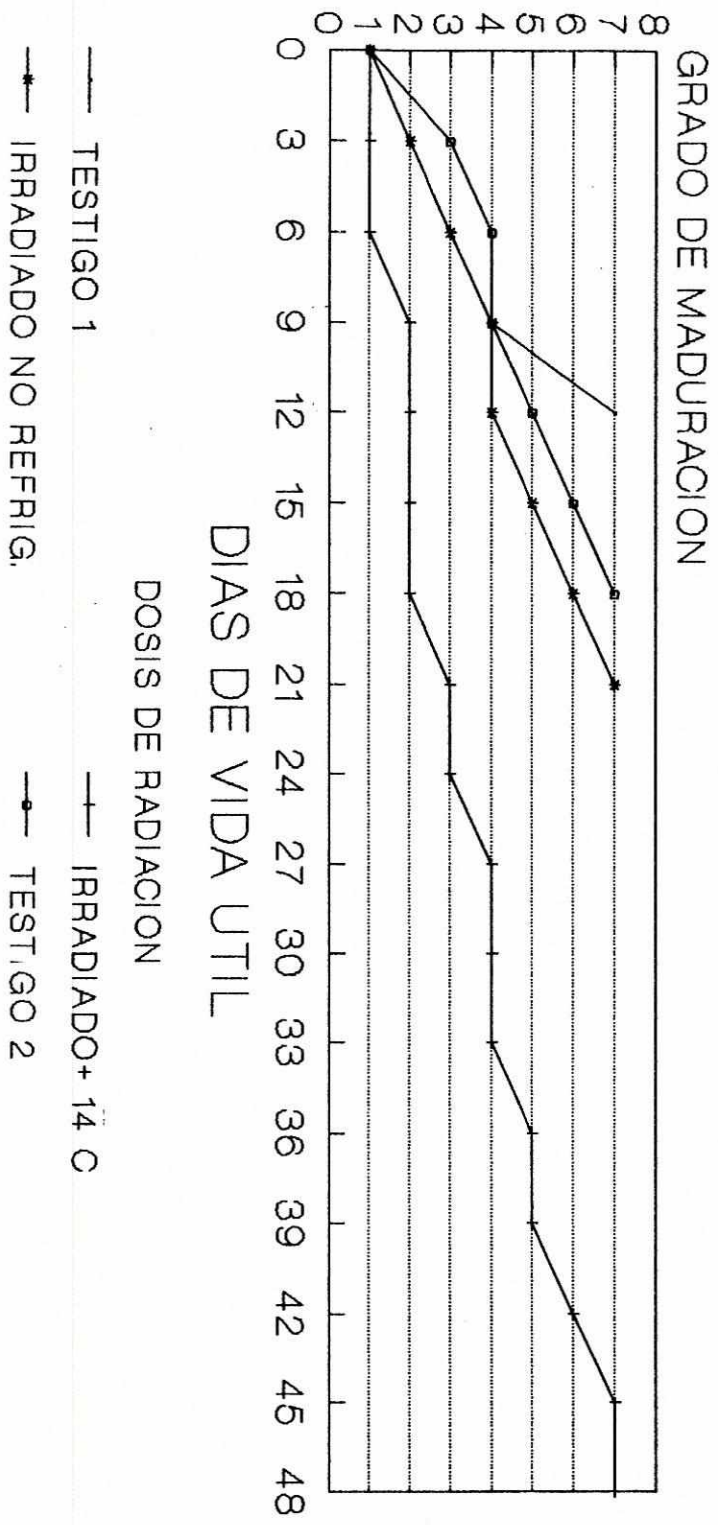


7



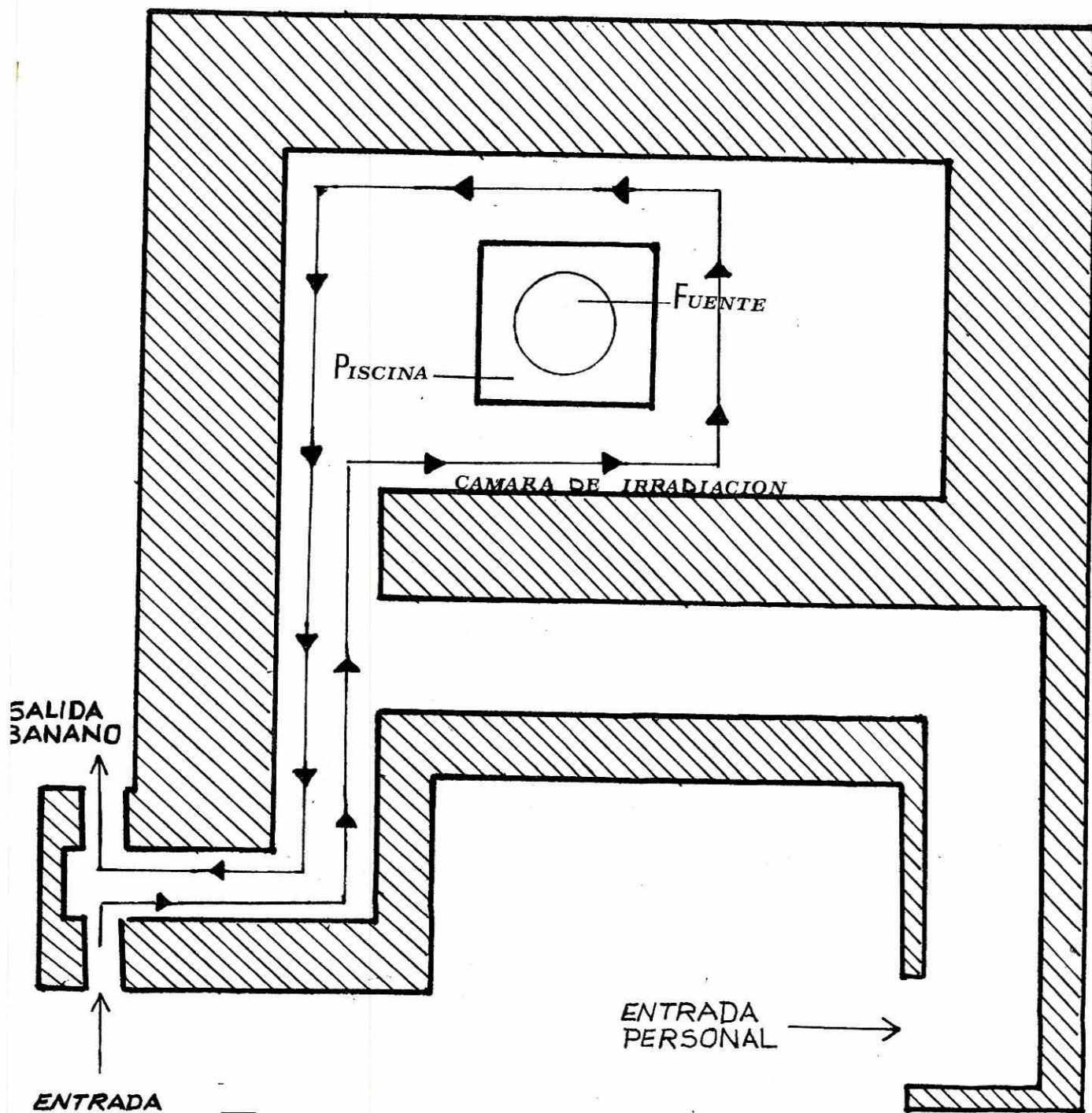
GRAFICA 1

GRADO DE MADURACION DEL BANANO VARIEDAD GRANE NAINNE



testigo 1 (no irradiado ni refrigerado)
 testigo 2 (no irradiado, si refrigerado)

FIG 1



PLANTA DE IRRADIACION

FIG 2

ESCALA 1:75 mts

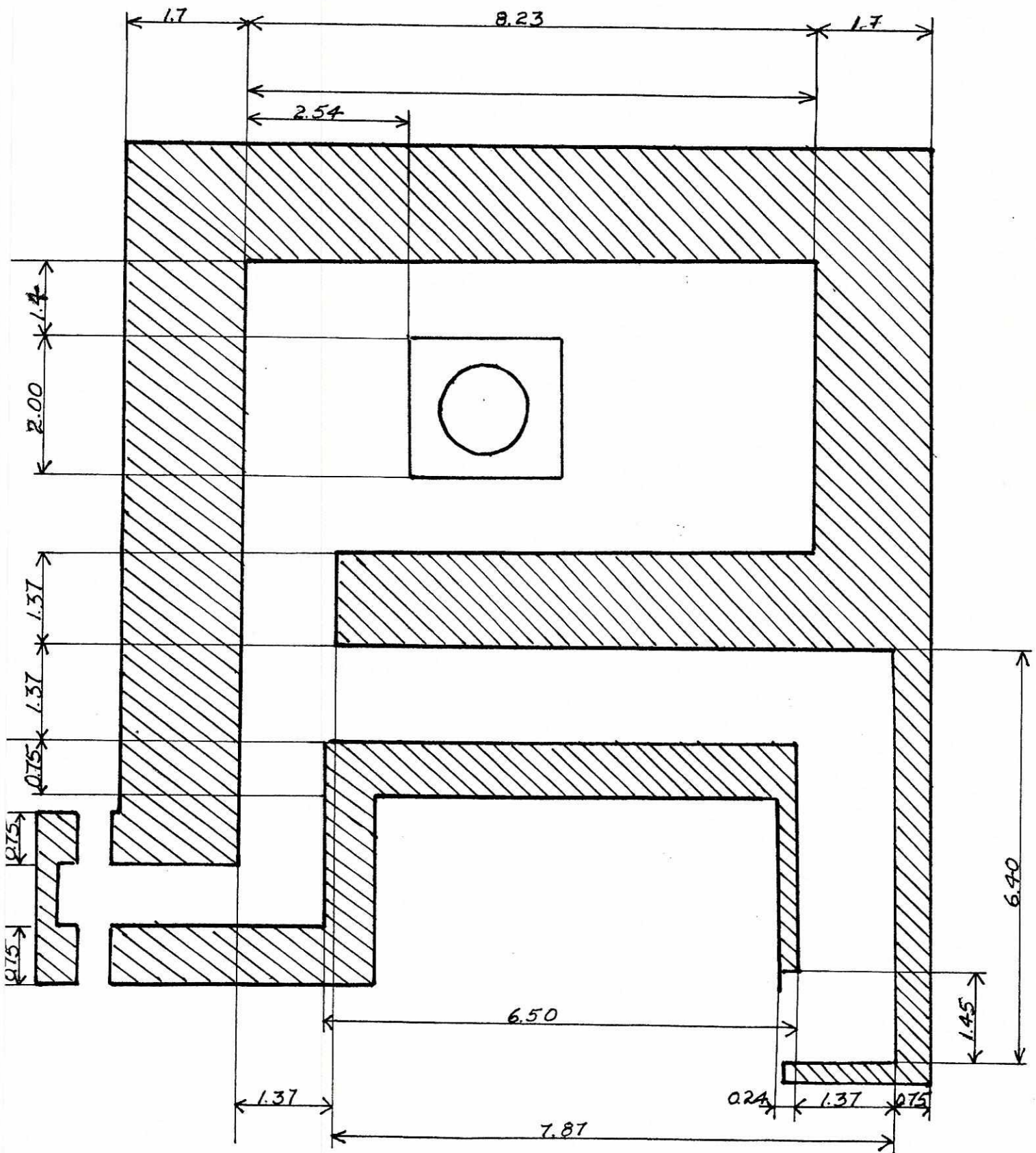
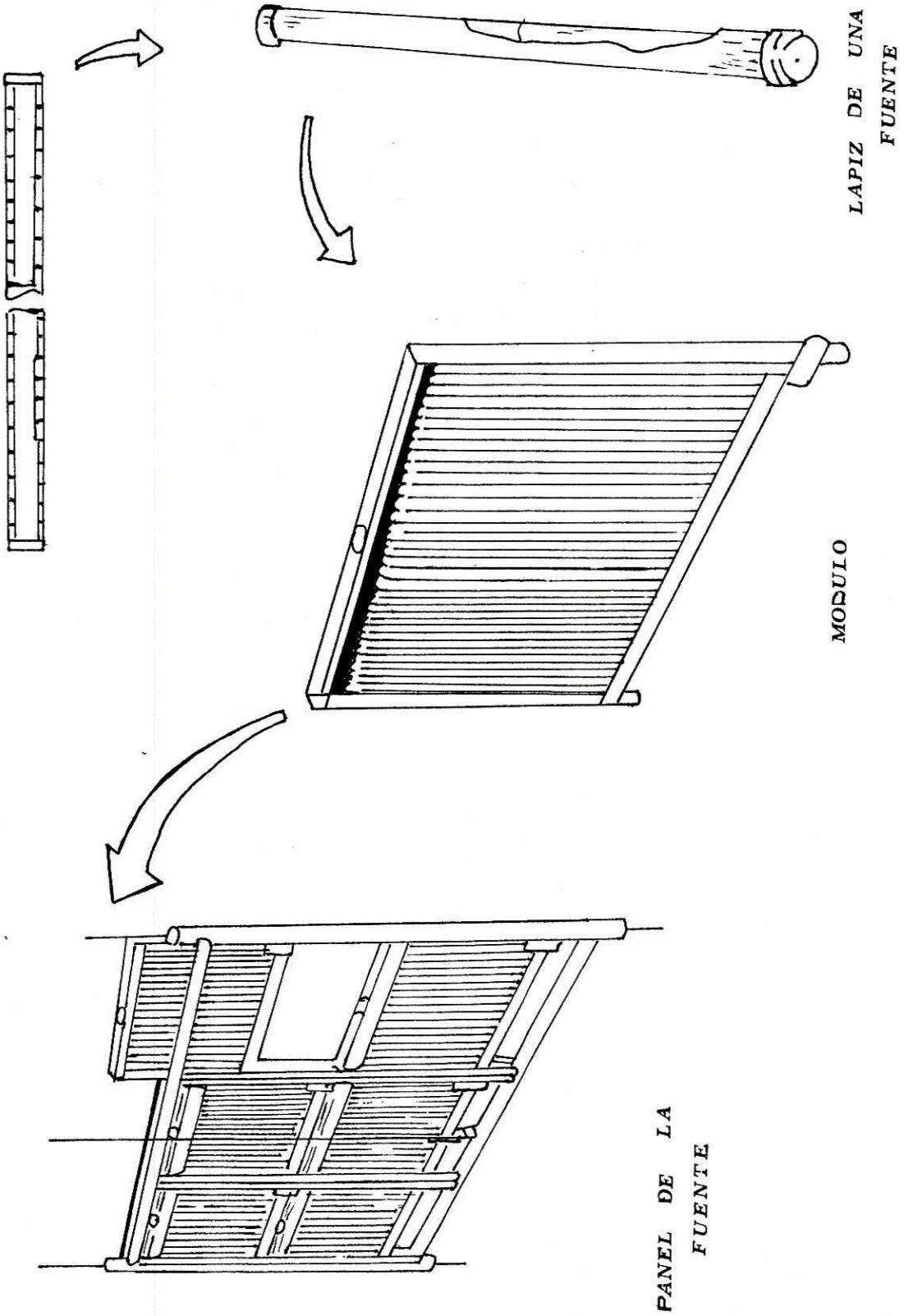


FIG 3



VIII. DISCUSION DE RESULTADOS

1. Grado de maduración del banano según el tratamiento.

El grado de maduración promedio de cada tratamiento se muestra en la tabla III del anexo y gráfica 1, en donde puede notarse que el tratamiento de banano irradiado a 25 krad y refrigerado a 14 grados Celsius es el más efectivo, ya que prolongan la vida útil del banano en:

- * un 291 % más que la vida útil del banano testigo 1;
- * un 161 % más que la vida útil del banano irradiado
- * un 124 % más que la vida útil del banano refrigerado

El cambio de color de la cáscara de banano al madurar, fue de verde a amarillo, por lo que la refrigeración del banano a 14 grados Celsius no afectó las actividades enzimáticas que propician la maduración natural.

La dosis de 25 krad al banano también fue la apropiada, ya que aumentó la vida útil del banano en una forma muy satisfactoria.

2. Diseño preliminar de la planta de irradiación.

El lugar más apropiado para colocar esta planta de irradiación es en la localidad de BANDEGUA, Puerto Barrios, ya que esta compañía, además de ser la más grande productora de banano en Guatemala, también está muy interesada en aumentar la vida útil de su producto, es decir, del banano, por las gran-

des pérdidas que tienen, debido a la maduración rápida de la fruta. Además, también hay que tomar en cuenta los retrasos de exportación que ocurren, lo que implica la maduración de la fruta y esto lo convierte en rechazo.

La fuente de irradiación más adecuada a usar, es de cobalto-60 ya que es la más comunmente utilizada; además de tener un precio más barato que el Cesio 137 y la energía del isótopo de Cesio es menor que la de Cobalto 60.

Los blindajes con que cuenta el irradiador para su fuente de Cobalto-60 son: la piscina y la cámara. La piscina de aproximadamente 2x 2m x 6m de profundidad; de manera que, cuando la fuente se encuentre en posición segura o de almacenamiento, el campo de radiación es insignificativo dentro de la cámara. Para un irradiador con acceso humano a la cámara de irradiación, es preferible conservar la fuente radioactiva blindada en una piscina de agua durante su almacenaje. Cuando la fuente no está siendo utilizada, ésta debe encontrarse bajo blindaje total en el fondo de la piscina. Se utiliza una piscina, porque el agua es un buen blindaje de la irradiación.

El banano a irradiar, se coloca en sus respectivas cajas de cartón (tal como se exporta); ya que este material no es corrosivo y tomando en cuenta las condiciones ambientales en Puerto Barrios (humedad, temperatura,...) la banda (conveyor) a utilizar, será de PVC y nylon. La velocidad de la banda se

controla por medio de un motor de velocidad variable, pues como la fuente pierde actividad con el tiempo (decaimiento natural), la velocidad de la banda va disminuyendo y el tiempo de radiación va aumentando.

El tamaño de una caja de banano de exportación es de 0.53m de largo y 0.26 m de ancho, por lo que la banda a utilizar, será de 0.70m de ancho. El diseño preliminar de la planta, se muestra en la figura 1 y 2 .

La caja de banano se irradia por sus cuatros lados, para así lograr que todo el banano se irradie uniformemente.

La planta, puede ser de tipo batch o continuo, pero en este caso es mejor el tipo continuo, ya que la cantidad de cajas a irradiar es bastante grande. Si se hace de tipo batch, se perdería demasiado tiempo, ya que la fuente tendría que estarse sumergiendo y sacando de la piscina.

Las paredes de la planta de irradiación pueden ser de distintos materiales. Entre los materiales se encuentra el concreto, concreto varitado y el plomo. Al utilizar plomo, el grosor de la pared sería delgado en comparación con una pared de concreto, pero este material es muy caro y difícil de conseguir en grandes cantidades.

El concreto varitado, contiene una cantidad de bario, lo que aumenta la densidad del concreto y a mayor densidad del material, mayor la retención de la radiación. Además, el bario es

un material bastante caro. Por estas razones, el material a utilizar para las paredes de esta planta es el concreto (arena, pedrín, cemento). Las paredes construidas de concreto, para obtener un blindaje adecuado, seran de concreto (densidad = 2.35 g/cm³) de aproximadamente 1.70 m. Estos blindajes son calculados para la actividad a utilizar que es de 10,000 Curies. Puede incrementarse su capacidad por medio de blindajes complementarios en las paredes interiores de los accesos para carga-descarga.

La actividad conveniente a usar en este caso, es de 10,000 Curies. Una actividad menor a 10,000 Curies nos da un tiempo de irradiación muy grande, mientras que una actividad mayor a 10,000 Curies da un tiempo de irradiación demasiado pequeño. Conociendo esta actividad y la dosis de 25 krad, se calculó el tiempo necesario del banano a irradiar, siendo éste de 28 minutos. Al tener 25,000 cajas de banano mensual, son 833 cajas de banano a irradiar por día; por lo que se necesitan 16 horas (dos turnos de ocho horas cada uno) para irradiar esta cantidad de banano, ya que se irradian 53 cajas/ hora (ver en anexos los cálculos).

La entrada del personal en la planta, es distinta a la entrada de la fruta para mayor seguridad en caso de un accidente.

IX. CONCLUSIONES

- A. La dosis de 25 krad de radiación Gamma de Cobalto-60 y la refrigeración a catorce grados Celsius sobre el banano, aumentan su vida útil a 47 días.
- B. La fuente más apropiada a utilizar es de 10,000 Curies, por lo que el banano debe exponerse a la irradiación por un tiempo de 28 minutos.
- C. La cantidad a irradiar por hora es de : 53 cajas de banano.
- D. Las paredes de la planta de irradiación, son de concreto de un espesor de 1.70 metros.
- E. Las bandas a utilizar en la planta de irradiación, son de cloruro de polivinilo (PVC) y nylon, junto con un motor de velocidad variable.

X. RECOMENDACIONES

Una de las herramientas más importantes que una empresa puede aprovechar, es su personal calificado y bien entrenado. Cada uno de los empleados, debe tener una comprensión básica de la naturaleza de la radiación y de los riesgos involucrados con el uso de fuentes muy poderosas de radiación ionizante. Por ello, es recomendable un entrenamiento adecuado, ya que las consecuencias de un accidente pueden ser terribles. El entrenamiento es un método aprobado para reducir las posibilidades de que ocurra un accidente.

Debido a que la fuente de irradiación de Cobalto-60 se descarga trabajando o no la planta, entonces podría tomarse en cuenta el irradiar otros materiales tales como:

- productos desechables de uso quirúrgico y médico;
- artículos desechables para uso de laboratorio y envase;
- productos farmacéuticos;
- materias primas para la industria alimenticia (ajo, cebolla, orégano, hierbas de té, frutas, verduras, etc.
- cosméticos

La producción total buena de banano en BANDEGUA, es de un millón de cajas mensuales. La calidad y tiempo de vida útil del banano, podría aumentar si se irradiará tanto el banano de rechazo como el banano aceptado.

También es recomendable hacer un control dosimétrico al momento de la irradiación del producto. Esto puede hacer en forma visual con el uso de etiquetas fotosensibles, las cuales tienen la particularidad de cambiar su color inicial al ser irradiadas. De esta forma, se sabrá si la fuente de irradiación está funcionando correctamente y no se está dándole una dosis mayor o menor a la aconsejada para la fruta.

XI. BIBLIOGRAFIA

1. BRODERICK, H.T. The radurization of fruit for marketing. Nuclear Development Corp., of South Africa Ltd, Pelindaba, Pretoria. 32:2-5.
2. BUSTOS, M. A. Y ROCABADO, F. 1990. Irradiación de Alimentos. México. 313 p.
3. CHAMPION, J. 1978. Técnicas Agrícolas y Producciones Tropicales. Colección Agricultura Tropical. Barcelona. 241 p.
4. ELIAS, P. 1989. New concepts for assessing the wholesomeness of irradiated foods. Food Technology. July: 81-83.
5. GALINDO ROBLEDO, ANA M. 1994. Efecto de la radiación gamma de Cobalto-60 sobre la vida útil del banano. Tesis de la Universidad del Valle de Guatemala. 50 pp.
6. JESSUP, A., CH. RIGNEY, P. WILLS. 1988. Effects of Gamma Irradiation combined with hot dipping on quality of "Kensington Pride" Mangoes. Journal of Food Science. 53:1466-1489.
7. LEVILLAIN, M. 1986. Radiation processing of fruits, application to strawberries and prunes. Francia, Centre d'Etudes Nucleaires de Cadarache. 114 p.
8. LOAHARANU, P. 1989. International trade in irradiated Foods: Regional Status and Outlook. July: 77-80.
9. _____. 1981. Los isótopos en la vida cotidiana. Viena, Agencia Internacional de Energía Atómica. 24 p.
10. _____. 1968. Bean mutant induced by ionizing radiation III. Wrinkled leaf. Trialba (Costa Rica) 18(2):181-182.
11. _____. 1975. Requirement for the irradiation of food on a commercial scale. International Atomic Energy Agency Vienna, 219 p.
12. _____. 1968. Preservation of fruit and vegetables by radiation. International Atomic Energy Agency. Vienna, 151 p.

13. MAZON, M. P. & G. J. FERNANDEZ. 1976. Efecto de la radiación gamma sobre la conservación de tubérculos de patata durante el período de almacenamiento. pp 2-22. Junta de Energía Nuclear. Madrid.
14. MENDEZ, A. 1967. Efecto de la irradiación sobre el contenido de ciertos nutrientes y valor nutritivo de mezclas de proteínas de origen vegetal para el consumo humano. pp. 29. Tesis de la Facultad de Ingeniería de la USAC.
15. MONTEPEQUE ROLDAN, R. 1984. Estudio preliminar del efecto de la radiación gamma de Co-60 sobre la conservación de tubérculos de papa para consumo durante el período de almacenamiento. 80 p. Tesis de la Facultad de Agronomía de la USAC.
16. MUÑOZ, R., M. SANCHEZ, E. UZCATEGUI & C. VACA. 1985. Preservación de alimentos por irradiación. Impreso en Quito. pp 301.
17. PILLET, P. & S. SHADAREVIAN. 1970. Food Composition. 2nd ed. Heidelberg Press. Lebanon. pp. 301.
18. PINEDA, R.E. 1981. Radioisótopos en la industria. Tesis de la Facultad de Ingeniería de la USAC.
19. PRETZANIN, E.E. 1985. Efectos mutagénicos de los rayos Gamma (Co- 60) en la fenología y contenido de proteína en dos variedades de frijol común (Phaseolus vulgaris L.). pp 6-20. Tesis de la Facultad de Agronomía de la USAC.
20. _____. 1964. The Encyclopedia Americana. Vol III. United States. pp 131.
21. SCHULTZ, H. W. & J. S. LEE. 1966. Food preservation by irradiation present status. Food Technology. 20: 38 -43.
22. URBAIN, W. 1989. Food Irradiation: the past fifty years as prologue to tomorrow. Food Technology. July: 76-80.
23. VILLAGRAN, C. 1992. Irradiación de mangos de la variedad "Tommy Atkins" para extender el tiempo de vida útil y control de plagas. 40 p. INIS Atomindex. 23:062975.

ANEXOS

MATERIALES Y METODOS

A. MATERIALES

Los materiales empleados para el experimento son:

- a) banano de la variedad Grane Naine
- b) irradiador Dynarad 5L con una fuente de Co-60
- c) cronómetro
- d) marcadores
- e) refrigeradora General Electric
- f) bolsas plásticas

B. DOSIFICACION

En estos trabajos, las dosis se miden por medio del tiempo de exposición de la muestra en la fuente. Se utilizara una dosis de irradiación, la cual es:

Dosis (krad/hr) = 25

El tiempo de exposición, se calcula por el día en que se irradia la fruta.

Para calcular el tiempo de irradiación, se usa la siguiente formula:

$$A_o = A_e \frac{e^{-0.693 \left(\frac{t}{1/2} \right)}}{e^{-0.693 \left(\frac{t}{1/2} \right)}} * t$$

donde A = actividad original = 65.418 krad/hr

$t_{1/2}$ = tiempo medio del cobalto-60 = 5.272 años

t = tiempo desde que se tiene la actividad original del Cobalto-60 hasta el tiempo en que se va a efectuar la irradiación.

Sabiendo A y la dosis que se desea, se calcula el tiempo de irradiación.

CUADRO No. 1

banano	dosis krad	tiempo de irradiación
irradiado	25	22 minutos 55 segundos
testigo	00	----

T1 = TESTIGO 1 = BANANO NO IRRADIADO NI REFRIGERADO
 T2 = TESTIGO 2 = BANANO REFRIGERADO NO IRRADIADO
 T3 = BANANO REFRIGERADO A 14°C E IRRADIADO A 25 Krad
 T4 = BANANO IRRADIADO A 25 KRAD NO REFRIGERADO

TABLA III
 GRADO DE MADURACION DEL BANANO

TRATAMIENTO DEL BANANO	GRADO DE MADURACION (día/mes/año)				
	24/03/95	27/03/95	30/03/95	02/04/95	05/04/95
T 1	1	2	3	5	7
T 2	1	3	4	4	5
T 3	1	1	1	2	2
T 4	1	2	3	4	4

cont. TABLA III GRADO DE MADURACION DEL BANANO

TRATAMIENTO DEL BANANO	GRADO DE MADURACION (día/mes/año)				
	08/04/95	12/04/95	15/04/95	18/04/95	21/04/95
T 1	-	-	-	-	-
T 2	6	7	-	-	-
T 3	2	2	3	3	4
T 4	5	6	7	-	-

cont. TABLA III GRADO DE MADURACION DEL BANANO

TRATAMIENTO DEL BANANO	GRADO DE MADURACION (día/mes/año)				
	24/04/95	27/04/95	30/04/95	03/05/95	06/05/95
T 1	-	-	-	-	-
T 2	-	-	-	-	-
T 3	4	4	5	5	6
T 4	-	-	-	-	-

cont. TABLA III GRADO DE MADURACION DEL BANANO

TRATAMIENTO DEL BANANO	GRADO DE MADURACION (día/mes/año)		
	09/05/95	11/05/95	14/05/95
T 1	-	-	-
T 2	-	-	-
T 3	7	7	-
T 4	-	-	-

CALCULOS

TASA DE EXPOSICION X:

$$X = \frac{\Gamma \cdot A}{r^2}$$

r = distancia en cm de la fuente a la banda.

A = actividad = 10,000 Curies

Γ = constante gamma

$$\Gamma_{Co-60} = \frac{13.2 \text{ R} \cdot \text{cm}^2}{\text{hr} \cdot \text{mCi}}$$

mCi = milicuries

R = Roentgen = unidad de cantidad de radiacion gamma

DOSIS DE EXPOSICION \dot{D} :

$$\dot{D} = \frac{\Gamma \cdot A \cdot \delta}{r^2}$$

δ = 0.971 rad/ Roentgen

$$\dot{D} = 5.28 \cdot 10^4 \text{ rad/hr}$$

$$\dot{D} = D/t \Rightarrow t = D/\dot{D} = 28 \text{ minutos}$$

455,000 kg = 25,000 cajas de banano de rechazo mensuales

El largo de la banda que rodea a la fuente de irradiación es de 15 metros, entonces:

$$15\text{m} / 0.6\text{m} = 25 \text{ cajas} \quad 0.6 \text{ m} = \text{largo de la caja de banano}$$

Por tanto, se irradian 25 cajas en 28 minutos, esto es, 53 cajas por hora.

$$25,000 \text{ cajas/mes} = 833 \text{ cajas/día}$$

Por lo tanto, 833 cajas se irradian en 16 horas.