



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE INGENIERÍA PESQUERA Y DE ALIMENTOS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS

ASEGURAMIENTO DE LA INOCUIDAD DE LA HARINA DE MACA CON RADIACIÓN GAMMA

TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO DE ALIMENTOS

PATRICIA PAOLA PALOMINO HEREDIA

Callao, Enero 2010

PERÚ

**ASEGURAMIENTO DE LA INOCUIDAD DE LA
HARINA DE MACA CON RADIACIÓN GAMMA**

**A mi Madre, por ser la luz
que ilumina el camino de
mi vida.**

**“El mayor premio de mi vida es el
aplauzo de mi conciencia”**

AGRADECIMIENTO

- A Dios por haberme dado la fortaleza de emprender y terminar la investigación.
- Al Gerente General de la empresa Maca Ecológica del Perú, señor Rubén Mateo Flores, por haberme facilitado muestras de harina de maca y por el apoyo brindado durante la realización de la investigación.
- Al Lic. Johnny Vargas Rodríguez del IPEN por haberme dado los conocimientos científicos y el manejo íntegro de la tecnología de irradiación de alimentos, fundamentales en el presente estudio y por todo el apoyo brindado en las instalaciones del Centro RACSO.
- A mi Asesor Principal Ing. Walter Alvites Ruesta y a mi co – asesor Ing. Ramiro Guevara Pérez docentes de la FIPA, por su apoyo incondicional y dedicación exclusiva en la investigación.
- A la Mg. Ing. Dániza Guerrero Alva por haberme guiado en el enfoque de la investigación.
- Al Biólogo Erasmo Barrientos Aguilar, por brindarme el apoyo y las instalaciones del Laboratorio de Alimentos de Chuchito para realizar los análisis microbiológicos y fisicoquímicos respectivos para el presente estudio.

- A la Ing. Ana Mercado del Pino por sus consejos y observaciones encontradas, y que fueron levantadas en la realización del trabajo de investigación.
- A la Ing. Gloria Delgadillo Gamboa por sus aportes y lineamientos en la realización de la investigación.
- Al Ing. Víctor Higinio Rubio por su apoyo en la presentación de la investigación.
- Al Lic. Alfredo Salinas Moreno, por su apoyo en los análisis estadísticos realizados en la investigación.
- Al Ing. Percy Ordoñez Huamán por su apoyo en los análisis sensoriales realizados.
- Al señor Antonio Prado, del departamento de Bibliotecología en las instalaciones de IPEN - Huarangal por haberme brindado toda la información necesaria para el presente estudio.
- Al Dr. Juvencio Bríos Avendaño por su apoyo en el desarrollo de la investigación.
- A mis colegas Ing. Karina Aliaga, Ing. Olivia López, Ing. Irina Ochoa, Ing. Mayde Montoya y al Ing. Pesquero Fernando Gómez por alentarme y brindarme su apoyo en la elaboración de la investigación.
- A todos aquellos que de alguna manera se involucraron en esta investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPITULO I

INTRODUCCION

- | | | |
|-----|--------------|---|
| 1.1 | Importancia | 3 |
| 1.2 | Problemática | 3 |
| 1.3 | Objetivos | 6 |

CAPITULO II

ANTECEDENTES

- | | | |
|-----|-----------------|---|
| 2.1 | Nacionales | 7 |
| 2.2 | Internacionales | 8 |

CAPITULO III

MATERIALES Y METODOS

- | | | |
|-----|---|----|
| 3.1 | Aspectos generales de la maca | 18 |
| 3.2 | Conceptos generales sobre tecnología de irradiación | 33 |
| 3.3 | Enfermedades transmitidas por alimentos | 59 |
| 3.4 | Metodología empleada en la ejecución del trabajo de investigación | 64 |
| 3.5 | Obtención y cálculo del tamaño de muestra | 67 |
| 3.6 | Descripción de la experimentación | 69 |

3.7 Técnicas de recolección de datos	99
3.8 Instrumentos de recolección y procesamiento de datos	100
3.9 Variables e hipótesis	100
3.10 Pruebas de hipótesis	104
3.11 Materiales	109
CAPITULO IV	
RESULTADOS	
4.1 Resultado de los análisis fisicoquímicos de la harina de maca no irradiada	112
4.2 Resultado de los análisis microbiológicos de la harina de maca no irradiada	114
4.3 Resultado de los análisis del proceso de irradiación de la harina de maca	118
4.4 Resultado de los análisis fisicoquímicos de la harina de maca irradiada	121
4.5 Resultado de los análisis microbiológicos de la harina de maca	123
4.6 Resultado del análisis sensorial de la harina de la	131

maca irradiada	
4.7 Resultado del análisis estadístico realizado en la harina de maca irradiada	133
4.8 Resultado del tiempo de almacenamiento de la harina de maca a la dosis óptima de 8 KGy	147
CAPITULO V DISCUSIONES	149
CAPITULO VI CONCLUSIONES	154
CAPITULO VII RECOMENDACIONES	155
CAPITULO VIII RESUMEN	156
CAPITULO IX BIBLIOGRAFIA	157
CAPITULO X ANEXOS	168

LISTA DE TABLAS

Tabla N° 1	Zonas de mayor producción de maca	20
Tabla N° 2	Diferentes colores de la maca (<i>Lepidium meyenii</i> . Chacón)	24
Tabla N° 3	Composición química y valor nutricional (en 100 g de porción comestible de maca tubérculo)	30
Tabla N° 4	Composición química y valor nutricional (en 100 g de porción comestible de maca almidón)	31
Tabla N° 5	Aminoácidos presente en la maca	32
Tabla N° 6	Períodos de semi-desintegración de algunos núcleos radiactivos	38
Tabla N° 7	Propósitos de la irradiación de Alimentos	50
Tabla N° 8	Retención comparativa de vitaminas en conservación de alimentos por enlatado e irradiación	55
Tabla N° 9	Requisitos Fisicoquímicos para la Harina de Maca Tostada	85
Tabla N° 10	Requisitos Microbiológicos para la Harina de Maca Tostada	86

Tabla N° 11	Esquema de Variables e Hipótesis	102
Tabla N° 12	Distribución de la cantidad de muestra de harina de maca utilizada durante el proceso de investigación	111
Tabla N° 13	Análisis proximal de la harina de maca	113
Tabla N° 14	Resultados de los análisis microbiológicos de la harina de maca sin irradiar	117
Tabla N° 15	Análisis proximal de la harina de maca irradiada	122
Tabla N° 16	Resultados de AMV en la harina de maca irradiada	124
Tabla N° 17	Resultados de Mohos en la harina de maca irradiada	126
Tabla N° 18	Resultados de Levaduras en la harina de maca irradiada	128
Tabla N° 19	Consolidado de los análisis microbiológicos en la harina de maca irradiada y la muestra patrón	130
Tabla N° 20	Análisis sensorial en Harina de Maca	132
Tabla N° 21	Análisis microbiológico de la harina de maca almacenada a dosis óptima	148

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1	Distribución geográfica del cultivo de maca	21
Figura N° 2	<i>Lepidium meyenii wallp</i>	25
Figura N° 3	Hojas de la maca	25
Figura N° 4	Flores de maca	26
Figura N° 5	Hipocótilos	26
Figura N° 6	Comportamiento de las radiaciones	34
Figura N° 7	Ley del decaimiento radiactivo	37
Figura N° 8	Haz de radiación electromagnética	40
Figura N° 9	Espectro electromagnético	41
Figura N° 10	Equipo Gammacell 220	47
Figura N° 11	Comportamiento de las ETAS	61
Figura N° 12	Flujo de procesamiento para la obtención de harina de maca	72
Figura N° 13	Etapa de selección de la harina de maca	73
Figura N° 14	Etapa de lavado de la harina de maca	74

Figura N° 15	Etapa de secado de la harina de maca	75
Figura N° 16	Etapa de molienda de la harina de maca	76
Figura N° 17	Etapa de envasado de la harina de maca	77
Figura N° 18	Etapa de almacenamiento de la harina de maca	78
Figura N° 19	Flujo de procesamiento de la harina de maca con radiación gamma	82
Figura N° 20	Metodología para la determinación de AMV	88
Figura N° 21	Metodología para la determinación de E. coli	89
Figura N° 22	Metodología para la determinación de Salmonella	90
Figura N° 23	Metodología para la determinación de Hongos	91
Figura N° 24	Metodología para la determinación de Bacillus cereus	92
Figura N° 25	Procedimiento experimental para la determinación de la dosis óptima de irradiación en la harina de maca	95
Figura N° 26	Resultado del recuento de AMV	115
Figura N° 27	Resultado del recuento de mohos y levaduras	116

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico N° 1	Efecto de la irradiación sobre los AMV a diferentes dosis en la harina de maca	125
Gráfico N° 2	Efecto de la irradiación sobre los Mohos a diferentes dosis en la harina de maca	127
Gráfico N° 3	Efecto de la irradiación sobre las Levaduras a diferentes dosis en la harina de maca	129

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

En la Serie de Informes Técnicos presentados por la Organización Mundial de la Salud durante el IV Congreso Sobre Comestibilidad de Alimentos Irradiados realizado en Ginebra en 1981, se reveló que más del 50% de los alimentos que se cosechan a nivel mundial, se pierden debido a factores de contaminación y que dicho porcentaje es aún más elevado, en países en vías de desarrollo como el caso del Perú, porque no poseemos tecnologías y equipos modernos que hagan posible la conservación más adecuada de los alimentos.

Teniendo en cuenta lo mencionado, se ha planteado el trabajo de investigación "Aseguramiento de la Inocuidad de la Harina de Maca con Radiación Gamma" que tiene como objetivos, determinar la dosis y el tiempo de irradiación, para lograr la inocuidad del producto.

Siendo la maca un producto no tradicional que se ha logrado introducir en los mercados internacionales, debido a sus bondades bioquímicas y nutricionales; así para efectos de realizar el trabajo de investigación se hizo necesario, elaborar harina de maca que tenga ciertas características técnicas, que permitieran realizar la segunda etapa del trabajo. Esta etapa

consistió en someter la harina al proceso de irradiación con fuente de cobalto 60 para la destrucción de la carga microbiana presente en el producto.

Teniendo como objetivo la eliminación o reducción de la carga microbiana del producto, éste fue sometido a varias pruebas experimentales de irradiación, comprobándose que la prueba experimental de irradiación con dosis de 8 KGy por un tiempo de 68,5 minutos es la que dio mejores resultados por cuanto nos permitió reducir la carga de los microorganismos más resistentes como los Aerobios Mesofilos Viables, Hongos y Levaduras a niveles por debajo de lo que estipulan las Normas Sanitarias tanto nacionales como internacionales.

El producto obtenido luego de la irradiación, tiene características de poseer buena estabilidad ya que en un período 6 meses no se encontró viabilidad de los microorganismos patógenos en el producto.

1.1 IMPORTANCIA

El estudio que implica esta investigación es importante, porque:

- Permitirá determinar y cuantificar microbiológicamente la reducción o eliminación de la carga microbiana presente en harina de maca, tras ser sometida a proceso de irradiación gamma con diferentes dosis de irradiación; donde los resultados nos permitirán analizar si efectivamente se garantiza su calidad e inocuidad.
- Con esta tecnología se puede realizar estudios experimentales para demostrar, cuál es el comportamiento de los microorganismos y los cambios que pueda sufrir un alimento protegido con radiación gamma.
- La investigación realizada quedará como antecedente para que se aplique, en aquellas empresas que deseen exportar productos protegidos con radiación gamma; así como para el conocimiento de profesionales e interesados.

1.2 PROBLEMÁTICA

Actualmente el mundo globalizado exige calidad e inocuidad en los alimentos, más aún con la apertura de nuevos mercados internacionales, como el TLC que permiten ampliar las fronteras comerciales. La calidad de nuestros productos de agroexportación pueden verse afectados por el medio

ambiente, métodos de recolección o cosecha, transporte y prácticas de almacenamientos, comprometiendo su inocuidad y calidad.

Se han reportado productos contaminados que no cumplen con las especificaciones microbiológicas exigidas por los países importadores, principalmente por el uso inadecuado de las Buenas Prácticas Agrícolas y de Recolección (BPAR), las Buenas Prácticas de manufactura (BPM) y el Plan HACCP (ISO 22000). Estudios realizados por el Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN) sobre tecnologías de irradiación para mejorar la calidad de los productos de agroexportación muestran por ejemplo, que en productos procesados deshidratados se han encontrado poblaciones microbianas de aerobios mesófilos en el orden de 10^8 UFC/g siendo las especificaciones exigentes entre 10^3 y 10^2 UFC/g. La carga de hongos en especias puede llegar hasta $10^5 - 10^6$ UFC/g de acuerdo a lo descrito por Farkas J., en su libro "Tratamiento de las Especies". Irradiación de Alimentos en Latinoamérica. Lima, Perú (1990).

Si el producto es procesado adecuadamente con la tecnología convencional, las poblaciones de microorganismos aerobios mesófilos y hongos pueden reducirse significativamente, pero siempre hay un riesgo de contaminación por microorganismos patógenos como *Escherichia coli*, *Staphilococcus aureus*, *Salmonella sp*, debido al manipuleo o la incidencia del medio

ambiente, cuya presencia en los productos ocasiona su rechazo por el exigente mercado internacional.

Es importante resaltar que en nuestro país se han realizado muchas investigaciones y servicios en diferentes productos sobre descontaminación microbiana por radiación gamma en: plantas medicinales, colorantes naturales, especias, productos deshidratados como maca, yacón, uña de gato, diente de león, pimienta, páprika, cúrcuma, camu-camu, etc.

Por tal razón, y con el propósito de conservar la inocuidad del producto se ha decidido realizar un estudio para determinar la dosis y tiempo necesario al que debe estar expuesta la harina de maca durante el proceso de irradiación con cobalto 60; a fin de obtener resultados que garanticen la calidad y la inocuidad del alimento.

Planteamiento de Problema

Problema General

Cual sera la dosis óptima y tiempo de exposición al que sera expuesta la harina de maca a fin de lograr una reducción de las unidades formadoras de colonia por gramo (Ufc/g) que asegure la inocuidad del producto?

1.3 OBJETIVOS

Objetivo General

- Determinar la dosis óptima de irradiación y el tiempo de exposición necesario al que será expuesta la harina de maca sometida al proceso de irradiación gamma con fuente de cobalto 60 a fin de lograr una buena calidad e inocuidad del producto.

Objetivos Específicos

- Determinar mediante análisis microbiológicos la cantidad de carga microbiana inicial presente en la harina de maca.
- Irradiar la harina de maca y analizar los cambios físicos, químicos, microbiológicos y organolépticos.
- Estudiar el comportamiento de los microorganismos presentes en la harina de maca después de ser irradiados.
- Comparar mediante análisis microbiológicos la reducción de la carga microbiana hasta niveles aceptables de la harina de maca antes y después del proceso de irradiación
- Establecer el flujo de proceso de irradiación gamma para la harina de maca teniendo en cuenta la Norma Técnica Peruana 209.500: 2001, sobre Irradiación de Alimentos.
- Observar el efecto que genera el tiempo de almacenamiento sobre los microorganismos resistentes a la dosis óptima en el proceso de radiación.

CAPITULO II

ANTECEDENTES

2.1 NACIONALES

De acuerdo a un estudio realizado por la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos y publicado en la Revista Perú Biología durante el año 2005 se determinó la prevalencia de hongos en harina de maca en los mercados de Andahuaylas, Ica y Cañete, donde los géneros con mayor incidencia fueron *Penicillium* y *Fusarium*. Dicho estudio determinó que el 96.7% de las muestras de harina de maca del expendio en los mercados se encuentran contaminadas por mohos filamentosos. El promedio de UFC/g de hongos filamentosos en harina de maca osciló entre 33.10^8 a 6.10^8 .

Uno de los productos que también viene siendo objeto de estudio es la páprika. Sabemos que las especias generalmente se encuentran contaminadas por diversos microorganismos, teniendo en cuenta que la páprika es uno de los productos que viene ocupando un lugar importante en el ranking del sector agro exportador, convirtiendo a nuestro país en el primer exportador a nivel mundial, es así que el Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN) se planteó el estudio del efecto de radiación gamma en páprika en polvo irradiado en dosis de 4 K Gy, 8 K Gy y 10 K Gy, obteniendo

como resultado que a la dosis de 8 KGy se redujo la población microbiana a un nivel satisfactorio desde un punto de vista sanitario.

En nuestro país muchas empresas vienen aplicando la tecnología de irradiación con la finalidad de reducir la carga microbiana de sus productos hasta niveles aceptables, este tipo de servicio solo es realizado por el IPEN en la Planta de Irradiación Multiusos (PIMU) ubicada en Santa Anita.

2.2 INTERNACIONALES

Actualmente en los Estados Unidos, la Comisión de Energía Atómica (AEC) y la Armada, investigan la utilidad de la radiación gamma en la irradiación de alimentos con cobalto-60 y determinar los efectos sobre los alimentos. En 1983, la Comisión del Codex Alimentarius (CAC) adoptó como norma de carácter mundial las conclusiones del Comité Mixto de Expertos sobre la Comestibilidad de Alimentos Irradiados (CMEAI), elaboró un Protocolo General para Alimentos Irradiados y un Código de Recomendaciones Internacionales sobre la Práctica para la Operación en el Uso de Radiación para el Tratamiento de Alimentos. Citado por la OMS (1986).

El control y regulación de las plantas de irradiación de alimentos está a cargo del gobierno de cada País que lo autorice y los intereses del mercado. Se estima que se irradian y comercializan más de 500.000 toneladas/año y cada año se incrementa esta cifra. Actualmente más de 37 países han decidido

aprobar la tecnología de irradiación y la construcción de plantas de tratamiento para su utilización en el campo de la alimentación.

Entre los países que irradian más de 10,000 toneladas/año se encuentran: Bélgica, Japón, Países Bajos, Sudáfrica, Rusia, Francia y China. (Ortin, N. 1983). Por otro lado estudios realizados el año 2002 en Chile por la Universidad Santo Tomás, con la colaboración de la Comisión Chilena de Energía Nuclear demostraron en el informe: "Utilización de la Radiación Ionizante Como Método de Eliminación de microorganismos Patógenos en Hamburguesas", que es factible el uso de energía ionizante en hamburguesas congeladas almacenadas a -18°C aplicando dosis menores a 4KGy, reduciendo el riesgo de transferir enfermedades que afecten la salud pública.

2.3 BIBLIOGRAFICOS

- ABDELLAQUI, S; en EFFECTS THE IRRADIATION GAMMA, cita que la irradiación gamma de clementinas (0,3 KGy y 0,5 KGy y a temperatura ambiente) no tiene ningún efecto apreciable en aquellos aspectos de evaluación sensorial (sabor y olor desagradable).
- ALIAGA, R; en GUÍA PARA EL CULTIVO, APROVECHAMIENTO Y CONSERVACIÓN DE LA MACA (*Lepidium meyenii wallp*), manifiesta que la maca es una planta herbácea bianual, cuya raíz comestible se

aprecia mucho por su valor nutritivo y que además incrementa la reproducción en los animales y el hombre. Esta supuesta propiedad sobre la cual hay escasa evidencia experimental de resultados positivos era ya conocida por los primeros cronistas españoles.

- BARNA, J; en COMPILATION OF BIOASSAY DATA ON THE WHOLESOMENESS OF IRRADIATED FOOD ITEMS, comenta que realizó una recopilación en 1979 encontrando más de 1200 estudios sobre la comestibilidad de alimentos irradiados.
- BARBOSA Y COL; en CONSERVACION NO TERMICA DE ALIMENTOS; sostienen que la sensibilidad a la radiación de los microorganismos difiere de las especies y también de las cepas.
- BELTRÁN H, BALDEÓN S, CARRILLO E, FUERTES C.; en ESTUDIO BOTÁNICO Y QUÍMICO DE LOS ECOTIPOS AMARILLO Y MORADO DE *Lepidium peruvianum* (Maca); sostienen que la maca es una raíz rica en proteínas, de naturaleza estimulante, fertilizante y reconstituyente; razón por lo que es utilizada para combatir la anemia perniciosa de los enfermos.
- BRASCH AND HUBER; en ULTRASHORT APPLICATION TIME OF PETRATING ELECTRONS; citan la posibilidad de utilizar energía proveniente de la aceleración de electrones para irradiar carnes, huevos, harina y artículos de uso común.

- BONIER, C. AND R. ALIAGA; en ANDEAN ROOTS TUBERS: AHIPA, ARRACACHA, MACA AND YACÓN; señalan que el cultivo de maca se localiza en los ecosistemas Puna y Suni, restringiéndose su cultivo en los departamentos de Junín y Pasco en la Sierra Central del Perú en altitudes de 4100 - 4450 msnm., caracterizados por temperaturas entre los 4 y 7 °C, alta irradiación solar, heladas frecuentes, vientos fuertes y suelos ácidos con pH menores de 5.
- CORTES, D. Y J. GUILLERMO; en EVALUACION FUNGICA EN HARINA DE MACA; manifiestan que un estudio realizado para determinar hongos en establecimientos de expendio de harina de maca en mercados de Chincha e Ica reportó una población fúngica promedio de entre 1000 y 10000 UFC/g.
- DINI, A., G. MAGLIUOLO, L. RASTRELLI, P. SATURNINO AND O. SCETTINO; en CHEMICAL COMPOSITION OF *Lepidium meyenii*. FOOD CHEMISTRY; mencionan que en cuanto al valor nutricional, la "maca" está compuesta por 59% de carbohidratos, 10.2% de proteínas, 8.5% de fibra y 2.2% de lípidos. Reportándose su consumo como sustituyente del trigo. El alto contenido de Calcio y Fierro, con 150 mg. y 16.6 mg por cada 100 gr. de peso seco respectivamente son las principales ventajas, además de estar constituida por un gran número de aminoácidos esenciales como el ácido aspártico, ácido glutámico, glicina, valina, lisina y arginina, especialmente estas dos últimas. Se destaca la

presencia de los ácidos grasos insaturados como el palmítico, linoleico y oleico; y, entre las vitaminas tenemos a la Tiamina (B1), Riboflavina (B2) y Vitamina C.

- DIEHL, F; en SAFETY OF IRRADIATED FOODS; afirma que la irradiación puede evitar la propagación de ciertas enfermedades cuyos agentes de transmisión proliferan en productos elaborados y semielaborados, así mismo que la irradiación de ciertos embutidos en países asiáticos ha supuesto la casi erradicación de enfermedades gastrointestinales.
- ELIAS, P; en RADIATION CHEMISTRY OF MAJOR FOOD COMPONENTS; admite que la mayoría de los compuestos producidos por la irradiación se encuentran también presentes en los alimentos sometidos a otros tipos aceptados de tratamiento, y que las variaciones de la composición de los alimentos causada por irradiación ionizante son cuantitativamente muy reducidas.
- ESPINOZA, C. Y L. POMA; en DETERMINACIÓN DE AMINOÁCIDOS ESENCIALES DE LA MACA (*Lepidium meyenii*) Y ELABORACIÓN DE UNA MEZCLA PROTEÍCA A BASE DE ALIMENTOS ANDINOS; mencionan que la mayor importancia de este vegetal viene de la combinación de sus elementos nutricionales con otros componentes

como: a) presencia de cuatro alcaloides conocidos como macaína 1, 2, 3 y 4 los cuales estimulan el sistema reproductivo de ambos sexos, b) ciertos esteroides especialmente el Sitosterol y c) glucosinolatos especialmente el bencil isotiocionato teniendo influencia en los procesos hormonales reproductivos.

- FARKAS, J; en TRATAMIENTO DE LAS ESPECIES POR IRRADIACION; comenta que experimentos realizados en los últimos 30 años han demostrado para una gran variedad de especies y alimentos secos en diferentes países, que el tratamiento de las especies con energía ionizante es una alternativa viable para la destrucción de microorganismos.
- FARKAS, J; en PRINCIPIO DE LA IRRADIACION DE ALIMENTOS; señala que la tecnología de irradiación es un proceso físico que generalmente utiliza una fuente de cobalto 60, siendo un proceso en frío que no eleva la temperatura del producto, es de alta penetrabilidad y no deja residuo, vale decir que es inocuo.
- FAO/OIEA/OMS; en COMITÉ MIXTO DE EXPERTOS SOBRE LA COMESTIBILIDAD DE LOS ALIMENTOS IRRADIADOS; señala que la irradiación de cualquier alimento con una dosis promedio de hasta 10 kGy

no presenta riesgos toxicológicos y tampoco introduce problemas especiales desde el punto de vista nutricional y microbiológico.

- FIGUEROA, C Y COL; en EFECTO DEL PRETRATAMIENTO EN SOLUCIONES DE TRIPOLIFOSFATO EN FILETES DE MERLUZA RADURIZADA; mencionan que con el efecto de poder prolongar la vida útil de un producto de consumo masivo, la Comisión Chilena de Energía Nuclear desarrolló un proceso tecnológico en radurización de filetes de merluza (*Merluccius gayi gayi*), mediante el cual se consigue conservarlos por un período de 16 – 26 días.
- GARRISON, W; en REACTION MECHANISM IN THE RADIOLYSIS OF PEPTIDES, POLYPEPTIDES AND PROTEINS; comenta que algunos estudios dentro de los Métodos Químicos como Electroforesis de proteína, han demostrado que la irradiación gamma de las proteínas parece afectar al contenido total de las mismas, así como altera los aminoácidos constituyentes.
- INSTITUTO NACIONAL DE NUTRICIÓN; en uno de sus estudios realizados menciona que el contenido de calcio en harina de maca igual a 247 mg por cada 100 g de porción comestible es un mineral importante para el correcto funcionamiento del organismo favoreciendo el fortalecimiento del sistema óseo.

- MARTH E.H, CALANOG B.G; en TOXIGENIC FUNGI. FOOD MICROBIOLOGY; comenta que los mohos son el principal factor limitante de la vida de almacén de los productos a base de harinas, existiendo el riesgo de producción de micotoxinas, como las aflatoxinas.
- MURANO, P; en QUALITY OF IRRADIATED FOOD; comenta que la primera irradiación de alimentos con fines comerciales tuvo lugar en Alemania en 1957, cuando un industrial dedicado a la manufacturación de especias decide mejorar las cualidades higiénicas de sus productos irradiándolos con un acelerador de Van de Graff.
- MINCK, F; en AN HISTORICAL REVIEW OF FOOD IRRADIATION; sugiere el uso de radiaciones ionizantes para destruir microorganismos en alimentos.
- MARUYAMA, T; en REASSESSMENT OF GAMMA DOSES FROM THE ATOMIC BOMBS OF HIROSIMA AND NAGASAKI; señala como ejemplo de dosis retrospectiva (cuya definición describe la posibilidad de medir dosis gamma acumuladas en materiales cocidos después de que un suceso radioactivo haya tenido lugar en el pasado) la evaluación y medición de dosis gamma después de que la bomba atómica impactara en Hiroshima y Nagasaki.
- La OMS; resume mediante un Informe del Comité Mixto FAO/OIEA/OMS, que la irradiación de alimentos es un método más de conservación, que

presenta dos cualidades básicas: alargar la vida media del producto y aumentar las cualidades higiénico – sanitarias del mismo.

- TELLO, J., M. HERMAN Y A. CALDERÓN; en LA MACA (*Lepidium meyenii* Walp.); comentan que la harina de maca ha sido empleada en acuicultura con resultados alentadores en la piscicultura de peces de aguas frías, presentándose como un potencial recurso alimenticio, debido a su alto elevado valor nutricional.
- TELLO, J., M. HERMAN Y A. CALDERÓN; en LA MACA (*Lepidium meyenii* Walp.); señalan que la maca es bienal, en el primer año (fase vegetativa) se forma a partir de la semilla botánica una roseta de hojas que produce el hipocótilo; en el segundo año (fase reproductiva) el hipocótilo produce de uno a tres brotes principales, los cuales desarrollan tallos en sentido radial y se ramifican en forma lateral formando las inflorescencias racimosas que producen las semillas.
- TONON, S; en CONTAMINACION FUNGICA DEL TE; señala que la presencia preponderante de los géneros *Penicillium* y *Fusarium* en las muestras de harina de maca toman real importancia porque representan un problema desde el punto de vista bromatológico y que la mayoría de las especies pertenecientes a los mencionados géneros tienen la capacidad de sintetizar metabolitos secundarios tóxicos denominados micotoxinas.

- SATIN, M; en FOOD IRRADIATION; comenta que aunque pueda parecernos ahora poco creíble, la leche fue uno de los productos alimenticios que primero se irradiaron. Se calcula que en 1935 unos 35 millones de americanos se alimentaban de leche irradiada.

- TANABE, K; en EFFECTS OF ELECTRON BEAM IRRADIATION ON CUT FLOWERS; comenta que el uso de radiaciones ionizantes sobre flores cortadas está justificada como un elemento de desinfestación o esterilización en sustitución de la fumigación.

- WOOD, R; en INTERACTION OF RADIATION WITH MATTER; menciona que el hecho de hacer incidir una radiación ionizante sobre un alimento provoca en el mismo la absorción de energía y la aparición de iones o radicales libres, los cuales reaccionan para formar productos estables radiolíticos.

CAPITULO III

MATERIALES Y METODOS

3.1 Aspectos Generales de la Maca

3.1.1 Aspecto Histórico

Aliaga, C. (1998), menciona que la Maca (*Lepidium meyenii*. Walp) que en el periodo pre-inca, tuvo una gran importancia y se constituyó en una de las primeras raíces que el poblador peruano consumió, durante la época incaica no solo se convirtió en alimento de nobles, sino que servían también de ofrenda a los dioses; junto al maíz y la papa. "A la huaca llamada Apu Quircay, cerro cerca a Corpancha le daban maíz, maca y papas". Al llegar los españoles se sorprendieron cuando al realizar su visita a Chinchaycocha (4150 msnm.) oyeron hablar sobre las magnificas propiedades de una raíz, que los naturales llamaban maca "Su temperamento es muy caliente y por mantenerse los naturales con esta raíz, no sólo van a menos como en las demás provincias, sino que se multiplican cada día más para lo cual dicen tener virtud esta raíz" (Cobo, B. 1653). "Son muy gustosas, ardientes y afrodisíacas y que excitan al Venus por lo que muchos creen que presta fecundidad a hombres y mujeres". La maca es la única brasicáceas domesticada en los andes su centro de origen y diversificación es la zona central de Perú lugar donde se encuentra la fuente mayor de variabilidad

genética. Está adaptada a condiciones ecológicas muy frías donde otro cultivando no podría prosperar; estas zonas se caracterizan por tener temperaturas promedio entre 4 y 7° C, alta irradiación solar, heladas frecuentes, vientos fuertes y suelos ácido ($\text{pH} < 5$).

Originalmente el cultivo de la maca estaba restringido a los departamentos de Junín y Pasto, en las localidades de Huayre, Carhuamayo, Uco, Ondores y Junín (departamento de Junín) y en Ninacaca, Vicco y Cerro de Pasto (departamento de Pasto) zona conocida también como la **Meseta de Bombón**, (véase Tabla N° 1). Pero por la gran demanda que tiene se ha extendido su cultivo desde 1996 a los departamentos de Ancash, Apurímac, Ayacucho, Huánuco, Huancavelica y Puno ubicados en la zona central y sur del Perú (ver Figura N° 1).

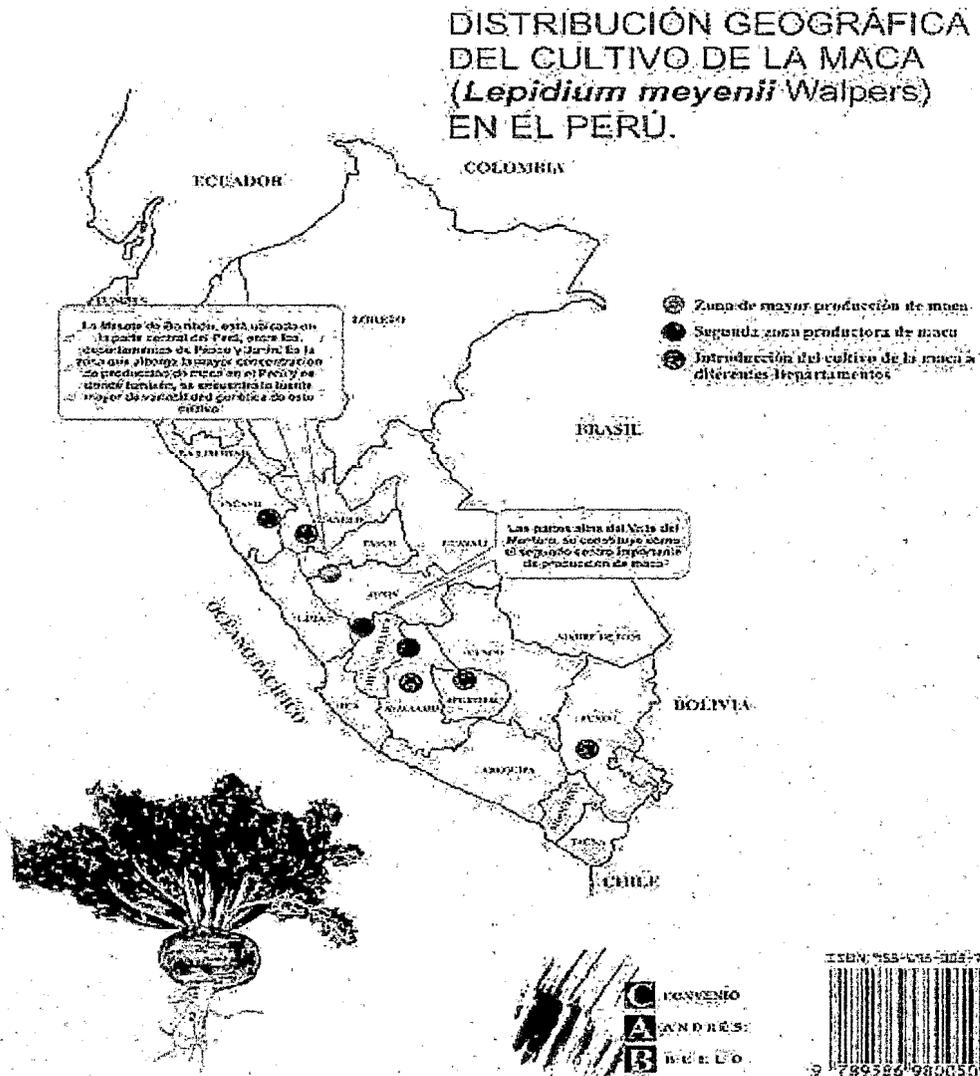
TABLA N° 1**ZONAS DE MAYOR PRODUCCIÓN DE MACA**

Lugares donde se cultiva la maca en la Región Avelino Cáceres, Sub regiones Altoandinas y Mantaro				
Departamento	Provincia	Distrito	Anexo	Altura msnm
Junín	Huancayo	S.J.Jampa		3800
Junín	Huancayo	Ahuac	Ninanya	3800
Junín	Junín	Ondores		4192
Junín	Junín	Junín	Uco	4125
Junín	Junín	Junín	Pari	4200
Junín	Junín	Carhuamayo		4200
Pasco	C. Pasco	Ninacaca		4300
Pasco	C. Pasco	Vicco	Shelby	4300
Pasco	C. Pasco	San Antonio de Rancas		4365

Fuente: Pérez, A. 1999. Boletín Técnico Cultivo de la Maca.

FIGURA N° 1

DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DEL CULTIVO DE LA MACA



Fuente: Aliaga, C. 1998. Guía para el cultivo, aprovechamiento y conservación de la maca.

3.1.2 Descripción Botánica

Aliaga, C. (1998), describe a la maca como una planta herbácea bianual, cuya raíz es comestible y se aprecia mucho por su valor nutritivo. Es la raíz principal engrosada, napiforme de 4-5 cm. de diámetro por 5-8 cm. de longitud y por su característica de ser raíz reservante se le conoce también como hipocótilo. Debido a que el hipocótilo va a dar lugar al tallo y la radícula a la raíz y esta presenta diferentes matices de colores y formas muy variadas, es necesario un estudio más detallado para precisar bien si es una raíz, raíz hipocótilo ó simplemente hipocótilo. La raíz que es de consistencia dura, presenta dos tipos de colores: amarillo y morado (Figura N° 2).

La planta de la maca en la fase vegetativa presenta hojas compuestas bipinnatisectas, con foliíolos opuestos. Cada foliíolo, a su vez, está dividido en segmentos foliares con bordes profundamente lobulados, cuya forma y cantidad varían de acuerdo con el color de hipocótilo de la planta y son muy parecidas a las de la zanahoria, pero cabe aclarar que no pertenecen a la misma familia botánica (Figura N° 3).

En plantas vegetativas son grandes (12 a 18 centímetros) y en plantas reproductivas son muy reducidas (menores a 5 centímetros), aunque en los inicios de esta fase se presentan hojas grandes y similares a la de la fase vegetativa (a esta etapa le hemos denominado segunda fase vegetativa).

Las flores de la maca son muy pequeñas, su tamaño promedio está entre 1.5 y 2.0 milímetros. Sus pétalos, son de color blanco de 0.7 milímetros en promedio y sus sépalos de color que varían entre el verde, violáceo y verde-violáceo, miden 1.2 milímetros en promedio. Las flores están reunidas en inflorescencias en panícula y el conjunto de éstas forma la roseta de la fase reproductiva de la maca (Figura N° 4).

Los frutos de la maca son silículas, las que se caracterizan por tener solamente dos semillas por fruto y miden aproximadamente 2 milímetros; las silículas están separadas por un tabique el cual divide al fruto en dos porciones iguales, las semillas que contiene el fruto son de un color naranja, aunque la gama de colores varia del amarillo-naranja al marrón oscuro; en algunos casos se observan de color verde, posiblemente se deba al estado de maduración de la planta. Las semillas tienen un tamaño promedio de 2 milímetros de largo y 1.1 milímetro de ancho. Los hipocotilos, conocidos comúnmente como maca, son producto de la acumulación de sustancias de reserva por parte de la planta, estas varían mucho y principalmente en cuanto a color y forma. Otras características, tales como el tamaño no son muy relevantes, por lo que solo se explican estos dos en esta cartilla (Figura N° 5).

Con respecto al color los más comúnmente conocidos en el mercado son el amarillo, crema, morado, amarillo-morado rosado y negro. También en una parcela de maca se pueden encontrar distintas combinaciones de estos colores, pudiendo ser amarillo - morado, crema - morado, amarillo - negro, plomo, muy raras veces morado - negro, etc. (Tabla N° 2).

TABLA N° 2
DIFERENTES COLORES DE LA MACA

Color de Hipocótilo	Amarillo	Morado	Crema - Morado	Amarillo - Morado	Crema	Negro	Total
Por ciento (%)	44	29	16	5	3	3	100

Fuente: Garay, C. 1991. "Cultivo de la Maca"

FIGURA N° 2

Lepidum meyenii walp "maca"



Fuente: Aliaga, C. 1998. Guía para el cultivo, aprovechamiento y conservación de la maca.

FIGURA N° 3

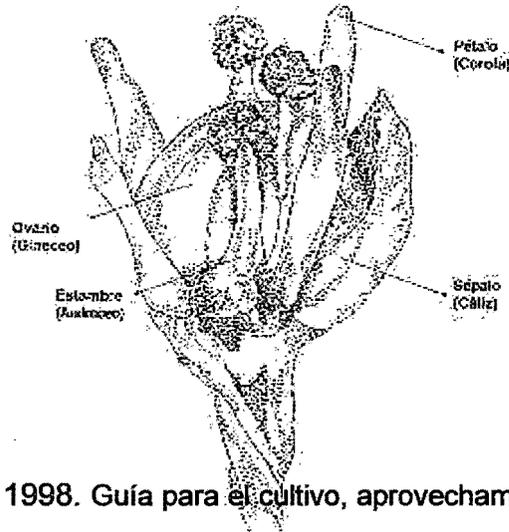
HOJAS DE LA MACA



Fuente: Aliaga, C. 1998. Guía para el cultivo, aprovechamiento y conservación de la maca

FIGURA N° 4

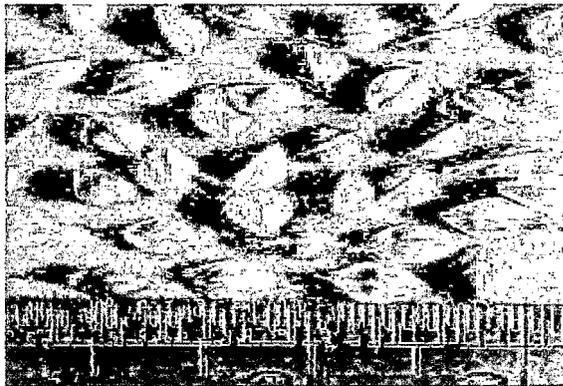
FLORES DE LA MACA



Fuente: Aliaga, C. 1998. Guía para el cultivo, aprovechamiento y conservación de la maca

FIGURA N° 5

HIPOCOTILOS



Fuente: Aliaga, C. 1998. Guía para el cultivo, aprovechamiento y conservación de la maca

3.1.3 Clasificación Botánica

- Por Ing. Ángel Pérez Ávila, en el Congreso sobre Maca y el Sector Agroexportador realizado en Junín 1999.

División	:	Fanerógama
Subdivisión	:	Angiospermae
Clase	:	Dicotyledoneae
Sub clase	:	Archyclamidaeae
Orden	:	Rhoedales o Papaverales
Familia	:	Brassicaceae o Cruciferae
Género	:	Lepidium
Especie	:	<i>Lepidium peruvianum. chacón</i>
Nombre vulgar:	:	Maca, Macamama o Maino

- Por el Dr. David Ponce A. en su libro Avances Logrados en el Mejoramiento Genético de la Maca publicado en julio de 1999.

División : Magnoliopyta
Subdivisión : Angiospermae
Clase : Dicotyledoneae
Sub clase : Dilleniidae
Orden : Capparales
Familia : Brassicaceae
Tribu : Lepidiae
Sección : Monoploca
Género : *Lepidium*
Especie : *Lepidium peruvianum chacón*
Nombre vulgar : Maca, maka

3.1.4 Composición Química y Nutricional

El valor nutricional del hipocótilo seco de la maca es alto, asemejándose a aquellos encontrados en cereales y granos tales como maíz, arroz y trigo, los hipocotilos frescos contienen 80 por ciento de agua, los hipocotilos secos de maca tienen la siguiente composición; 59 por ciento carbohidratos, 10.2 proteínas, 8.5 fibra y 2.2 por ciento lípidos (Aliaga, C. 1998).

Entre otros componentes la maca tiene una cantidad importante de aminoácidos esenciales y más altos niveles de hierro y calcio que la papa blanca. Adicionalmente la maca contiene importantes cantidades de ácidos grasos, de los cuales el linoleico, palmítico y oleico son los más prominentes. La maca también es rica en esteroides y un alto contenido mineral, en particular hierro, calcio y cobre, presenta alcaloides como la macaína 1, 2, 3 y 4 siendo aún objeto de estudio. La maca tiene un fuerte y peculiar sabor que no es aceptable a muchas personas, es por eso que se suele disfrazar con aditivos en la elaboración de jugos y otros preparados (Dini, A. 1994).
Tablas N° 3, 4 y 5.

TABLA N° 3

COMPOSICIÓN QUÍMICA Y VALOR NUTRICIONAL (en 100 g de porción comestible de maca tubérculo)

Elemento	Unidad	Valor	Elemento	Unidad	Valor
Calorías	Cal	314	Calcio	mg	247
Agua	g	15,3	Fósforo	mg	183
Proteína	g	11,8	Hierro	mg	14,7
Grasas	g	1,6	Sodio	mg	18,7
Carbohidratos	g	59,0	Vit B1 (Tiamina)	mcg	0,20
Fibra	g	8,5	Vit B2 (Riboflavina)	mcg	0,35
Ceniza	g	5,0	Ac. Ascórbico	mcg	2,50

Fuente: Aliaga, C. 1998. *Lepidium meyenii*

TABLA N° 4

**COMPOSICIÓN QUÍMICA Y VALOR NUTRICIONAL (en 100 g de porción
comestible de maca almidón)**

Elemento	Unidad	Valor	Elemento	Unidad	Valor
Calorías	Cal	350	Calcio	mg	175
Agua	g	11	Fósforo	mg	70
Proteína	g	6,1	Hierro	mg	31,7
Grasas	g	1,2	Sodio	mg	18,3
Carbohidratos	g	80,1	Vit B1 (Tiamina)	mcg	0,15
Fibra	g	8,3	Vit B2 (Riboflavina)	mcg	0,07
Ceniza	g	1,6	Ac. Ascórbico	mcg	2,8

Fuente: Collazos, C. 1975 "La Composición de los Alimentos Peruanos"

TABLA N° 5

AMINOÁCIDOS PRESENTES EN LA MACA

AMINOÁCIDOS		AMINOÁCIDOS	
Componentes	mg/g de proteína	Componentes	mg/g de proteína
Ac. Aspártico	1.7	Fenilalanina	55.3
Ac. Glutámico	156.5	Valina	79.3
Serina	50.4	Metionina	28
Histidina	21.9	Isoleucina	47.4
Glicina	68.3	Leucina	91.0
Treonina	33.1	Lisina	54.5
Alanina	63.1	HO-Prolina	26.0
Arginina	99.4	Prolina	0.5
Tirosina	30.6	Sarcosina	0.7

Fuente: Collazos, C. 1975 "La Composición de los Alimentos Peruanos"

3.2 Conceptos Generales Sobre la Tecnología de Irradiación

Radiaciones Ionizantes

Se denomina así a un tipo de radiación cuya energía es lo suficientemente alta para arrancar a los electrones de los átomos y moléculas, convirtiendo a los mismos en partículas cargadas eléctricamente o iones.

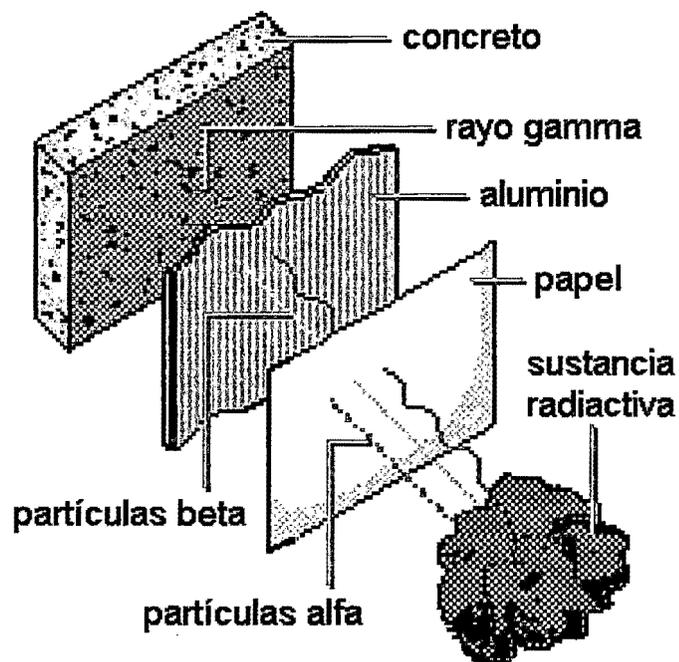
Clases de Radiación Ionizantes

Brogie, L (1961), comenta que los cuerpos radiactivos emiten tres tipos distintos de radiación, a los que, por orden cronológico de descubrimiento, se llamó rayos alfa (α), rayos beta (β) y rayos gamma (γ). Los tres pueden identificarse por un procedimiento relativamente sencillo: se coloca una pequeña cantidad de sustancia radiactiva en el interior de una cavidad profunda practicada en el interior de un bloque de plomo, y encima de éste, a poca distancia, se dispone una placa fotográfica; el conjunto se deposita en el interior de una cámara en la que se ha hecho el vacío para evitar acciones extrañas debidas a la interacción de la radiación con el aire. Transcurrido cierto tiempo, se observa que la placa ha quedado velada en una zona cuya extensión es ligeramente superior a la de la abertura del orificio. Si se repite el experimento colocando un imán muy potente en la zona que recorren las radiaciones aparecen tres señales distintas sobre la placa: una de ellas bastante separada de la zona central, corresponde a partículas de carga

negativa (los rayos β); otra poco desviada, corresponde a partículas de carga positiva (los rayos α) y finalmente se aprecia una impresión en la zona central, producida por los rayos γ , que corresponde a radiaciones que no han sufrido ninguna desviación y que, por tanto, carecen de carga eléctrica (Figura N° 6).

FIGURA N° 6

COMPORTAMIENTO DE LAS RADIACIONES



Fuente: Broglie, L. 1961. Continuidad y Discontinuidad en Física Moderna

Dosis Absorbida

La dosis media global absorbida para un alimento sometido a un proceso de irradiación no deberá exceder de 10 KGy (Códex Alimentario Para Alimentos Irradiados, 1991).

Tasa de Dosis

Es la dosis emitida por la fuente por unidad de tiempo.

Dosímetro

Cualquier equipo o instrumento que tiene un sistema que permite medir de manera reproducible la radiación a la que ha estado expuesto un objeto.

3.2.1 Nociones Sobre Radiactividad

Kaplan, I. (1958), comenta que antes de conocer la existencia del núcleo, los trabajos de Curie, Becquerel, Soddy, Fajans y Rutherford nos dieron a conocer el fenómeno de la radiactividad natural, de la que sólo están dotados los elementos químicos pesados y que consiste en la facultad de esos átomos de desintegrarse al azar dando nacimiento a un átomo de otro elemento. Cuando se conoció la existencia del núcleo central apareció claramente el sentido de la radiactividad. Puesto que el núcleo caracteriza la individualidad de las especies químicas, es él quien debe romperse en el fenómeno de la radiactividad.

Actividad de una Sustancia Radiactiva

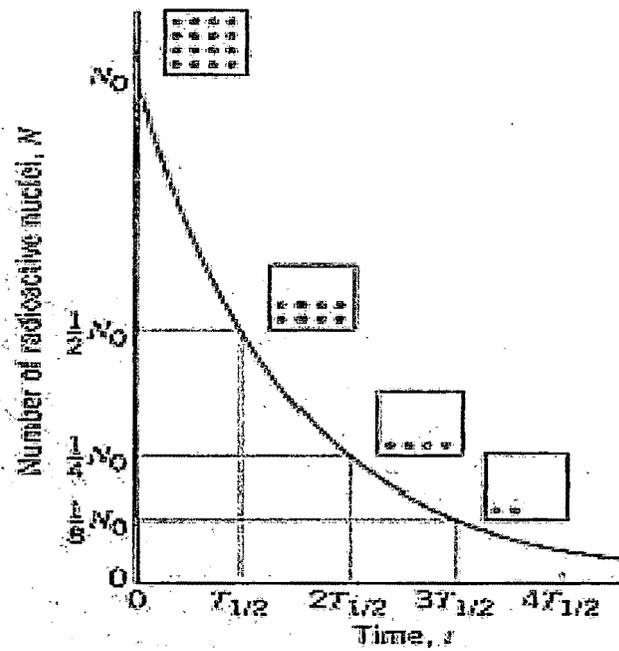
Isbin, H (1963), se entiende por actividad de una sustancia radiactiva el número de átomos de dicha sustancia que se desintegran por unidad de tiempo. En 1 g de uranio 238 se producen, en 1 segundo, unas 12.000 desintegraciones; sin embargo, el uranio es una sustancia poco activa, puesto que tal cantidad resulta muy pequeña comparada con los 2.500 trillones de átomos contenidos en ese gramo. La unidad utilizada para medir la actividad es el *curie*, que corresponde a la actividad de una muestra en la que se producen 37.000 millones de desintegraciones por segundo.

Ley del Decaimiento Radiactivo

La actividad radiactiva tiene un comportamiento especial. Si se mantuviera constante bastarían unos millones de años para que 1 gramo de uranio desapareciera, y lo mismo sucedería con la totalidad del uranio que en un momento determinado pudiera haber en la tierra. La representación gráfica de la actividad de cualquier sustancia radiactiva da lugar a una curva exponencial (Figura N° 7).

FIGURA N° 7

LEY DEL DECAIMIENTO RADIOACTIVO



Fuente: Fermi, F. 1958 "Fisica Nuclear"

Período de Semi-desintegración

Fermi, F. (1958), es el tiempo necesario para que la cantidad de átomos supervivientes de una muestra radiactiva cualquiera se reduzca a la mitad de los átomos iniciales, siendo esta una magnitud característica de los núclidos componentes. El período de semi-desintegración varía extraordinariamente de unos núcleos a otros: el del uranio $^{92}\text{U}^{238}$, es de 4.500 millones de años, mientras que el del radio $^{88}\text{Ra}^{226}$, es de 1.620 años. La Tabla N° 6 muestra los periodos de semi-desintegración de algunos núcleos radiactivos.

TABLA N° 6

**PERIODOS DE SEMI-DESINTEGRACIÓN DE ALGUNOS NÚCLEOS
RADIATIVOS.**

Berilio- 8	Polonio- 213	Aluminio- 28	Yodo- 131	Estroncio- 90	Radio- 226	Carbono- 14	Rubidio- 87
10^{-16} s	$4 \cdot 10^{-6}$ s	2'25 min.	8 días	28 años	1600 años	5730 años	$5'7 \cdot 10^{10}$ años

Fuente: Fermi, F. 1958 "Física Nuclear"

Vida Media – Periodo de Vida de un Átomo Aislado

Brogie, L. (1961), es el tiempo que por término medio tarda en desintegrarse un átomo, el cálculo demuestra que el período de semi-desintegraciones es igual al producto de 0.693 por la vida media. Naturalmente la asignación de un promedio de vida no significa que todos los núcleos radiactivos tengan la misma duración; algunos se desintegrarán rápidamente, mientras que otros permanecerán estables durante tiempos muy superiores, de la misma forma que el promedio de vida de una comunidad humana no implica que todos sus miembros vivan exactamente el mismo número de años.

Radiación Electromagnética

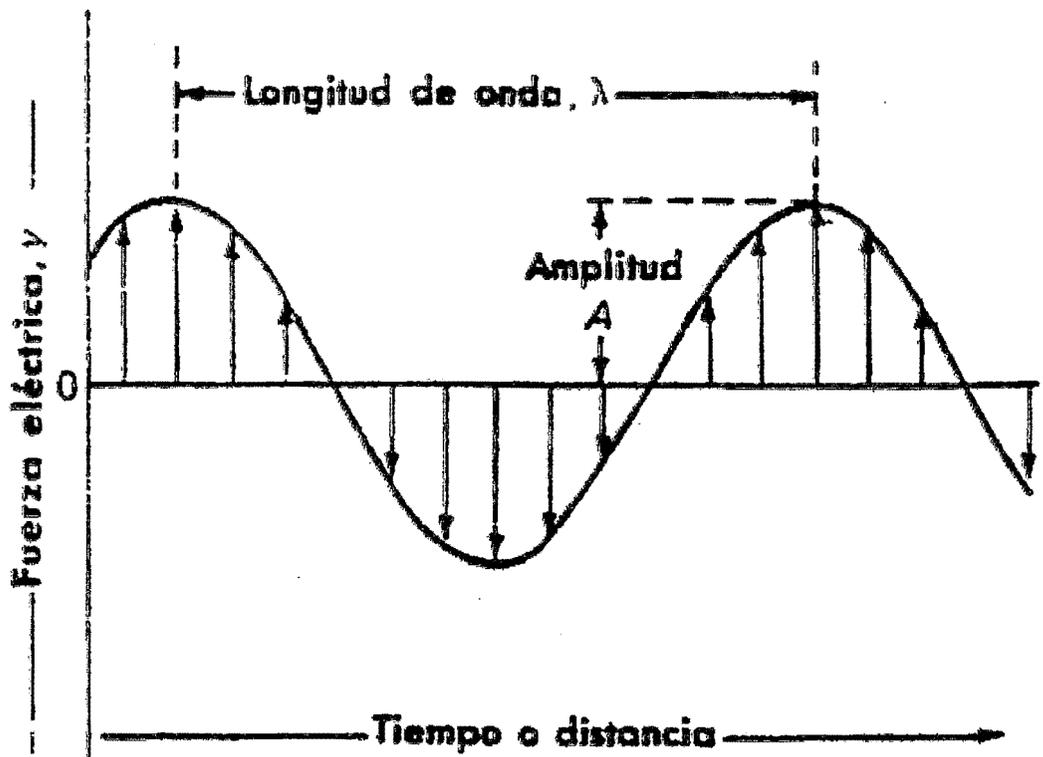
La radiación electromagnética es un tipo de energía que se transmite por el espacio a enormes velocidades. Muchas de las propiedades de la radiación electromagnética se explican convenientemente mediante la *teoría ondulatoria clásica* con parámetros como velocidad, frecuencia, longitud de onda y amplitud. En contraste con otros fenómenos ondulatorios, como el sonido, la radiación electromagnética no requiere un medio de transporte para su transmisión, por lo tanto se transmite fácilmente en el vacío.

La teoría ondulatoria para la radiación electromagnética no explica completamente los fenómenos asociados con la absorción o la emisión de energía radiante, para estos procesos es necesario considerar la energía

radiante como un flujo de partículas discretas de energía llamados *fotones* o *cuantos* (Figura N° 8).

FIGURA N° 8

HAZ DE RADIACIÓN ELECTROMAGNETICA



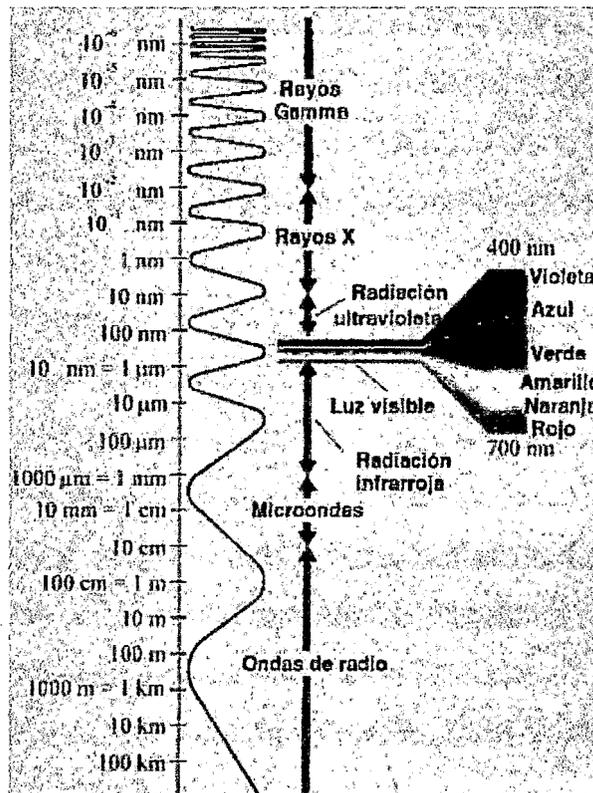
Fuente: Isbin, H. 1963 "Introductory Nuclear Reactor Theory"

Espectro Electromagnético

Kaplan, I. (1958), el espectro electromagnético es un "mapa" de los diferentes tipos de energía de radiación y sus correspondientes longitudes de onda, usualmente hay 6 subdivisiones (ondas de radio, infrarroja, visible, ultravioleta, rayos X y rayos gama) de el espectro electromagnético (Figura N° 9).

FIGURA N° 9

ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO



Fuente: Kaplan, N. 1958 "Nuclear Physics"

Unidades de Medida de la Radiación

La radiación al interactuar con la materia le cede su energía total o parcialmente. Para medir la cantidad de energía se han definido varias unidades.

En el Congreso Radiológico Internacional del año 1937, citado por (IPEN, 1988), se definió como unidad de dosis al Roentgen (r) que es la cantidad de radiación gamma o radiación X que, en condiciones estándar, origina una unidad electrostática de carga eléctrica, tanto si es de signo positivo como de signo negativo, en un centímetro cúbico de aire. Pero esta unidad presentaba una serie de inconvenientes para su empleo; por ello en 1954 la comisión internacional de Protección contra las radiaciones definió al "rad" como la unidad de dosis absorbida que equivale a la absorción de 100 ergios de energía radiante por gramo de material irradiado. Esta unidad es independiente de la naturaleza, energía de radiación y de la naturaleza del material. Posteriormente en 1975, en la XV Conferencia Internacional de pesas y Medidas, se introdujo una nueva unidad; el "Gray", que se define como la absorción de un Joule de energía radiante por kilogramo de materia irradiada (IPEN, 1988).

$$1 \text{ Gray} = 100 \text{ rad} = 1 \text{ Joule/Kg}$$

Usualmente se emplea el término K Gy, equivalente a 1000 Grays, 100.000 rads y 0.1 Mrad.

Existe otra medida que es el Electrón-voltio (ev), que se define como la energía adquirida por un electrón al moverse en una dirección con una diferencia de potencial de un voltio. Un Mve equivale a un millón de electrón-voltios.

La actividad de una fuente radiactiva se mide en Curie. Un Curie se define como la actividad de una cantidad de sustancia radiactiva en la que tiene lugar 3.7×10^{10} desintegraciones atómicas por segundo, es decir:

$$1 \text{ Curie (Ci)} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ desintegraciones/s}$$

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$$

1 Becquerel (Bq) es la unidad de actividad en el sistema Internacional (SI), se define como una desintegración por segundo.

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ des/s}$$

$$1 \text{ Bq} = 2,703 \cdot 10^{11} \text{ Ci}$$

Dosimetría de Irradiación

Sánchez, M. (1985), la dosimetría se define como la determinación de la energía absorbida por una materia o producto, el que está expuesto a la radiación ionizante por un tiempo determinado. Se ha visto que la radiación, a medida que pasa por la materia, deposita su energía y se atenúa. Esto significa que en la irradiación de alimentos, no podemos esperar que la

cantidad de energía absorbida sea igual en todas las posiciones, por lo tanto existirá una distribución de dosis en un determinado producto que variará desde un valor mínimo. La distribución de dosis no es de mucha importancia, pero sí lo son los valores mínimos y máximos, ya que en esta aplicación tan delicada para el consumo humano, se deberá garantizar que todo el producto tratado haya recibido una dosis mayor que la mínima recomendada y al mismo tiempo que todo el producto no haya recibido una sobredosis.

Dosimetría Fricke

El dosímetro Fricke es el sistema recomendado para la calibración de monitores de radiación y dosímetros de rutina. El método puede ser utilizado para la determinación de dosis en el rango de 0.04 a 4 KGy utilizando mediciones espectrofotométricas de la concentración de ión férrico a 305 nm de longitud de onda en el pico del espectro de absorción (IPEN, 1996).

La dosimetría sulfato ferroso está basada en el proceso químico de la oxidación de los iones ferroso en solución de iones férricos por efecto de la radiación ionizante. El cambio en la absorbancia de una solución irradiada de sulfato ferroso amónico es medido en un espectrofotómetro a una longitud de onda característica y a una temperatura controlada.

La dosis absorbida en la solución es proporcional al cambio en la absorbancia (densidad óptica), siendo esta proporcionalidad lineal. La dosis puede ser determinada multiplicando el cambio en la absorbancia por un

factor de conversión. A efectos de determinar la comestibilidad de los alimentos tratados con una dosis media global de 10 KGy o menos, puede suponerse que todos los efectos químicos producidos por las radiaciones en este intervalo determinado de dosis son proporcionales a dicha dosis (Codex Alimentario Para Alimentos Irradiados, 1991).

Mecanismo del proceso de Irradiación

Chadwick, K (1981), el mecanismo del proceso empieza cuando el producto o alimento se coloca en contenedores por lo general de acero inoxidable e ingresa a la cámara de irradiación o bunker, que está diseñado especialmente para servir como blindaje, de tal manera que la radiación gamma sólo se emite en su interior y no sale al exterior. En el interior se encuentra alojada la fuente radioactiva de cobalto 60, posteriormente circula alrededor de la cámara por un tiempo determinado en donde se somete a la acción de los rayos gamma que atraviesa el contenedor, el embalaje, el envase y el producto, hasta obtener la dosis de irradiación que logra el efecto deseado; finalmente, el alimento sale de la cámara de irradiación, se retira de los contenedores y está apto para su comercialización.

Equipo Gammacell 220

Es el equipo que opera en el laboratorio de Aplicaciones Múltiples de irradiación, y funciona como un piloto antes que sea aprobada la irradiación de un producto en la Planta de Santa Anita.

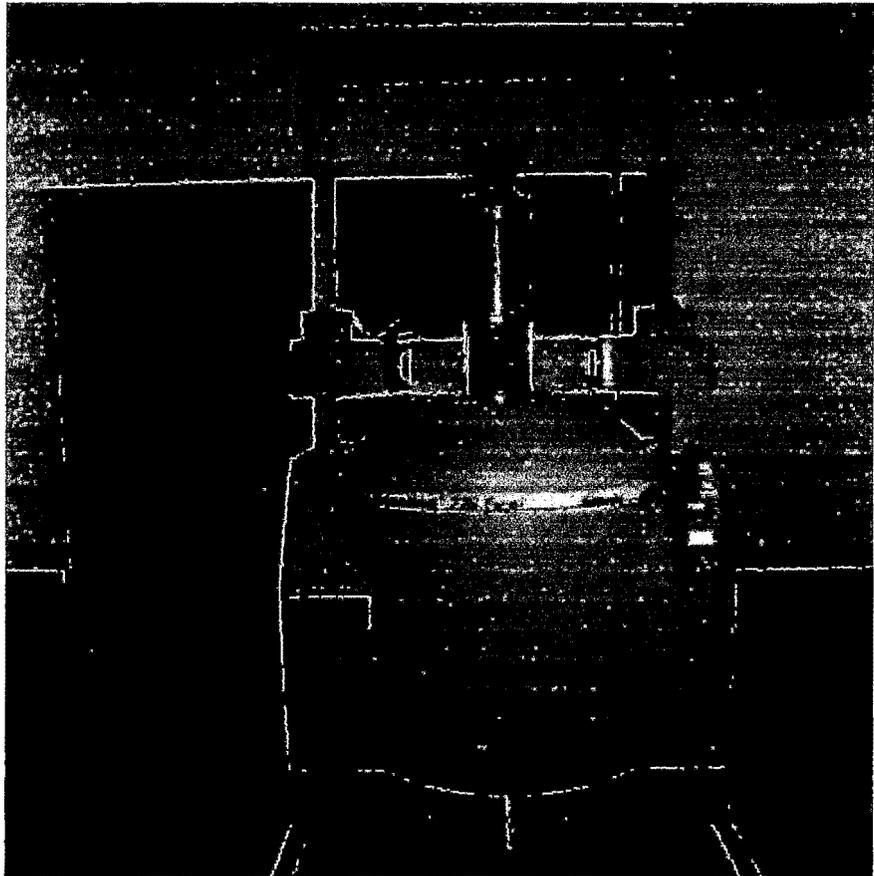
El Gammacell 220 es un dispositivo que contiene Cobalto-60, para efectuar irradiaciones, construido por Atomic Energy of Canada Limited, está diseñado para operar en una habitación sin blindaje especial. Básicamente la fuente consiste en una fuente radiactiva de forma anular, un blindaje de plomo alrededor de la fuente y un émbolo capaz de moverse libremente en forma vertical, a través del centro de la fuente.

La unidad permite irradiar muestras hasta de 6 pulg. (15.2 cm) de diámetro y 8 pulg. (20.3 cm) de alto. Se pueden introducir en la cámara de muestras, líquidos o gases, conexiones eléctricas y mecánicas a través de un tubo de acceso directo situado en la "tapa del émbolo".

El cronómetro digital eléctrico detiene automáticamente la irradiación de acuerdo al tiempo preestablecido o después de un intervalo máximo de 999,9 horas (Figura N° 10).

FIGURA N° 10

EQUIPO GAMMACELL 220



Fuente: Instituto Peruano de Energía Nuclear, 1996.

3.2.2 Aplicaciones de la Radiación Gamma en los Alimentos

Radurización

Proceso que se realiza empleando dosis bajas de irradiación. Su objetivo específico es reducir la población microbiana inicial hasta el punto que un periodo más largo es necesario para el deterioro final del alimento por acción de los microorganismos. La radurización no previene la descomposición final, únicamente sirve para retrasarla y este retraso constituye la extensión de la vida útil del producto.

Radicalización

Consiste en la aplicación de la dosis de irradiación ionizante suficiente para alargar la vida útil a los mismos mediante la reducción sustancial de microorganismos esporulados. La dosis requerida está comprendida dentro del rango 0,4 a 10 KGy.

Radapertización

Consiste en la destrucción total de los microorganismos presentes en un alimento, para tal fin se emplean dosis del orden de Mrads, que varían de acuerdo al alimento y al microorganismo a inactivar. Este tratamiento también llamado **esterilización por radiación**, emplea dosis que se estiman experimentalmente bajo los valores D de los microorganismos

patógenos como el *Clostridium botulinum*. Las dosis requeridas van desde 25 KGy a 45 KGy.

Las terminologías antes descritas fueron sugeridas por un grupo de expertos (Goresline et, al., 1964) y que pueden compararse con los niveles de dosis descritas en la Tabla N° 7 a cerca de los propósitos de la irradiación de alimentos.

TABLA N° 7

PROPÓSITOS DE LA IRRADIACIÓN DE ALIMENTOS

DOSIS BAJAS (Menores de 1 KGy)
<ul style="list-style-type: none">- Inhibe la germinación de patatas, cebollas, batata, etc. Y permite el almacenamiento alargo plazo sin el uso de productos químicos inhibidores.- Causa la muerte o esterilización sexual de insectos y así previene las pérdidas causadas por os mismos en el almacenamiento de grano de cereal, harina, frutos secos, nueces, legumbres, sin el uso de fumigantes químicos; también impide la propagación de pestes de insectos (esteriliza huevos y larvas de insectos) y así puede ser usada como un tratamiento de cuarentena en vez de fumigantes químicos.- Destruye parásitos en la comida, tales como la <i>Entamoeba histolytica</i> (protozoo que causa la disentería amebiana), <i>Toxoplasma gondii</i> (protozoo que causa la toxoplasmosis), <i>Trichinella spiralis</i> (parásito helmítico que causa la triquinosis), etc.- Retrasa el proceso de maduración en frutas.
DOSIS MEDIAS (1 - 10 KGy)
<ul style="list-style-type: none">- Reduce la población de bacteria (<i>salmonellas, lactobacillus, etc.</i>), mohos y levaduras presentes en la superficie o en el interior del alimento, mejorando así las posibilidades de almacenamiento y previniendo la formación de posibles tóxicos debido a la salmonella y otros organismos patógenos.
DOSIS ALTAS (10 - 45 KGy)
<ul style="list-style-type: none">- Destruye o reduce al máximo las poblaciones de organismos patógenos, por ejemplo; bacteria (Gram-negativas tales como: <i>Salmonella, Listeria, Estafilococos, lactobacillus</i>, incluyendo aquellos esporulados, como <i>Clostridium botulinum</i>) y virus.- Esteriliza alimentos envasados, pre-cocidos, congelados, etc.

Fuente: Calderón, T. 2000 "La Irradiación de Alimentos"

3.2.3 Características de la Tecnología de Irradiación

Las características más resaltantes de este proceso son las siguientes (OMS, 1988):

- El tratamiento que realiza es un proceso físico y como tal, es comparable al calentamiento o la congelación con fines de conservación.
- Como consecuencia de ser un proceso físico esta técnica no tiene efecto residual.
- Posee una alta penetrabilidad, el tratamiento puede efectuarse inclusive con el producto envasado.
- No incrementa la temperatura del producto durante el proceso.
- El proceso es totalmente inocuo, es decir los productos tratados no representan ningún riesgo toxicológico.

3.2.4 Efecto de las Radiaciones sobre la Composición Química de los Alimentos

Se ha comprobado que el empleo de dosis de radiación suficientemente elevadas con el fin de conseguir la esterilización de los alimentos produce, en muchos tipos de los mismos, "reacciones secundarias" indeseables, o modificaciones secundarias, las cuales originan colores, olores, sabores, palatabilidades, e incluso propiedades físicas indeseables (Frazier, W. 1993).

Según el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA, 1992), la naturaleza de los compuestos inducidos por la irradiación, depende

principalmente de la composición del alimento. La concentración de estos compuestos y su influencia en los nutrientes de los alimentos procesados se incrementan, generalmente, conforme aumenta la dosis, pero puede ser modificado cambiando los factores durante la irradiación, tales como la temperatura, presencia o ausencia de oxígeno y contenido de agua del alimento.

3.2.4.1 Efectos de la Radiación Sobre la Proteínas

La desnaturalización de proteínas puede ser llevada a cabo con radiaciones ionizantes. Las proteínas son desnaturalizadas principalmente como un resultado de la acción indirecta de la radiación. Ocurre una división de las moléculas de proteínas seguida de polimerización de las fracciones.

Las dosis de radiación lo suficientemente grandes para precipitar las proteínas desarrollan la siguiente secuencia de eventos: abertura de las cadenas peptídicas, polimerización, coagulación, precipitación. La movilidad electrofética de las proteínas es reducida a niveles de alta radiación. Compuestos de amoníaco que contienen azufre y bióxido de carbono son liberados de la proteína después de irradiación prolongada. Los efectos de la irradiación varían inversamente con la concentración de proteína.

El Efecto protector del Acido Ascórbico

El ácido ascórbico reduce los efectos de la irradiación sobre las soluciones de proteínas. Sin embargo, el efecto protector no es tal, que la alteración de las proteínas sea controlada.

Se requiere estudio adicional sobre el método de acción de los aceptadores de radicales libres para determinar la estructura molecular involucrada en la reacción protectora. Una vez que haya obtenido esta información podrán encontrarse sustancias con mayores propiedades protectoras.

Efectos de la Radiación Sobre las Enzimas

Las enzimas pueden ser inactivadas bien por efecto directo o por efecto indirecto de las radiaciones ionizantes. Ambos ocurren al mismo tiempo sin duda.

Las enzimas son más resistentes a los efectos de las radiaciones ionizantes en los substratos naturales que en soluciones puras. Esto es tomando como una medida de las sustancias protectoras naturales (aceptadores de radicales libres) presentes en los tejidos vivientes. Las velocidades de reacción enzimática han sido estudiadas considerando el efecto de la irradiación sobre la enzima, el substrato y su combinación, sobre la actividad resultante.

3.2.4.2 Efecto de la Radiación Sobre los Aminoácidos

La norma de actividad de las radiaciones ionizantes sobre las proteínas es seguida con los aminoácidos. Las soluciones acuosas diluidas de aminoácidos pueden ser sustancialmente alteradas, estudios demuestran que los aminoácidos aromáticos sufren el rompimiento de su estructura anular por la radiación y que el rendimiento en amoniaco está directamente relacionado a la dosis de radiación aplicada.

3.2.4.3 Efecto de la Radiación Sobre las Vitaminas

Las vitaminas son sensibles a las radiaciones ionizantes generalmente y en los alimentos, la destrucción de estos nutrientes es del mismo orden de magnitud que la destrucción de vitaminas en el proceso térmico de esterilización (Tabla N° 8).

TABLA Nº 8

**RETENCIÓN COMPARATIVA DE VITAMINA EN CONSERVACIÓN DE
ALIMENTOS POR ENLATADO Y RADIACIÓN**

Porcentaje de retención en el alimento (%)		
Vitamina	Enlatado	Estabilización por Radiación
Tiamina	35	35
Riboflavina	80	90
Piridoxina	70	75
Niacina	75	75
Acido Fólico	70	90
Vitamina A	80	75
Vitamina E	90	75
Vitamina K	90	20

Fuente: Uzcategui, E. 1985 "Preservación de los Alimentos por Irradiación"

3.2.4.4 Efecto de la Radiación Sobre los Carbohidratos

La radiación produce cambios moleculares en el almidón, la depolimerización y la degradación ocurren con la producción de fragmentos de maltotetraosa cuando es expuesto en solución acuosa a $1,5 \cdot 10^6$ rads. Más irradiación da unidades de hexosas finales, las cuales forman el almidón polímero; también la sacarosa es hidrolizada por las radiaciones ionizantes.

A este nivel de irradiación aproximadamente el 40% del almidón es degradado, indicado por la pérdida del comportamiento cromogénico en presencia de yodo y la prueba positiva de Fehling obtenida para el grupo de azúcares en reducción.

3.2.4.5 Efecto de la Radiación Sobre los Lípidos

Los lípidos han sido encontrados sensibles a la radiación, las radiaciones ionizantes causan la destrucción de los antioxidantes de ocurrencia natural. En seguida son formados los peróxidos, aparecen los compuestos carbonilos y ácidos.

La irradiación de la mantequilla encuentra primero la destrucción de los antioxidantes, resultando en una auto-oxidación temprana, obteniéndose en seguida altos valores de peróxidos.

La irradiación de ácidos grasos saturados puros en ausencia de oxígeno da como resultado la formación de hidrógeno, dióxido de carbono, monóxido de carbono, vapor de agua y gases de hidrocarburos volátiles.

3.2.4.6 Efecto de la Radiación Sobre los Pigmentos

La irradiación de los pigmentos puede esperarse que altere sus características colorantes. Las frutas y hortalizas altamente coloreadas sufren un blanqueo, el grado del cual depende de la dosis.

En las carnes rojas crudas, la irradiación de la mioglobina resulta en la formación de oximioglobina que da un color rojo brillante, este color se desarrolla en la carne de res aun en ausencia de oxígeno. En presencia de oxígeno es producida la metamioglobina dando un color café, en carne cocida el hemicromo es reducido por la irradiación a hemocromo el cual permanece como un color rojo brillante.

3.2.4.7 Efecto de la Radiación sobre los Microorganismos

La muerte de los microorganismos es una consecuencia de la acción ionizante debido a la radiación de alta energía, la mayoría de los estudios indican que una causa primordial de letalidad es la alteración sufrida por el ADN microbiano, lo que da lugar a una pérdida de la capacidad reproductora, aunque también puede tener lugar la alteración de otras moléculas sensibles e importantes como las de las membranas (ICMSF, 1983).

Un aspecto fundamental de los organismos vivos es su capacidad en mayor o menor grado de reparar el daño causado por la irradiación, la que está condicionada a varios factores, de los cuales el más importante es la dosis total absorbida, por lo que una dosis de irradiación suficientemente alta suprimirá todos los mecanismos de reparación al daño biológico.

Los cambios inducidos en la molécula de ADN son: la formación de radicales libres en diversas partes de la molécula de ADN, que trae como consecuencia cambios químicos tales como procesos de desaminación, descarboxilación, etc. El rompimiento de los enlaces azúcar-base nitrogenada, la oxidación de los azúcares constituyentes de la molécula de ADN y la liberación de la molécula de fosfato. Todas las reacciones conducen finalmente a cambios en la estructura molecular del ADN (Uzcategui, E.1985).

3.2.5 Aspecto Toxicológico

Cientos de experimentos con animales utilizando dietas con alimentos irradiados no han podido demostrar la presencia de alguna toxina. A lo largo de los pasados 30 años se han estado suministrando en forma rutinaria, dietas irradiadas libres de gérmenes patógenos para animales de laboratorio. Las dosis con que se tratan los alimentos van desde 20 a 50 KGy y en ocasiones mucho más elevadas que las dosis máximas propuestas para el consumo humano. En algunos casos los animales que consumen tales dietas

manifiestan menos proclividad a la anemia con respecto a otros. En pocos casos se observó diferencias en la hematología entre animales con dietas irradiadas y no irradiadas, sin embargo, efectos similares fueron encontrados entre las dietas autoclavadas y las tratadas con otros métodos.

Los efectos aparecidos tienen que ver con pérdidas de nutrientes especialmente vitamina K, pero en la mayoría no se vio efectos en las condiciones generales de crecimiento, longevidad, hematología, bioquímica sanguínea, patología orgánica o en lo referido al aspecto reproductivo. (Hawthorn, J. 1989).

3.3 Enfermedades Transmitidas por Alimentos (ETAS)

Con ese nombre se designa a todas aquellas enfermedades que se transmiten por intermedio de los alimentos contaminados o alterados. Este problema en nuestro país se va incrementando cada año, por las condiciones insalubres en que se producen, comercializan y consumen gran parte de estos alimentos (Figura N° 11).

Factores que Posibilitan la Aparición de ETAS

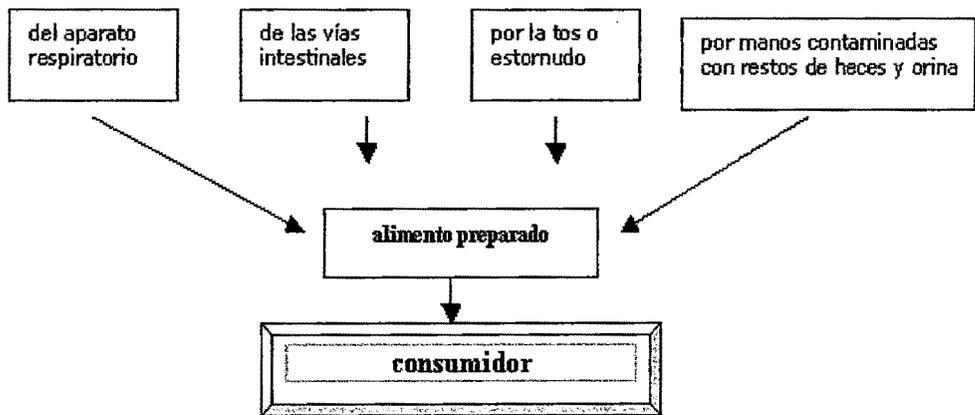
- Manipuladores que presentan alguna enfermedad (gripe, tuberculosis, hepatitis, etc.)
- Falta de higiene personal
- Utilización de alimentos no aptos

- **Uso de agua no potable**
- **Contactos de los alimentos con equipos sucios**
- **Manipulación inadecuada de los alimentos**
- **Contaminación cruzada**
- **Presencia de insectos o roedores**
- **Cocción o recalentamiento incorrectos**
- **Conservación a temperatura no apropiada**
- **Contacto de alimentos o preparaciones con productos químicos**
- **Perdida de la cadena de frío.**

FIGURA Nº 11

COMPORTAMIENTO DE LAS ETAS

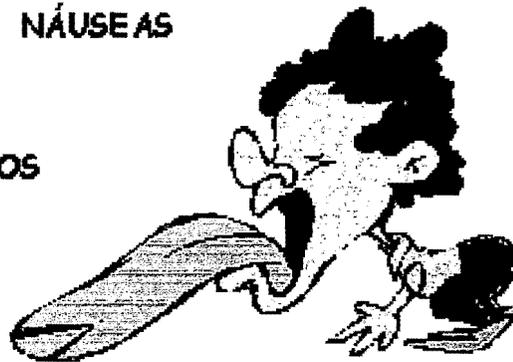
HOMBRE MANIPULADOR DE ALIMENTOS
ENFERMO O PORTADOR DE ENFERMEDAD



DOLOR de CABEZA

NÁUSEAS

VÓMITOS



DIARREA

DOLOR ABDOMINAL

Fuente: <http://www.microbiologia.com> 2007.

3.3.1 Enterobacterias

Las enterobacterias son microorganismos Gram positivos anaerobios facultativos con flagelos peritricos, quimioorganótrofos, oxidasa-negativos y catalasa-positivos, con un metabolismo oxidativo y fermentativo. Son productores de ácido y frecuentemente de gas, durante la fermentación de D-glucosa u otros glúcidos.

Viven normal y patológicamente como huéspedes del hombre y de los animales, se les halla en los alimentos en descomposición, excretas de origen humano y animal, en general viven saprofiticamente en las materias orgánicas en descomposición. Gran número de especies que integran esta familia son patógenas para el hombre y los animales, produciendo infecciones graves en forma individual, endémica y epidémica. Entre ellas tenemos: *Escherichia coli*, *Salmonella* y *Shigella*. Calderón, T (2000).

3.3.2 Estafilococos aureus

Es un mesófilo típico con temperaturas que van de 7 °C a 48 °C, y cuya óptima oscila entre 35 °C y 40 °C, está dotado de una termoresistencia considerable. Su pH óptimo se encuentra entre 6 y 7, con valores extremos de 4 y 10, aunque la producción de toxina se realiza entre unos valores más limitados. Su habitat principal es la piel, sus glándulas anejas y las mucosa de los animales de sangre caliente. Algunos estafilococos están relacionados con hospedadores concretos; así *Staphylococcus hyicus* se encuentra

preferentemente en cerdo y el *Staphylococcus gallinarum*, en gallinas. Calderón, T (2000).

3.3.3 Bacillus cereus

Se presenta en forma de células vegetativas de gran tamaño que constituyen cadenas; es anaerobio facultativo, con rangos de temperatura de crecimiento entre 5 °C y 55 °C. Los rangos de pH están comprendidos entre 4,5 y 9,3 y necesita una actividad de agua alta, igual o superior a 0,95. Calderón, T (2000).

3.3.4 Hongos

Marth, E. (1976), menciona que con el nombre genérico de hongos se designa aún grupo de protistas eucarióticos que se caracterizan por su falta de clorofila y por la presencia de una pared celular rígida que contiene quitina, glucomananos y a veces celulosa. Estos microorganismos constituyen el reino Fungi. Suele tener una morfología celular sencilla, aunque algunos han llegado a producir estructuras asombrosamente complejas y desarrolladas, especialmente, en sus cuerpos fructíferos: son las setas.

Pueden ser parásitos de animales, vegetales o de otros hongos, y llegan a construir asociaciones muy complejas que en determinados casos, llegan a ser obligadas. Algunas especies se han especializado en crecer sobre

sustratos con muy bajos valores de actividad de agua como los cereales, que no permitirían el crecimiento de otros microorganismos.

Los hongos se pueden presentar como células aisladas, en cuyo caso reciben el nombre de **levaduras** o como filamentos multinucleares que vienen a ser los hongos filamentosos o **mohos** (Marth, E.1976)

3.4 Metodología Empleada en la Ejecución del Trabajo de Investigación

3.4.1 Tipo de Investigación

La investigación que presentamos, es:

1. **APLICADA**, porque puede ser utilizada como base para la producción de harinas que requieran un mayor control en el aseguramiento de la inocuidad y porque a su vez servirá como fuente de información para posteriores trabajos de investigación en el área de Irradiación de Alimentos.
2. **EXPERIMENTAL**, porque el investigador manipula variables experimentales no comprobadas, bajo estricto control en la harina de maca.

3.4.2 Diseño de Investigación

Es un *Diseño Experimental* donde se utilizan grupos aleatorizados con pre prueba, pos prueba y grupo de control.

ESTRUCTURA DEL DISEÑO DE INVESTIGACION

RG1	O1	X1	O2
RG2	O3	X2	O4
RG3	O5	X3	O6
RG4	O7	X4	O8
RG5	O9	X5	O10
RG6	O11	X6	O12
RG7	O13	Y	O14

- RG1 – RG7: Son los grupos aleatorizados.
- O1 – O13: Son pre- pruebas sin irradiar en la harina de maca.
- X1 – X6: Son las dosis de irradiación y tiempos respectivos.
- O2 – O14: Son pos- pruebas con la harina de maca irradiada.
- Y: Es el grupo control

3.4.3 Características de la Población

Las principales características de la harina de maca son que:

- Proviene de raíces cosechadas durante los meses de enero a febrero, resistentes a heladas nocturnas de -10°C y de diferentes ecotipos (blanco, amarillo-crema, rojo, morado, gris y negro).
- Se obtuvo por deshidratación a 55°C por una hora.
- Su coloración como harina es homogénea.
- La granulometría fue de $0.05\ \mu\text{m}$.
- Ha sido fabricada bajo condiciones de producción aparentemente controladas, en lo que respecta a la aplicación de los procedimientos de Buenas Prácticas de Manufactura.
- Los análisis microbiológicos reportados inicialmente indican que la carga microbiana está dentro de los límites establecidos en el documento sobre "Criterios Microbiológicos de Calidad Sanitaria e Inocuidad Para los Alimentos y Bebidas de Consumo Humano" (RM 615-2003-SA/DM).

3.4.4 Delimitación de la Población

La población de harina de maca está delimitada por que su **CALIDAD ES APTA PARA EL CONSUMO HUMANO** de acuerdo a los análisis microbiológicos y contemplado dentro de los límites establecidos como referencia en la NTP. 011.181 (2008) Harina Tostada de Maca. Pero que el investigador con el afán de profundizar un estudio de aseguramiento en la inocuidad de la harina de maca, opta por el uso de la tecnología de irradiación para comprobar cuales son las diferencias al aplicar este método de conservación de los alimentos.

3.4.5 Ubicación Espacio – Temporal

Las raíces de maca de diferentes ecotipos fueron cosechadas durante el mes de febrero del 2008 en las localidades de Ninacaca y Carhuamayo en el departamento de Pasco, las mismas que fueron acopiadas y traídas para su transformación en harina de maca por una empresa ubicada en la ciudad de Lima.

3.5. Obtención y Cálculo del Tamaño de Muestra

La toma de la muestra fue aleatoria, el tamaño de la muestra de harina de maca se obtuvo de una empresa dedicada a la elaboración de derivados de esta raíz, la cantidad utilizada para la investigación fue la necesaria de

acuerdo al cálculo del tamaño de muestra y conforme los diferentes análisis realizados.

Se calculó de acuerdo a la **Tabla II-A: Planes de muestreo simple para inspección Restringido**, según está especificado en la Norma Técnica peruana (NTP-ISO 2859-1); tomando en cuenta la capacidad de producción diaria de harina de maca por turnos de 8 horas que fue de 2.5 toneladas. Mediante el cual teniendo ya el número de lote, el nivel de aceptación del fabricante y el nivel de inspección, se puede obtener el tamaño de muestra.

Lote : 2,5 toneladas

Nivel de Inspección : Restringido Simple

AQL : 0,25

Entonces, el tamaño de la muestra según la tabla fue de 20 Kg.

3.6 Descripción de la Experimentación

3.6.1: Descripción de los Términos y Operaciones Para la Obtención de Harina de Maca sin Irradiar

El flujo se puede apreciar en la Figura N° 12.

Maca:

Se utiliza la raíz entera secada al sol que proviene de los distritos de Ninacaca y Carhuamayo en el Departamento de Cerro de Pasco, la maca ingresa a planta con una humedad de 18% y cuyos hipocótilos (raíces) son de diferentes variedades.

Selección:

Proceso por el cual los hipocótilos se esparcen en mallas de acero inoxidable de 1 m² con rejillas de 1 cm. de lado, de manera que en la parte superior quedan aquellas cuyos diámetros son superiores a 1.5 cm. Además este proceso permite la eliminación de materias extrañas como: piedras, hojas, tallos, polvo, etc. (Figura N° 13).

Lavado:

Se realiza en pozas de 1,5m de largo, 0,8m de ancho y 0,6m de profundidad, con agua potable corriente y utilizando mallas para frotar las raíces y evitar que el polvo y la suciedad queden adheridas al hipocótilo. Se utilizan 100 Kg. de materia prima por cada lote de lavado (Figura N° 14).

Desinfección:

Cada lote de 100 Kg se lleva a dinos con capacidad de 250 litros, los hipocótilos se sumergen en agua clorinada a una concentración de 5 ppm (partes por millón).

Ecurrido:

En bandejas de plástico por un lapso de 30 minutos.

Triturado:

Se realiza en una maquina moledora.

Secado o Deshidratado:

Una vez triturado el producto ingresa a la máquina de secado controlando la temperatura y tiempo, que para este proceso es de 55 °C por 1 hora. La capacidad de la máquina es para 630 kg. Repitiéndose el proceso 4 veces hasta obtener una cantidad aproximada de 2500 kg necesarios para la etapa de molienda (Figura N° 15).

Enfriado:

Se realiza en cilindros hasta que llegue a temperaturas de 20-21 °C, para proceder con la molienda.

Molienda y obtención de Harina:

La maca triturada y deshidratada ingresa al molino para la obtención de harina de maca, este proceso se realiza en tamices de 0,2 mm de diámetro en un molino de martillo a proceso continuo (Figura N° 16).

Envasado:

La harina de maca obtenida se recoge en cilindros de capacidad para 100 kg, en cuyo interior se coloca previamente una bolsa de polietileno para finalmente ser selladas (Figura N° 17).

Almacenamiento:

Los cilindros son almacenados en cuartos con iluminación necesaria y controlando la humedad y con temperaturas de entre 18 y 20 °C (Figura N° 18).

FIGURA N° 12

**FLUJO DE PROCESAMIENTO PARA LA OBTENCIÓN DE LA HARINA DE
MACA SIN IRRADIAR**

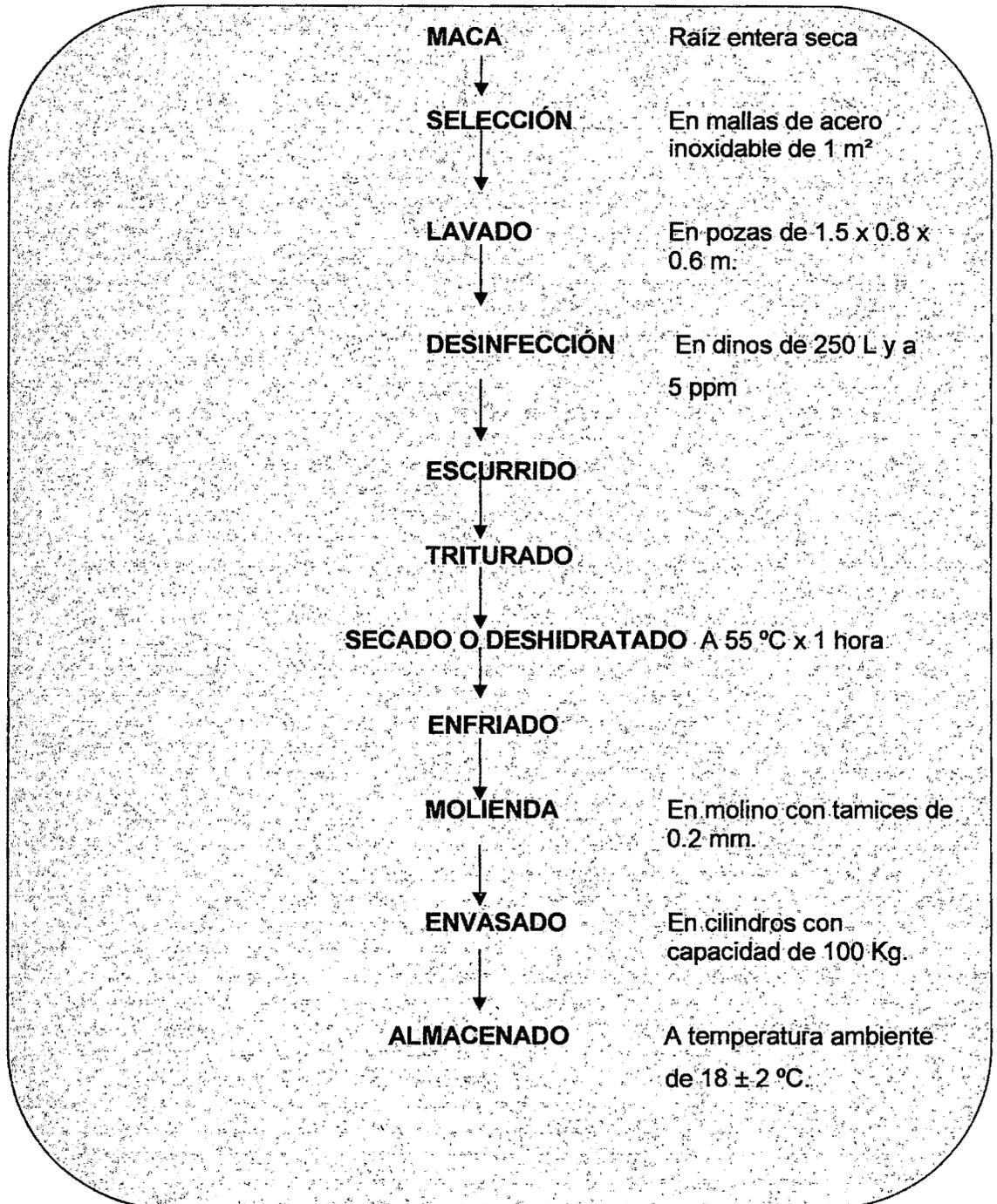


FIGURA N° 13

ETAPA DE SELECCIÓN DE LA MACA



FIGURA N° 14

ETAPA DE LAVADO DE LA MACA

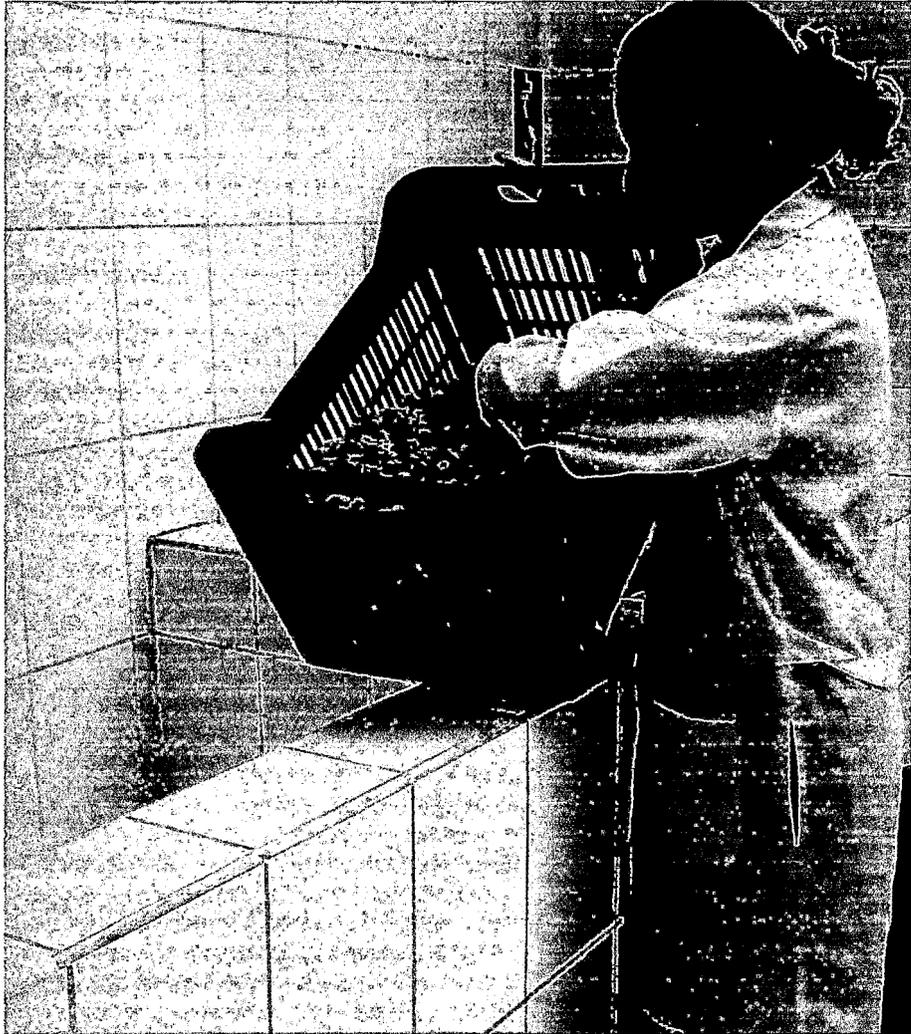


FIGURA N° 15

ETAPA DE SECADO DE LA MACA

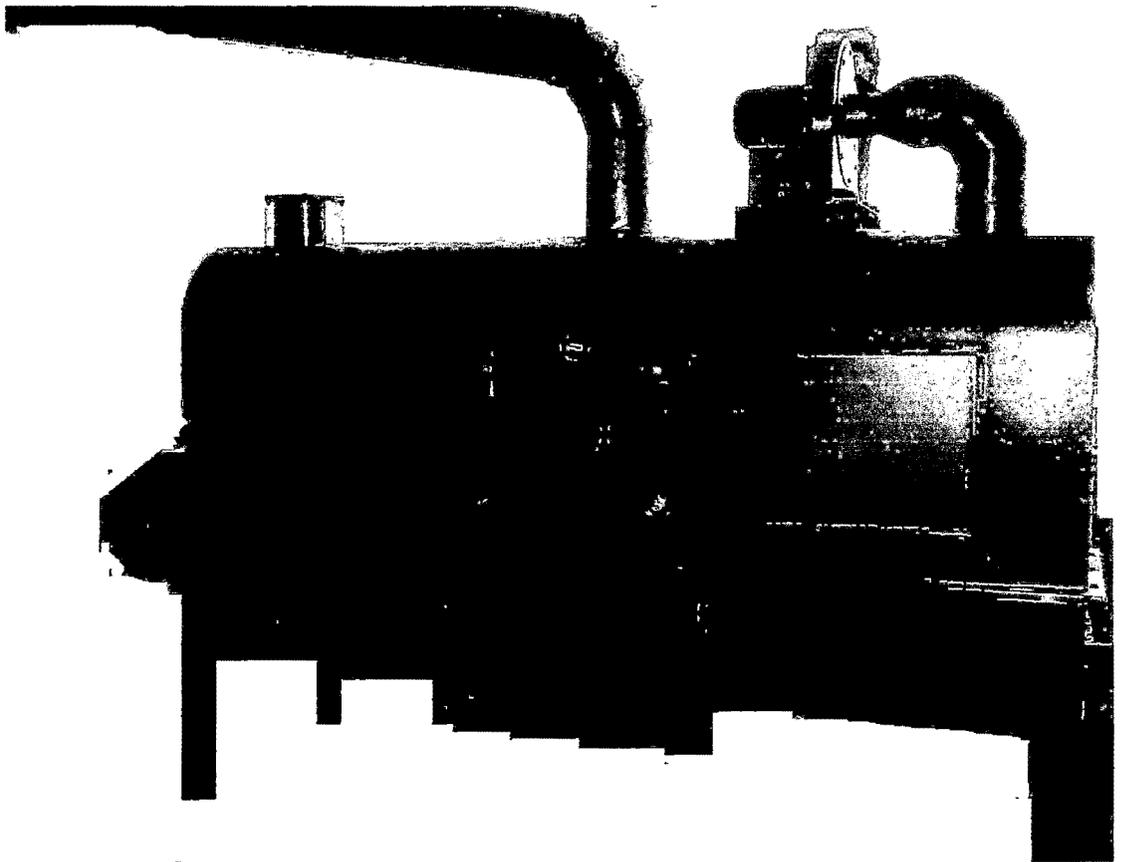


FIGURA N° 16

ETAPA DE MOLIENDA DE LA MACA

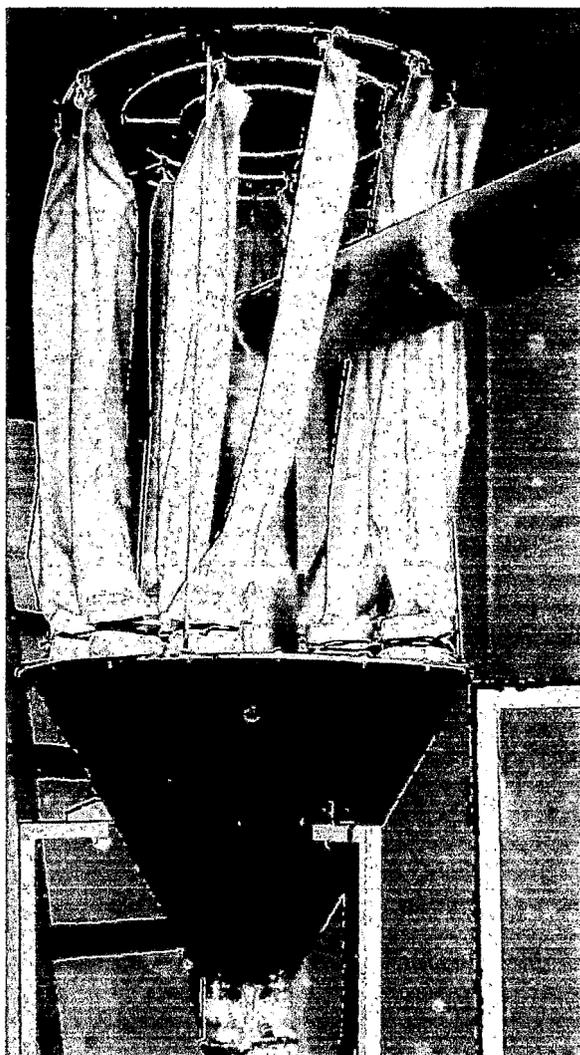


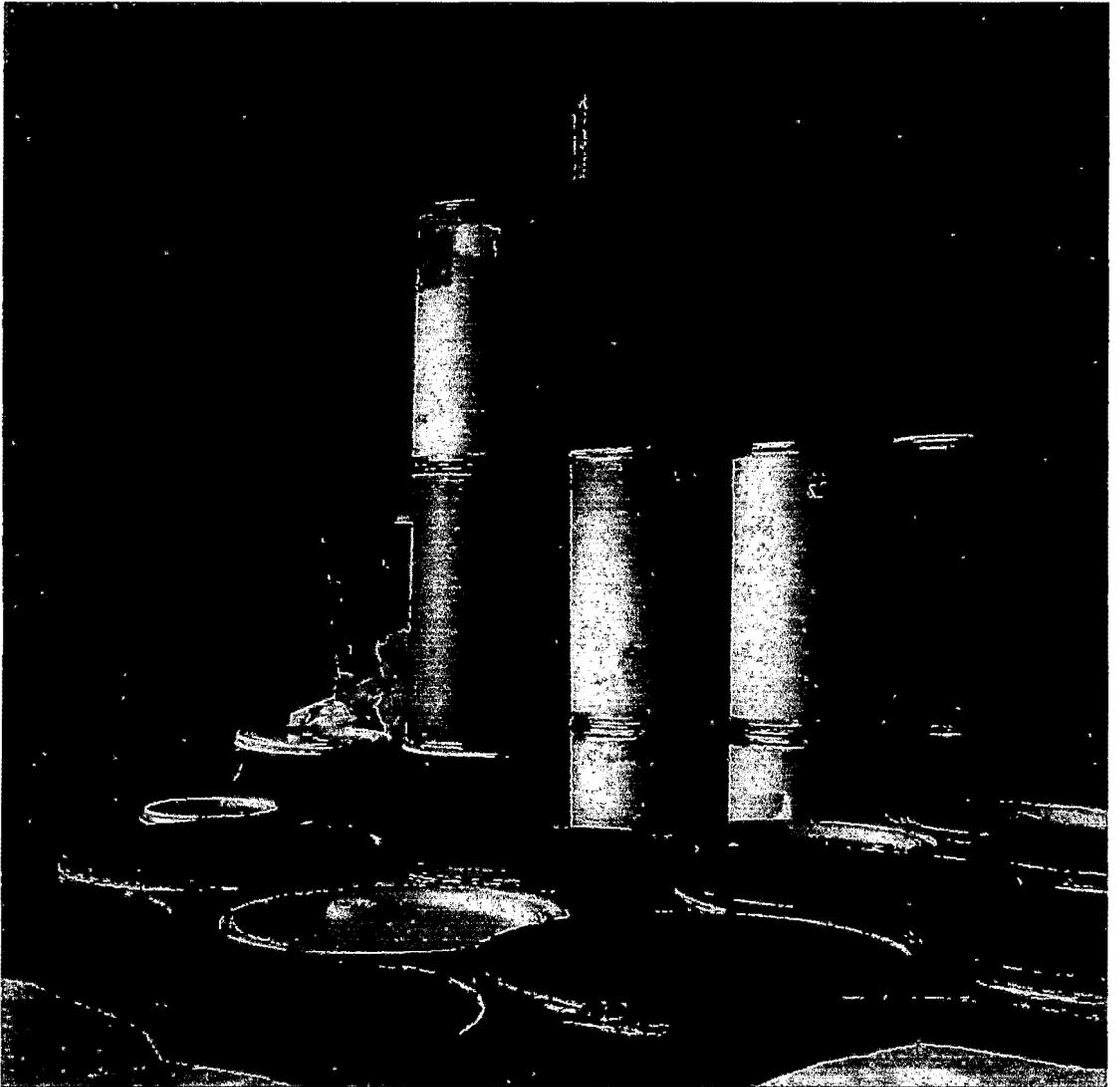
FIGURA N° 17

ETAPA DE ENVASADO DE LA HARINA DE MACA



FIGURA N° 18

ETAPA DE ALMACENAMIENTO DE LA HARINA DE MACA



3.6.2 Descripción de los Términos y Operaciones Para la Obtención de Harina de Maca con Radiación Gamma

El flujo se puede apreciar en la Figura N° 19.

Harina de Maca:

Es la harina que fue obtenida mediante el proceso de secado o deshidratación descrito anteriormente.

Pesado:

Se tomaron 20 Kg de muestra, con balanza de 5 Kg de capacidad.

Análisis Físico - Químicos:

Se realizó con 1 Kg. de la muestra por cada lote y se procedió a determinar parámetros iniciales.

Análisis Microbiológicos:

Se realizó en base a la Norma que establece los Criterios Microbiológicos de Calidad Sanitaria e Inocuidad Para los Alimentos y Bebidas de Consumo Humano (RM N° 615-2003 SA/DM). Que de acuerdo al art. 16 del Capítulo IV pertenece al grupo 5 sobre: Granos de Cereales, Leguminosas y Derivados. Así mismo se tomó en cuenta la NTP 011.181 para Harina Tostada de Maca. Se utilizó 1 Kg para la realización de los análisis.

Envasado:

Se realizó en bolsas de polietileno colocando en cada bolsa 100 g de muestra, luego fueron selladas y rotuladas especificando la dosis a las que fueron sometidas al proceso de irradiación.

Proceso de Irradiación:

Proceso por el cual las muestras fueron expuestas a una fuente emisora de rayos gamma (cobalto 60) para ser irradiadas a diferentes dosimetrías. en esta investigación se optó por trabajar con dosimetrías de 2, 4, 6, 8, 10 y 12 KGy con tiempos de 17,1; 34,2; 51,4; 68,5; 85,7 y 102.8 minutos respectivamente. Las muestras se colocaron en paquetes para así poder comparar la reducción de la población microbiana. Para las dosimetrías se utilizó el método ASTM E 1026 – 1995 "Practice for Using the Fricke referente Standard Dosimetry System" con el equipo Gammacell 220.

Análisis Físico-Químicos:

Se realizó para contrastar los resultados con los obtenidos antes del proceso de irradiación.

Análisis Microbiológicos:

Para comprobar si efectivamente se redujo o se eliminó la carga microbiana de la harina de maca que fue sometida al proceso de irradiación.

Análisis Sensorial:

Mediante una prueba de comparación para determinar diferencias entre la harina de maca sometida a diferentes dosis de irradiación respecto de la muestra patrón.

Análisis Estadístico:

En función a los reportes obtenidos durante todo el estudio.

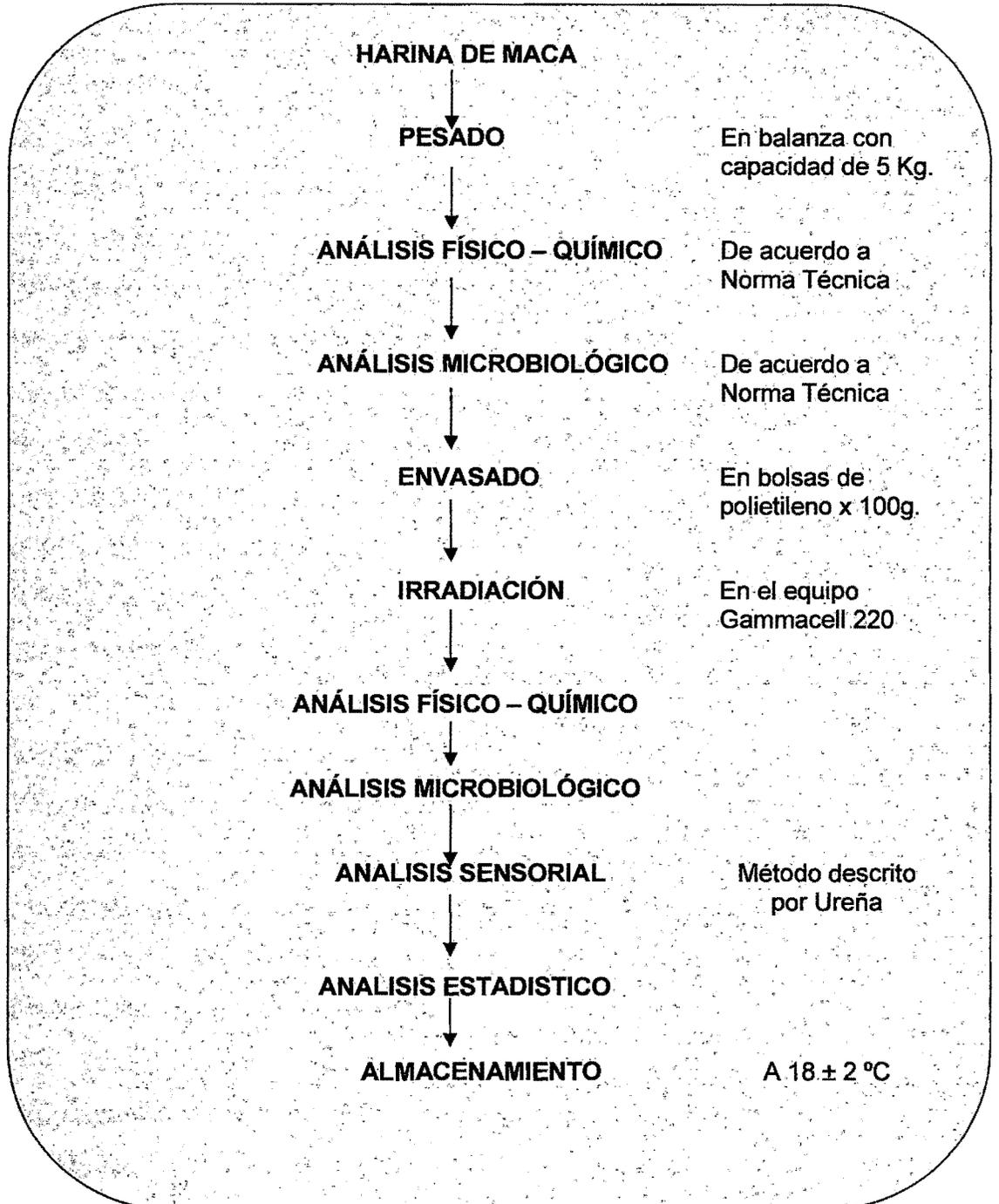
Almacenamiento:

La culminación del flujo de procesamiento, donde muestras irradiadas se almacenaron en áreas libres de humedad, mantenidas a temperatura ambiente de 18 ± 2 ° C.

FIGURA Nº 19

FLUJO DE PROCESAMIENTO DE HARINA DE MACA CON RADIACIÓN

GAMMA



3.6.3 Análisis Fisicoquímico de la Harina de Maca sin Irradiar

Se utilizó 1 Kg. de harina de maca, los análisis estuvieron en función a los requisitos establecidos por la NTP. 011.181 para Harina de Maca Tostada (ver Tabla N° 9). Se realizaron los siguientes análisis:

a) Determinación del pH y Acidez Titulable

El pH de la harina de maca se determinó por lectura directa en el pH-metro, equipo que previamente fue calibrado con soluciones buffer de pH 4.01 y 7.00. Mientras que la determinación de la acidez se realizó según el método establecido en la Norma Técnica Peruana referido a Harinas (NTP 205.039 - 1975), que consiste en titular con una solución de hidróxido de sodio 0.1 N hasta que aparezca el cambio de coloración a rosado por acción del indicador fenolftaleína el cual deberá persistir por espacio de 30 segundos, y luego la acidez se expresa en porcentaje, referido a ácido sulfúrico.

b) Análisis Proximal

- **Determinación de Humedad**

Método que se basa en la pérdida del peso que sufre la muestra de harina de maca por calentamiento hasta llegar a peso constante. Se trabajó de acuerdo a la metodología indicado en la NTP. 205.037 de 1975 para determinación de Humedad en harinas.

- **Determinación de Cenizas Totales**

La determinación de este método se fundamenta en que la muestra de harina de maca se calcina a 600 °C por un tiempo de 2 horas, bajo los procedimientos establecidos en la NTP 205.038 de 1975 referido a harinas.

- **Determinación de Proteína**

Este método se determinó por el contenido de nitrógeno tras eliminar la materia orgánica con ácido sulfúrico (Método de Kjeldahl), calculándose finalmente el contenido de proteína con ayuda del factor 6,25. Se trabajó con la metodología N° 960.52 propuesta por la AOAC (1995).

- **Determinación de Grasa Total**

Se realizó por extracción directa (Método de Soxhlet), con metodología AOAC 920.85 (1990).

- **Determinación Fibra Bruta**

Análisis realizado para determinar el contenido de fibra presente en la Harina de maca, según la metodología de la AOAC 962.09 (1990), mediante hidrólisis ácida-alcalina.

- **Determinación de Carbohidratos**

Se determinó por diferencia, restando de 100 los porcentajes de humedad, proteína, grasa, fibra y cenizas, de acuerdo a Collazos, C (1993).

TABLA N° 9

REQUISITOS FÍSICO-QUÍMICOS PARA LA HARINA DE MACA TOSTADA

Requisitos	Min. %	Max. %
Humedad	-	15
Proteína (base seca)	10	-
Fibra cruda (base seca)	-	9
Cenizas (base seca)	3	6
Grasa (base seca)	0.2	2
Carbohidratos (por diferencia base seca)	-	-

Fuente: INDECOPI, 2008 NTP 011.181

3.6.4 Descripción de los Análisis Microbiológicos de la Harina de Maca sin Irradiar

Se utilizó 1 Kg de harina de maca para la realización de los análisis y se trabajo en función de la NTP 011.181.2008 (Tabla N° 10).

TABLA N° 10

REQUISITOS MICROBIOLÓGICOS DE LA HARINA DE MACA TOSTADA

Agentes Microbianos	Categoría	Clase	N	C	Límite (ufc/g)	
					M	M
Aerobios mesófilos	3	3	5	1	10 ⁴	10 ⁵
Coliformes	6	3	5	1	10	10 ²
B. cereus	9	3	10	1	10 ²	10 ⁴
Mohos	5	3	5	2	10 ²	10 ⁴
Levaduras	2	3	5	2	10 ²	10 ⁴

Fuente: INDECOPI, 2008. NTP 011.081.

a) Recuento de Microorganismos Aerobios Mesófilos Viables

De acuerdo al método de recuento en placa especificado por la FAO (1981). Se utilizó como medio de cultivo el Agar Plate Count. La temperatura y el tiempo de incubación fue de 37 °C por 24 horas respectivamente (Figura N° 20).

b) Determinación de Escherichia coli

Se realizó de acuerdo al método de recuento en placa según lo especificado por el Bacteriological Analytical Manual USFDA (1995), ver Figura N° 21.

c) Determinación de Salmonella

Según el método establecido por el Bacteriological Analytical Manual USFDA (1995), ver Figura N° 22.

d) Numeración de Hongos (mohos y levaduras)

Se realizó según el método de recuento estándar en placa, propuesto por el Bacteriological Analytical Manual USFDA (1995). Se utilizó como medio de cultivo el Agar OGY por diseminación y sometido a temperatura de 25 °C por 5 días (Figura N° 23).

e) Numeración de *Bacillus cereus*

Se realizó según el método de recuento en placa establecido por la ICMSF (1983), utilizando como medio de cultivo el Agar YMP con la técnica de diseminación y sometido a temperatura de 35 °C por 24 horas (Figura N° 24).

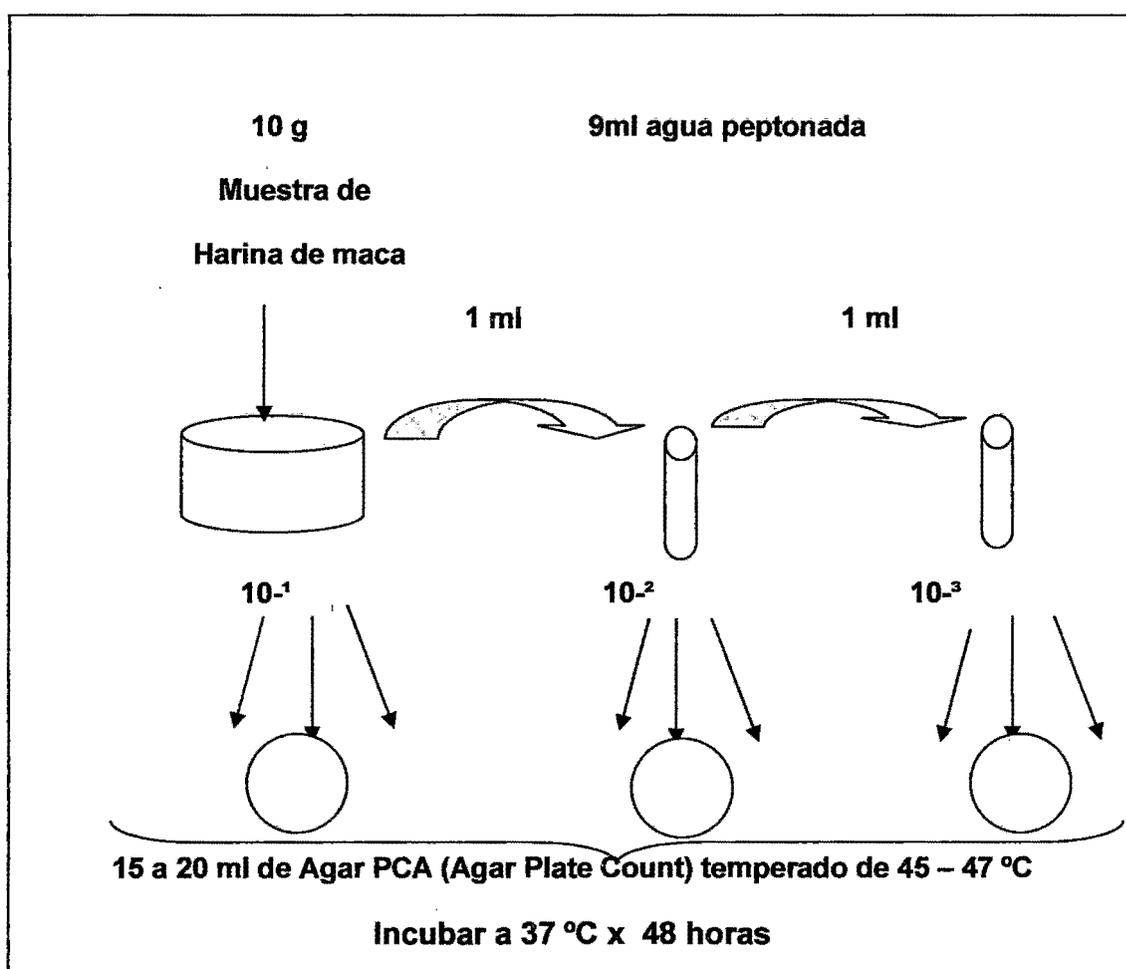
FIGURA N° 20**METODOLOGÍA PARA DETERMINACIÓN DE AMV**

FIGURA N° 21

METODOLOGÍA PARA DETERMINACIÓN DE ESCHERICHIA COLI

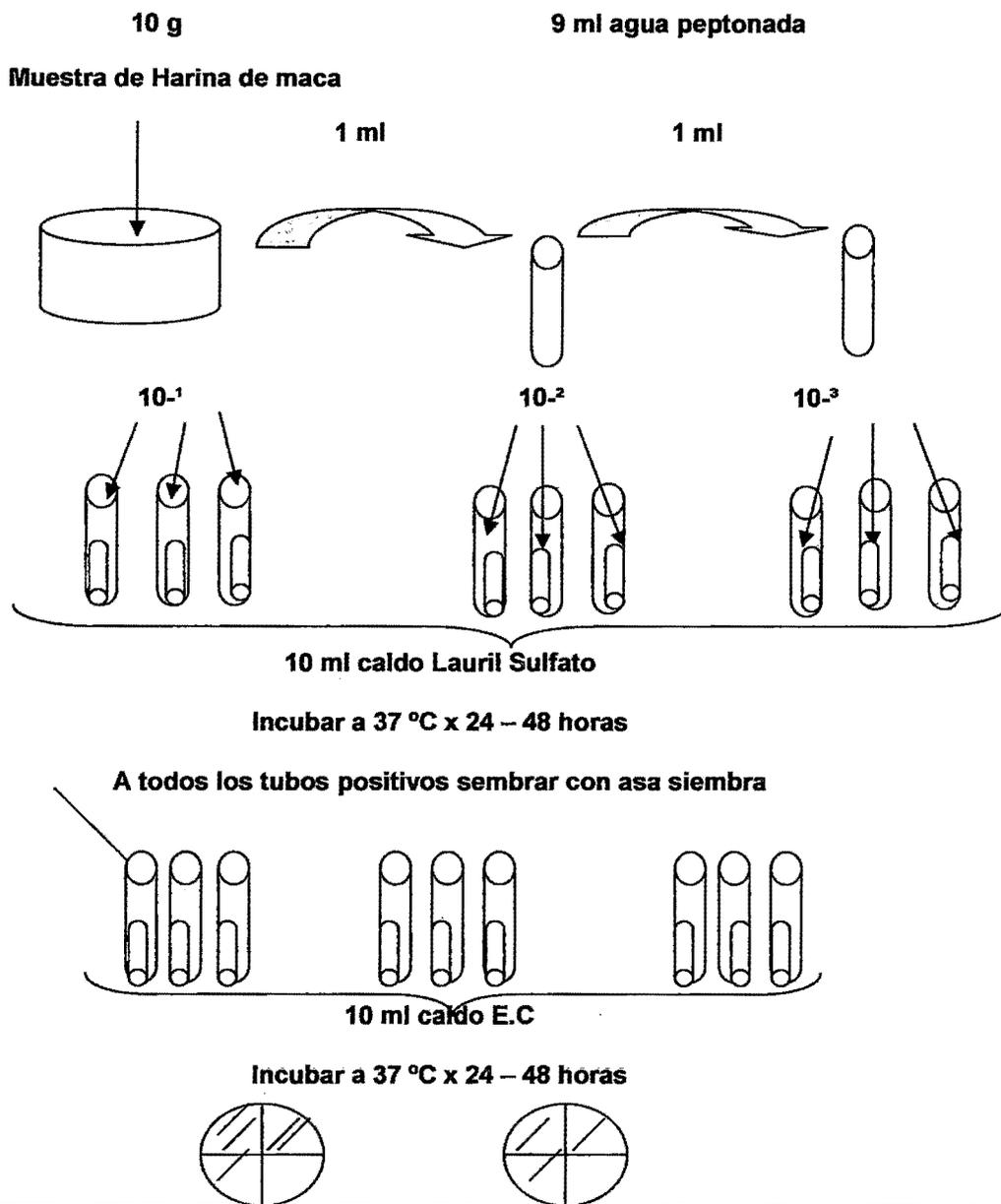


FIGURA N° 22

METODOLOGÍA PARA DETERMINACIÓN DE SALMONELLA

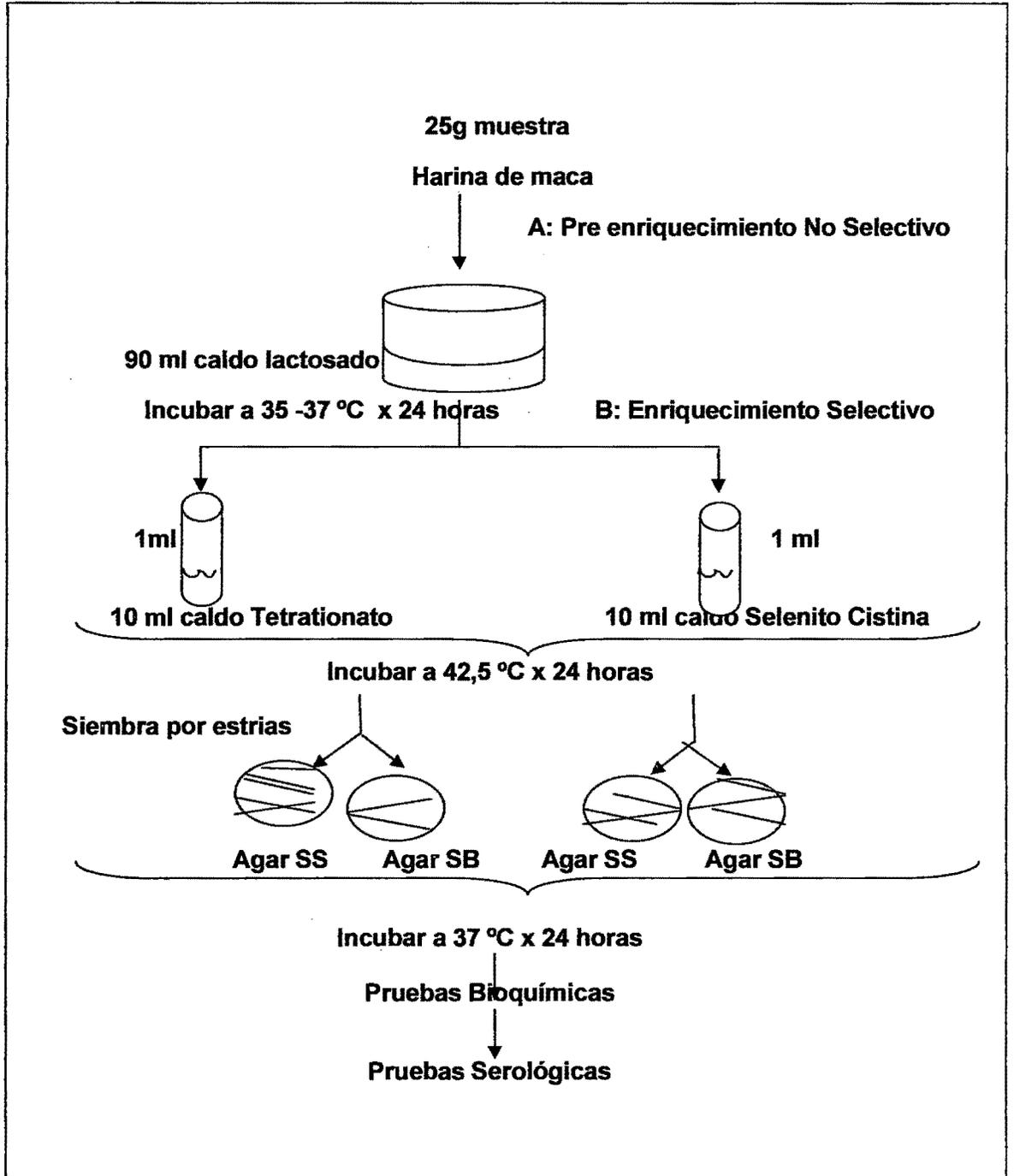


FIGURA N° 23

METODOLOGÍA PARA DETERMINACIÓN DE HONGOS

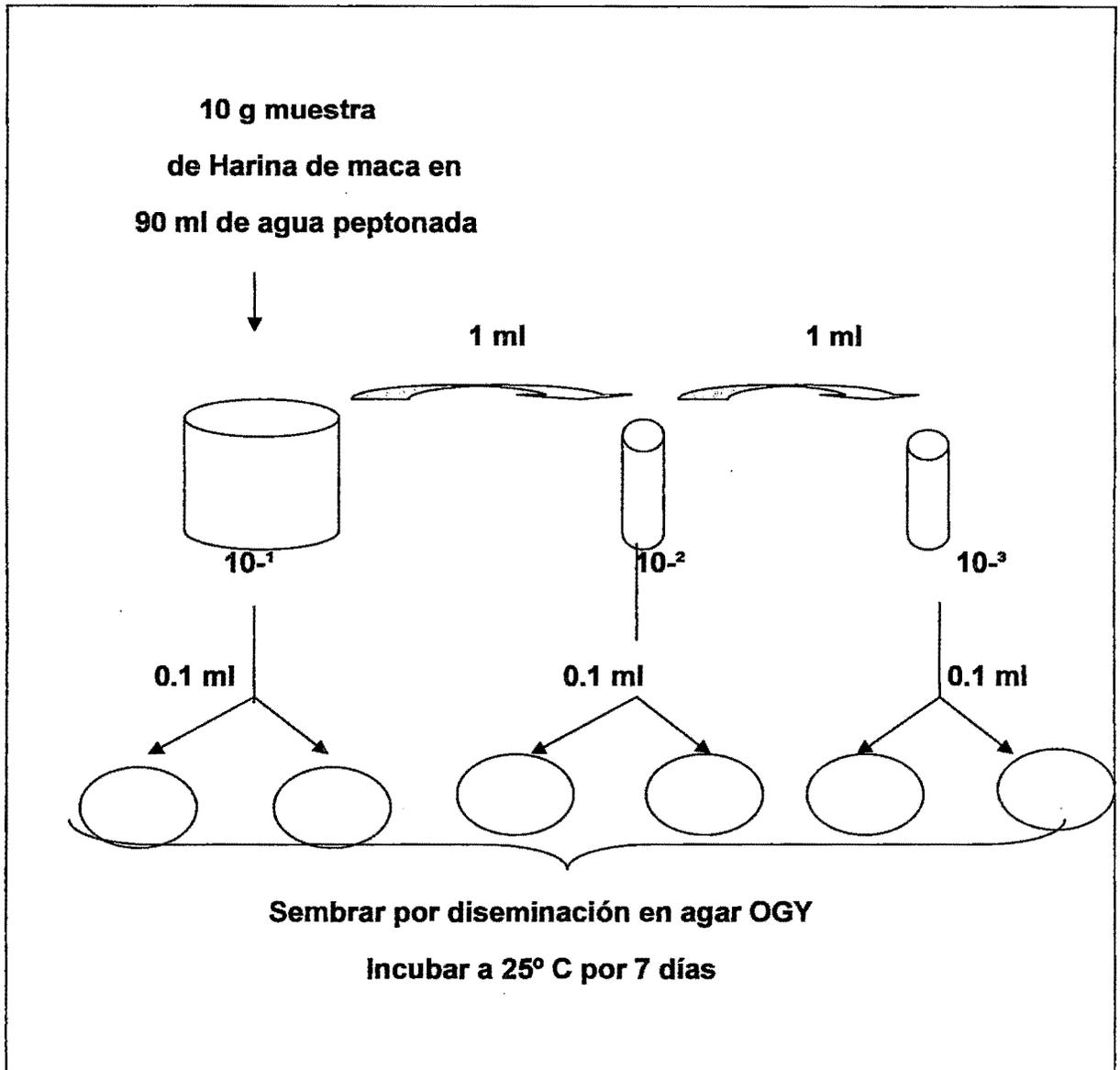
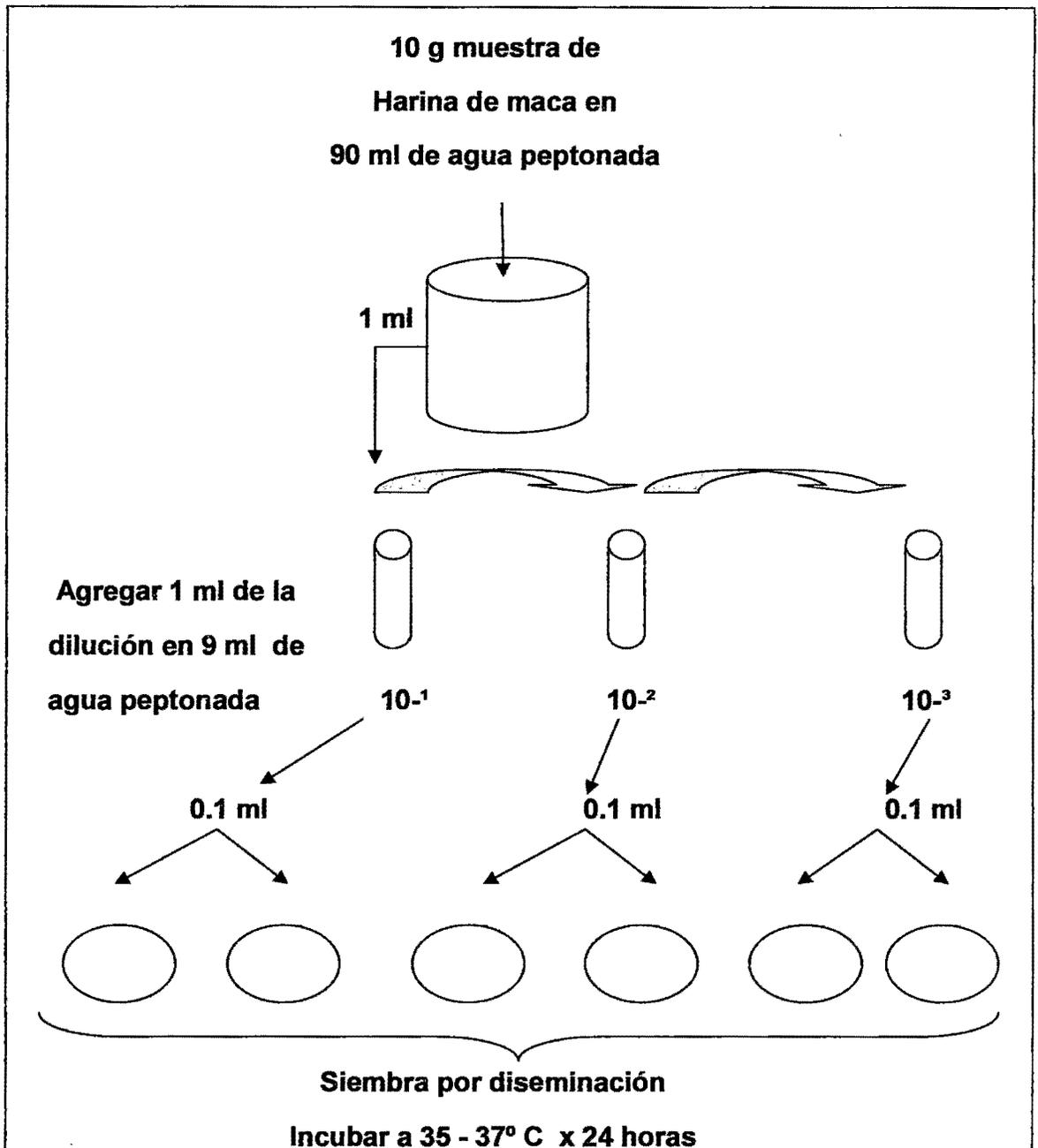


FIGURA N° 24

METODOLOGÍA PARA DETERMINACIÓN DE BACILLUS CEREUS



3.6.5 Descripción de los Análisis en el Proceso de Irradiación

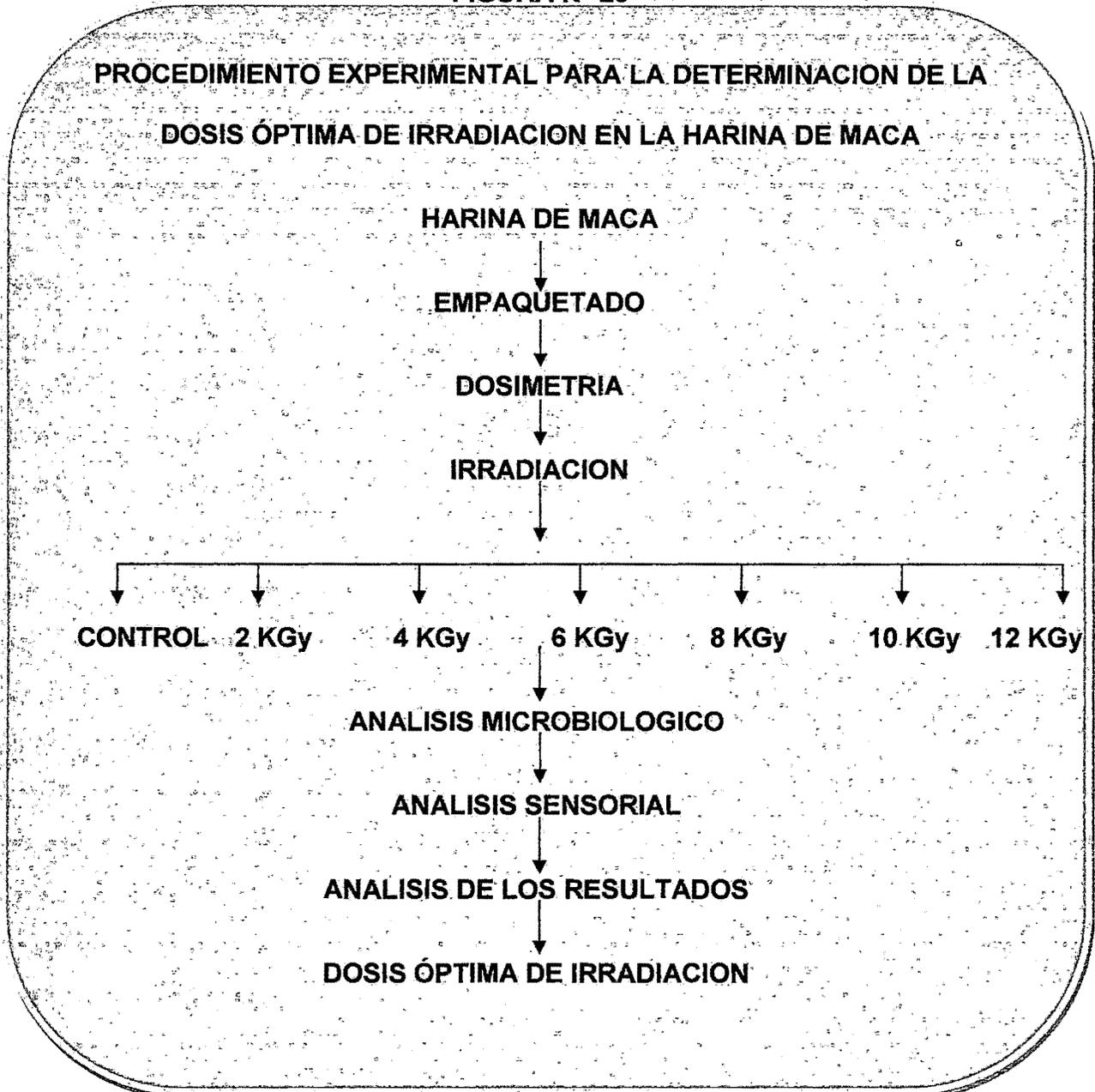
Para la determinación de este análisis primero se tuvo que encontrar la tasa de dosis, dato fundamental para la determinación del tiempo de exposición de la harina de maca a ser irradiada. Es preciso mencionar que el equipo Gammacell 220 fue adquirido en Setiembre del 2003, reportando una actividad inicial de 20×10^3 Curie, una tasa de dosis de 19 KGy/H (en aire) y una vida media de Co-60 de 5.27 años. Para encontrar la tasa de dosis para el experimento se aplicó la fórmula del decaimiento (Ver Anexo 1). La harina de maca a ser irradiada previamente fue envasada en bolsas de polietileno conteniendo cada una 100 g y rotuladas a diferentes dosis.

Determinación de la Dosis Óptima de Irradiación

El procedimiento seguido para la determinación de la dosis óptima de irradiación está resumido en la Figura N° 25, para la cual se utilizaron 16 Kg. en la realización de los análisis en el cual las muestra de harina de maca se colocaron en el equipo Gammacell 220 para ser sometidas a radiación gamma con la fuente de cobalto 60, se realizaron análisis dosimétricos y cálculos de los tiempos de exposición (ver Anexo 1) para administrar las diferentes dosis a ser estudiadas. Para la dosimetría se utilizó el método ASTM E 1026-1995 "Practice for Using the Fricke Referente Standard Dosimetry System", el tiempo se determinó mediante cálculos matemáticos a

partir de la obtención de la tasa de dosis hallada mediante la fórmula de decaimiento.

FIGURA N° 25



3.6.6 Descripción de los Análisis Fisicoquímicos de la Harina de Maca Irradiada

Se utilizó 1 Kg de harina de maca irradiada para la realización de los siguientes análisis:

a) Determinación del pH y Acidez Titulable

El pH de la harina de maca se determinó por lectura directa en el pH-metro, equipo que previamente fue calibrado con soluciones buffer de pH 4.01 y 7.00. Mientras que la determinación de la acidez se realizó según el método establecido en la Norma Técnica Peruana referido a Harinas (NTP 205.039 - 1975), que consiste en titular con una solución de hidróxido de sodio 0.1 N hasta que aparezca el cambio de coloración a rosado por acción del indicador fenolftaleína el cual deberá persistir por espacio de 30 segundos, y luego la acidez se expresa en porcentaje, referido a ácido sulfúrico.

b) Análisis Proximal

- **Determinación de Humedad**

Método que se basa en la pérdida del peso que sufre la muestra de harina de maca por calentamiento hasta llegar a peso constante. Se trabajó de acuerdo a la metodología indicado en la Norma Técnica Peruana 205.037 de 1975 para determinación de Humedad en harinas.

- **Determinación de Cenizas Totales**

La determinación de este método se fundamenta en que la muestra de harina de maca se calcina a 600 °C por un tiempo de 2 horas, bajo los procedimientos establecidos en la Norma Técnica Peruana 205.038 de 1975 referido a harinas.

- **Determinación de Proteína**

Este método se determinó por el contenido de nitrógeno tras eliminar la materia orgánica con ácido sulfúrico (Método de Kjeldahl), calculándose finalmente el contenido de proteína con ayuda del factor 6.25. Se trabajó con la metodología AOAC (1990).

- **Determinación de Grasa Total**

Se realizó por extracción directa (Método de Soxhlet), con metodología AOAC (1990) 920.85.

- **Determinación Fibra Bruta**

Análisis realizado para determinar el contenido de fibra presente en la Harina de maca, según la metodología de la AOAC (1990) 962.09, mediante hidrólisis ácida-alcalina.

- **Determinación de Carbohidratos**

Según Collazos, C (1993); se determinó por diferencia, restando de 100 los porcentajes de humedad, proteína, grasa, fibra y cenizas.

3.6.7 Descripción de los Análisis Microbiológicos de la harina de Maca Irradiada

Se utilizó 1 Kg de harina de maca irradiada para la realización de los siguientes análisis:

a) Recuento de Microorganismos Aerobios Mesófilos Viables

De acuerdo al método de recuento en placa especificado por la FAO (1981). Se utilizó como medio de cultivo el Agar Plate Count. La temperatura y el tiempo de incubación fue de 37 °C por 24 horas respectivamente.

b) Determinación de Escherichia coli

Se realizó de acuerdo al método de recuento en placa según lo especificado por el Bacteriological Analytical Manual USFDA (1995).

c) Determinación de Salmonella

Según el método establecido por el Bacteriological Analytical Manual USFDA (1995).

d) Numeración de Mohos y Levaduras

Se realizó según el método de recuento estándar en placa, propuesto por el Bacteriological Analytical Manual USFDA (1995). Se utilizó como medio de

cultivo el Agar OGY por diseminación y sometido a temperatura de 25 °C por 5 días.

e) Numeración de *Bacillus cereus*

Se realizó según el método de recuento en placa establecido por la ICMSF (1983), utilizando como medio de cultivo el Agar YMP con la técnica de diseminación y sometido a temperatura de 35 °C por 24 horas.

3.6.8 Descripción del Análisis Sensorial de la Harina de Maca Irradiada

La evaluación del análisis sensorial de la harina de maca irradiada se realizó mediante una prueba de comparación (Wittig de Penna. 2001) que permite encontrar diferencias entre dos o más muestras, cuando estas son presentadas a los panelistas, quienes dan sus respuestas o calificaciones a través de términos descriptivos. Con el objeto de obtener una medición cuantitativa se puntuaron los resultados sobre una escala hedónica de 1 a 5 puntos, donde:

Excelente	-	5 puntos
Bueno	-	4 puntos
Satisfactorio	-	3 puntos
Regular	-	2 puntos
Malo	-	1 punto.

Para el desarrollo de esta prueba intervinieron 5 panelistas no necesariamente entrenados.

3.6.9 Descripción del Análisis Estadístico de la Harina de Maca Irradiada

Para determinar si hay diferencia significativa entre las muestras de harina de maca irradiadas a 2, 4, 6, 8, 10 y 12 KGy respecto del patrón se realizó un análisis de varianza para cada uno de los componentes microbianos a un nivel de significancia del 95%.

3.6.10 Descripción del Análisis del Tiempo de Almacenamiento

El análisis del tiempo de almacenamiento se efectuó en función de la dosis óptima de irradiación obtenida y al comportamiento de los microorganismos resistentes a dicha dosis.

3.7 Técnicas de Recolección de Datos

La recolección de datos se realizó mediante el modelo del diseño experimental que nos proporcionan las variables de la investigación ya que con los datos numéricos obtenidos luego de someterlos a los diferentes análisis, podremos obtener respuestas que serán procesadas en registros para su análisis posterior.

3.8 Instrumentos de Recolección y Procesamiento de Datos

Para procesar la información nos serviremos de computadoras, técnicas estadísticas para el análisis de los datos, tablas de comparación, calculadoras, entre otras herramientas que permitan obtener resultados confiables.

3.9 Variables e Hipótesis

3.9.1 Variables

Independientes:

- Dosis de irradiación con rayos gamma.
- Tiempo de irradiación con rayos gamma.

Dependientes:

- Inocuidad de la harina de maca.

Indicadores:

- *Unidades formadoras de colonia por gramo de microorganismos patógenos y deteriorativos según:*

- Los Criterios Microbiológicos de Calidad Sanitaria e Inocuidad Para los Alimentos y Bebidas de Consumo Humano” (RM N° 615-2003 SA/DM).
- Norma Técnica Peruana N°011.181 – 2008 sobre Harina Tostada de Maca.

En la Tabla N° 11, se muestra el esquema de las variables e hipótesis.

TABLA N° 11

ESQUEMA DE VARIABLES E HIPÓTESIS

TIPO	VARIABLE	INDICADORES		
VARIABLES INDEPENDIENTE	Dosis de Irradiación con Rayos Gamma	2 KGy		
		4 KGy		
		6 KGy		
		8 KGy		
		10 KGy		
		12 KGy		
	Tiempo de Irradiación con Rayos Gamma	17.1 min.		
		34.2 min.		
		51.4 min.		
		68.5 min.		
		85.7 min.		
102.8 min.				
VARIABLE DEPENDIENTE	Unidades Formadoras de Colonia por Gramo (Ufc/g): Rangos de Indicadores Permitidos de Acuerdo a NTP 011.181	Indicadores	Min.	Máx.
		AMV	10 ⁴	10 ⁵
		E.coli	10 ²	10 ²
		Salmonella	0	-
		B.cereus	10 ²	10 ⁴
		Mohos	10 ²	10 ⁴
		Levaduras	10 ²	10 ⁴

3.9.2 Hipótesis

Hipótesis general

Con que dosis de irradiación y tiempo de exposición se logrará la inocuidad de la harina de maca?

3.9.3 Definición de variables

- **Dosis de Irradiación:** Es la cantidad de energía absorbida por el alimento en un tiempo determinado mientras dura el tratamiento a la exposición de una fuente radiactiva. La unidad más utilizada para cuantificar la dosimetría es el **Gray** o sus múltiplos.
- **Tiempo de Irradiación:** Es el tiempo al que se somete el alimento a la fuente radiactiva.
- **Unidades Formadoras de Colonia por Gramo (Ufc/g):** Es la cantidad de carga microbiana presente en un alimento al realizar los análisis microbiológicos.

Definiciones Operativas

- **Dosis de Irradiación:** Proceso que se realizó utilizando el método ASTM E 1026 – 1995 “Practice for Using the Fricke Referente Standard Dosimetry System” donde las muestras de harina de maca fueron irradiadas en el equipo Gammacell 220.

- **Tiempo de Irradiación:** Es el tiempo que duró la exposición de la harina de maca a la fuente radiactiva de cobalto 60 a dosis de 2, 4, 6, 8, 10 y 12 KGy.
- **Unidades Formadoras de Colonia por Gramo (Ufc/g):** Es la cantidad de carga microbiana que se cuantificó después de realizados los análisis microbiológicos en las muestras de harina de maca sometidas a diferentes dosis de irradiación.

3.10. Pruebas de Hipótesis

Formulación de Hipótesis

Para poder contrastar la hipótesis planteada en el trabajo de investigación, al producto harina de maca se le ha sometido a las pruebas de irradiación y a los análisis microbiológicos pre y post irradiación para determinar la dosis necesaria que permita obtener un producto inocuo; Asimismo se ha desarrollado el análisis estadístico de la pruebas de irradiación y de los análisis microbiológicos realizados al producto. Las mismas que se dan a conocer a continuación:

Contrastación de la Hipótesis

Habiéndose realizado 6 pruebas experimentales de irradiación mediante la exposición del producto a dosis de 2, 4, 6, 8, 10 y 12 KGy con tiempos de 17,1; 34,2; 51,4; 68,5; 85,7 y 102,8 minutos respectivamente; y se ha determinado que la exposición de 8 KGy por un tiempo de 68,5 minutos es la

que logra inactivar o destruir a un número muy pequeño la presencia de AMV, mohos y levaduras, haciendo que el producto sea estable para ser almacenado al medio ambiente.

3.10.1 Contratación de la Hipótesis Mediante Análisis Microbiológico

Teniendo en cuenta la Tabla N° 19, nos indica que a la dosis de 8KGy aplicada al producto por un tiempo de 68,5 minutos nos da como resultado la reducción desde $5,2 \cdot 10^6$ a $5 \cdot 10^2$ ufc/g de AMV, de $6 \cdot 10^2$ a 8 ufc/g de Mohos y de $5 \cdot 10^3$ a 6 ufc/g de Levadura, es decir, con dicha dosis se logra un producto estable e inocuo para ser consumido por el hombre.

De manera independiente se han realizado pruebas microbiológicas de viabilidad de los microorganismos en harina de maca irradiada con dosis de 8 KGy de acuerdo a la TABLA N° 21, y se ha determinado que en un período de 180 días el número de ufc/g no ha variado, significando que la dosis de irradiación dada al producto no afectado a los cromosomas ADN y ARN de los microorganismos, permitiendo afirmar que el producto es inocuo a través del tiempo de almacenamiento.

3.10.2 Contrastación de la Hipótesis Mediante los Análisis Estadísticos

Hipótesis Estadística

Cuando se realiza un trabajo experimental de conservación de alimentos por irradiación, si se elimina o reduce la carga microbiana a niveles por debajo de las que establece la norma sanitaria, se propicia el aseguramiento de la inocuidad del producto; por lo que si el producto se somete a proceso de irradiación de dosis y tiempos determinados deberá ser mayor la varianza de la inocuidad del producto, con un nivel de significancia de 0.05.

El análisis estadístico realizado a las pruebas de irradiación muestran una varianza de 0,005 para los AMV; 0,004 para los mohos y 0.004 para las levaduras, lo que significa que la varianza es positiva en cuanto se refiere a haber logrado la inocuidad del producto con los parámetros indicados y negativa en el sentido de que los microorganismos que han logrado sobrevivir a la irradiación, no tienen viabilidad vegetativa.

Contrastación de la Hipótesis Nula

Podemos indicar de acuerdo a los resultados estadísticos reportados que la harina de maca irradiada a una dosis de 8 KGy por un tiempo de 68,5 minutos mejora la inocuidad del producto.

3.10.3 Selección de Pruebas Estadísticas

Las pruebas estadísticas trabajadas en la investigación, han partido de una población de microorganismos que se encuentran en harina de maca sin irradiar, a partir de la cual se ha determinado cual de las dosis aplicadas al producto después de ser sometidas a irradiación es la que ocasiona mayor mortandad y como consecuencia se logra la inocuidad del alimento, para tal efecto las pruebas estadísticas utilizadas fueron:

- Determinación de modelos de regresión entre la variable AMV en función de la dosis y el tiempo.
- Modelo de regresión exponencial para la variable AMV en función de la dosis.
- Modelo de regresión potencial para la variable AMV en función de la dosis.
- Determinación de modelos de regresión entre la variable Mohos en función de la dosis.
- Modelo de regresión lineal para la variable Mohos en función de la dosis.
- Modelo de regresión cuadrática para la variable Mohos en función de la dosis.
- Determinación de modelos de regresión entre la variable Levaduras en función de la dosis y el tiempo.

- Modelo de regresión cuadrática para la variable Levaduras en función de la dosis.

3.10.4 Nivel de Significancia

El nivel de significancia utilizado será del 0.05, esto quiere decir que con un 95% de probabilidad que la muestra se encuentra dentro de la zona de rechazo o dentro de la zona de aceptación.

3.10.5 Prueba de Significancia

1. Prueba de Hipótesis

$$H_0: \sigma^2 = \sigma^2$$

$$H_a: \sigma^2 \neq \sigma^2$$

2. Estadístico de prueba

$$F_{\text{tabulado}} = F_{(k-1, n-k) \alpha}$$

3.10.6 Comprobación de la Hipótesis

Se ha comprobado que la hipótesis planteada y referida a “Con que dosis de irradiación y tiempo de exposición se logrará la inocuidad de la harina de maca” que se puede ver en la pág. 79, ha sido constatada de acuerdo a los análisis microbiológicos y estadísticos practicados al producto irradiado. Asimismo se comprobó que a dosis de 8 KGy por un tiempo de 68,5 minutos se obtuvo un producto inocuo para ser utilizado como alimento por el ser humano.

3.11 Materiales

- Placas petri
- Matraces 250, 500 ml
- Tubos de ensayo
- Vasos de precipitado 100, 250 y 500 ml
- Balanza analítica digital, marca SATORIUS, modelo 1213 MP, capacidad de 300 g y 5 Kg, 110 V.
- Potenciómetro digital, marca Cole Parmer, modelo 0565965, 110 V.
- Refrigeradora doméstica marca Coldex, 12 pies cúbicos, 220V, 1000W.

- Computadora
- Reactivo: fenolftaleína
- Equipo de irradiación Gammacell 220
- Bolsas de polietileno de alta densidad
- Selladora de bolsas marca SALTON
- Plumones
- Mechero
- Alcohol etílico de 96 G.L
- Probetas de 10, 100 y 250 ml
- Tijeras
- Agua destilada
- Medios de cultivo y agares

CAPITULO IV

RESULTADOS

Se realizó previamente la distribución de las cantidades de harina de maca necesaria para los diferentes análisis (ver Tabla N° 12).

TABLA N° 12

DISTRIBUCIÓN DE LA CANTIDAD DE MUESTRA DE HARINA DE MACA UTILIZADA DURANTE TODO EL PROCESO

Análisis	Dosis							Patrón
	Total muestra (Kg)	2 KGy	4 KGy	6 KGy	8 KGy	10 KGy	12 KGy	
Análisis Físico-Químico (1)	1	-	-	-	-	-	-	-
Análisis Microbiológico (1)	1	-	-	-	-	-	-	-
Proceso de Irradiación	16	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1
Análisis Físico-Químico (2)	1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	-
Análisis Microbiológico (2)	1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	-
Total	20 Kg							

(1). Kilogramos utilizados para los análisis físico-químicos antes de someterse al proceso de irradiación.

(2). Kilogramos utilizados para los análisis físico-químicos después del proceso de irradiación.

4.1 Resultado de los Análisis Físicoquímicos de la Harina de Maca no Irradiada

a) Determinación del pH y Acidez Titulable

Respecto al pH de la harina de maca, esta reportó un valor de 5.68, lo cual la ubica dentro de los límites según estudios realizados por el Instituto Nacional de Nutrición cuyo valor tiene un rango de 5.5 – 6.5 para harinas frescas (los rangos están basados en lo reportado por Kent, N. (1971) "Tecnología de los Cereales").

Respecto de la acidez expresada en porcentaje de ácido sulfúrico como específica el método se obtuvo un valor de 0.15%, valor que está dentro de establecido por la NTP 205.043 (1976).

b) Análisis Proximal de la Harina de Maca

El análisis proximal realizado en la harina de maca antes del proceso de irradiación reportó los siguientes resultados, que se presentan en la Tabla N° 13.

TABLA N° 13**ANÁLISIS PROXIMAL DE LA HARINA DE MACA**

Análisis	Resultados Experimentales	Rangos Permitidos*
Determinación de Humedad (%)	8,75	5 – 19
Determinación de Cenizas Totales (%)	4,9	3,46 – 6,48
Determinación de Proteína (%)	11,8	10,10 – 18,25
Determinación de Grasa Total (%)	2,6	0,2 – 2,8
Determinación de Fibra Bruta (%)	8,2	3,85 – 8,5
Determinación de Carbohidratos (%)	57,7	51,81 – 76,05

* Datos obtenidos de diversos análisis de harinas de maca en el **Estudio Bromatológico de Maca** realizado por la UNAC (2001).

4.2 Resultados de los Análisis Microbiológicos de Harina de Maca no Irradiada

Los análisis iniciales realizados en la harina de maca reportaron los siguientes datos:

Respecto a la determinación de microorganismos Aerobios mesófilos, se encontraron $5,2 \cdot 10^6$ UFC/g, cuyo valor se encuentra por encima de los requisitos especificados en la NTP 011.0181-2008, la cual reporta valores comprendidos entre 10^4 y 10^5 UFC/g. Igualmente sobrepasa los límites que establece el documento sobre "Criterios Microbiológicos de Calidad Sanitaria e Inocuidad Para los Alimentos y Bebidas de Consumo Humano" (RM 615-2003-SA/DM) de nuestro país, donde los valores están entre 10^3 y 10^4 UFC/g. Los datos obtenidos tanto para *Escherichia coli* como para *Salmonella* fueron negativos. En lo que respecta a mohos y levaduras, luego de una semana de incubación a 25 °C se encontró la cantidad de $6 \cdot 10^3$ UFC/g y $5 \cdot 10^3$ UFC/g respectivamente, valores dentro de lo indicado en la NTP 011.0181-2008. Finalmente la determinación de *Bacillus cereus* reportó $4 \cdot 10^2$ UFC/g, valor dentro de los límites establecidos en la Normativa (ver las Figuras N° 26, 27 y la Tabla N° 14).

FIGURA N° 26

RESULTADOS DE RECUENTO DE AMV

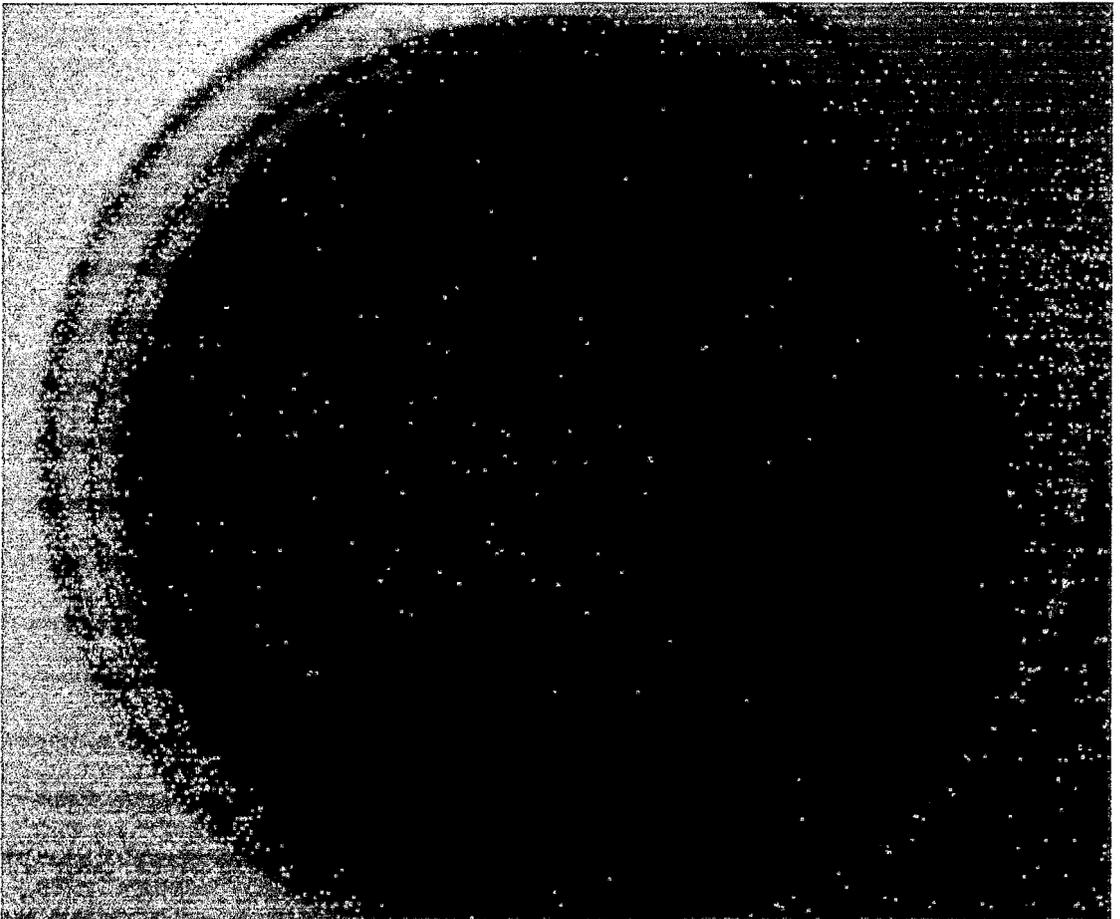


FIGURA Nº 27

RESULTADOS DEL RECUENTO DE MOHOS Y LEVADURAS

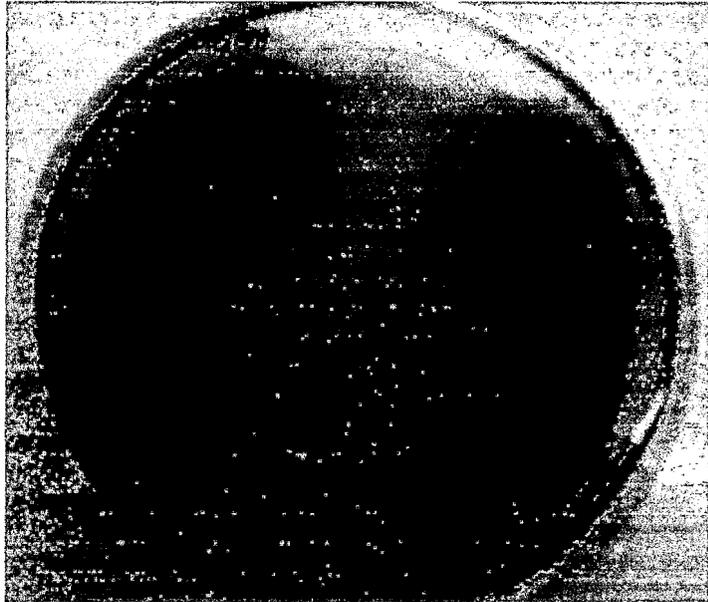


TABLA N° 14

**RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE LA HARINA DE
MACA SIN IRRADIAR**

Agentes Microbianos	Unidades Formadoras de Colonias por gramo (UFC/g)
Aerobios Mesofilos Viables AMV (%)	$5,2 \cdot 10^6$
Escherichia coli	Ausente
Salmonella	Ausente
Mohos	$6 \cdot 10^3$
Levaduras	$5 \cdot 10^3$
Bacillus cereus	$4 \cdot 10^2$

4.3 Resultados de los Análisis del Proceso de Irradiación de la Harina de Maca

Durante este proceso se colocaron los paquetes de maca debidamente sellados y señalados a la dosis a ser irradiados, durante los días 11 al 12 de Marzo del 2008 que se realizó el proceso de irradiación. Este proceso se realizó en el laboratorio de irradiación dentro de las instalaciones del IPEN en Huarangal. El cálculo de las dosis de irradiación (Anexo N° 1) y los análisis dosimétricos (Anexo N° 2) realizados nos permitieron encontrar la tasa de dosis, que es un dato fundamental para la determinación del tiempo de exposición de la harina de maca a ser irradiada. Cabe resaltar que el equipo Gammacell 220 fue adquirido en Setiembre del 2003, reportando una actividad inicial de 20.10^3 Curie, una tasa de dosis de 19 KGy/h (en aire) y una vida media de Co-60 de 5.27 años. Quiere decir que después de 5.27 años la tasa de dosis decae a la mitad.

Luego de aplicar la fórmula del decaimiento para la fecha 11 de marzo del 2008, la tasa de dosis experimentalmente fue de **7 KGy/h**. entonces en función a esta tasa de dosis y realizando una regla de tres simple se obtienen los tiempos de exposición que fueron los siguientes:

Fórmula de decaimiento:

$$D_f = D_i e^{-\lambda t_1/t}$$

$$D_f = 19 e^{-0.693 (5 \text{ años})/5.27 \text{ años}}$$

$$D_f = 7 \text{ KGy/h}$$

Donde:

DF y Di : Son las tasas de dosis final e inicial

λ : Es la constante de desintegración

t_1 : Tiempo de vida media del Co-60

t : Tiempo transcurrido desde la adquisición

hasta la fecha del experimento.

Así, para la dosis de 2 KGy el resultado fue:

$$\begin{array}{l} 7 \text{ KGy} \longrightarrow 60 \text{ min.} \\ 2 \text{ KGy} \longrightarrow X \end{array}$$

$$X = 17, 1 \text{ min.}$$

El mismo procedimiento se realizó para encontrar los tiempos de 4, 6, 8, 10 y 12 KGy, que fueron: 32,4; 51,4; 68,5; 85,7 y 102,8 respectivamente.

Resultado de la Determinación de la Dosis Óptima de Irradiación

Para la determinación de la dosis óptima de irradiación se tomó en cuenta los efectos de la radiación gamma sobre los microorganismos presentes en la harina de maca a las dosis de 2, 4, 6, 8, 10 y 12 KGy. Así según estudios realizados se afirma que la sensibilidad de los microorganismos difiere con las especies; por lo general, son los hongos y las levaduras las de mayor resistencia que las bacterias (Barbosa-Cánovas *et al.* 1999) más aún si se trata de productos secos. La dosis óptima de irradiación se determinó a partir del incremento de la mortandad de los microorganismos más resistentes y de mayor riesgo como son los mohos y levaduras. En la TABLA N° 19 se puede apreciar que a partir de la dosis de 6 KGy los resultados de los AMV, Mohos y Levaduras disminuye significativamente, **por lo tanto la dosis óptima de irradiación para la harina de maca en éste trabajo de investigación es de 8 KGy**, valor que está contemplado en la NTP. 209. 500. 2001 sobre Alimentos Irradiados, y que garantiza la mortandad con menos de 10 ufc/g de microorganismos, **sin variar significativamente sus propiedades fisicoquímicas y nutricionales.**

4.4 Resultados de los Análisis Físico-Químicos de la Harina de maca Irradiada.

a) Determinación de pH y Acidez Titulable en la Harina de Maca Irradiada

Respecto al pH de la harina de maca, esta reportó un valor de 5.67, lo cual la ubica dentro de los límites según estudios realizados por el instituto Nacional de Nutrición cuyo valor tiene un rango de 5.5 – 6.5 para harinas frescas (los rangos están basados en lo reportado por Kent, N. (1971) "Tecnología de los Cereales").

Respecto de la acidez expresada en porcentaje de ácido sulfúrico como especifica el método se obtuvo un valor de 0.15%, valor que está dentro de establecido por la NTP 205.043 (1976).

b) Resultados del Análisis Proximal de la harina de Maca Irradiada a Diferentes Dosimetrías

Realizado el análisis se pudo observar que los valores para cada análisis proximal están contemplados en la NTP .011.181 (2008) Para Harina Tostada de Maca como se puede apreciar en la Tabla N° 15.

TABLA N° 15

ANÁLISIS PROXIMAL DE LA HARINA DE MACA IRRADIADA

Análisis Proximal (%)	Dosimetrías (KGy)					
	2	4	6	8	10	12
Determinación de Humedad (%)	8.56	8.55	8.57	8.56	8.54	8.56
Determinación de Cenizas Totales (%)	5	4,9	4,9	4,9	4,9	4,8
Determinación de Proteína (%)	11,9	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8
Determinación de Grasa Total (%)	1.85	1.92	1.80	1.96	2.0	1.88
Determinación de Fibra Bruta (%)	8,3	8,2	8,2	8,2	8,2	8,1
Determinación de Carbohidratos (%)	57,5	58,1	57,8	57,9	57,9	58,2

4.5 Resultado de los Análisis Microbiológico de la Harina de Maca

Irradiada

Realizado el proceso de irradiación se comprobó mediante análisis microbiológicos que a dosis de 2 KGy se elimina por completo las poblaciones de *Bacillus cereus* que inicialmente fue de $4 \cdot 10^2$ ufc/g, por otro lado la población de aerobios mesófilos viables decae desde $2,6 \cdot 10^5$ ufc/g para la dosis de 2 KGy hasta 180 ufc/g para la dosis de 12 KGy. Respecto de los mohos encontramos que se reducen desde 50 ufc/g para la dosis de 2 KGy hasta la ausencia a la dosis de 12 KGy y finalmente las levaduras se redujeron de 62 ufc/g para la dosis de 2 KGy hasta la ausencia para la dosis de 12 KGy. Los resultados obtenidos son favorables ya que están contemplados dentro de la NTP 011.081-2008, así como por la RM-N°615-2003-SA/DM (ver las Tablas N° 16, 17, 18, y el consolidado general en la Tabla N° 19).

TABLA Nº 16

RESULTADOS DE AMV EN HARINA DE MACA IRRADIADA

Agentes Microbianos	Dosis de Irradiación (KGy)	Tiempo de Irradiación (min.)	Unidades Formadoras de Colonias por Gramo (Ufc/g)
Aerobios Mesófilos Viables (AMV)	2	17,1	$2,6 \cdot 10^5$
	4	32,4	$1,2 \cdot 10^4$
	6	51,4	$1,6 \cdot 10^3$
	8	68,5	$5 \cdot 10^2$
	10	85,7	$3,2 \cdot 10^2$
	12	102,8	180

GRAFICO N° 1

EFFECTO DE LA IRRADIACION SOBRE LOS AMV A DIFERENTES DOSIS EN LA HARINA DE MACA

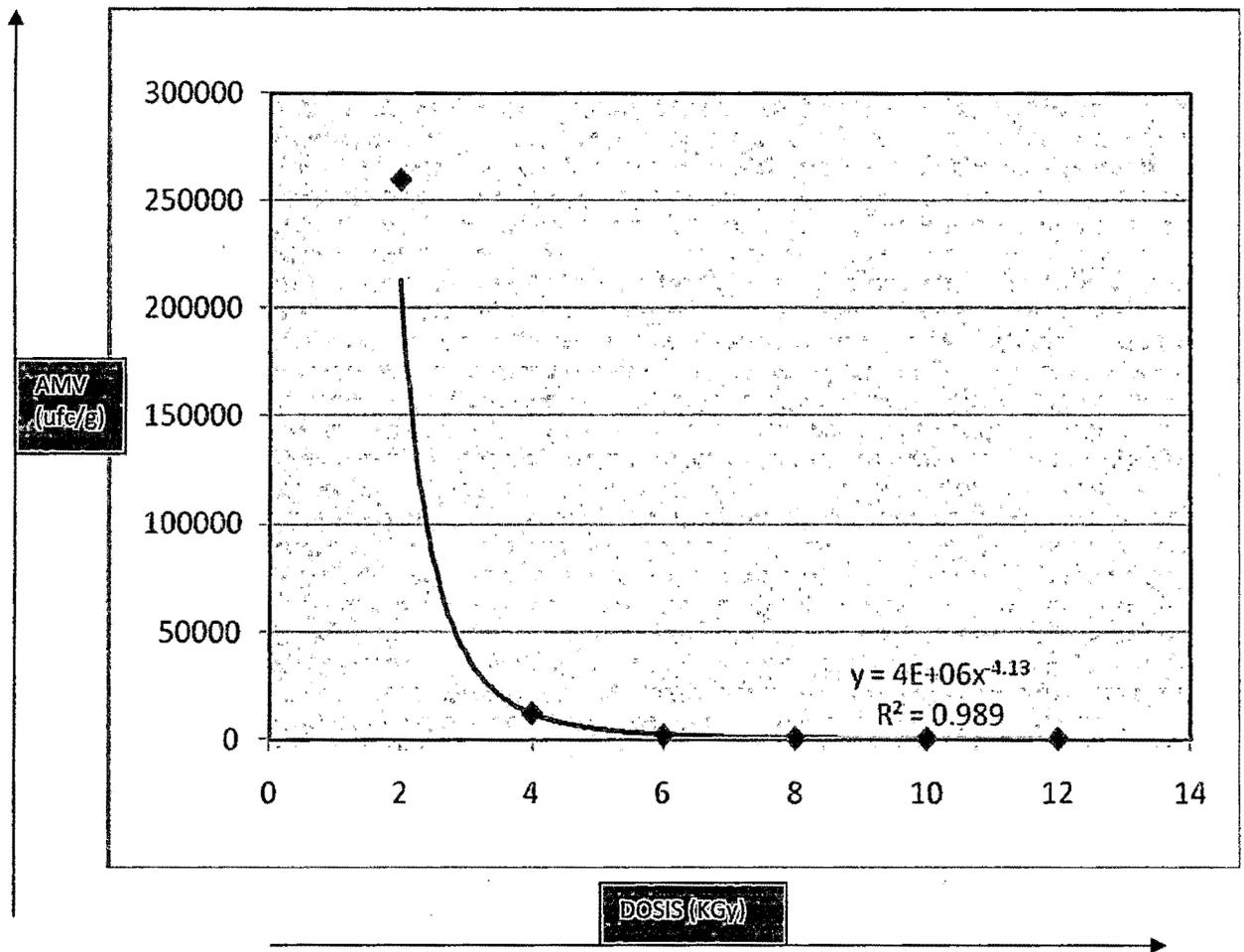


TABLA N° 17

RESULTADO DE MOHOS EN LA HARINA DE MACA IRRADIADA

Agentes Microbianos	Dosis de Irradiación (KGy)	Tiempo de Irradiación (min.)	Unidades Formadoras de Colonias por Gramo (Ufc/g)
Mohos	2	17,1	50
	4	32,4	35
	6	51,4	15
	8	68,5	8
	10	85,7	2
	12	102,8	Ausente

GRAFICO N° 2

EFFECTO DE LA IRRADIACION SOBRE LOS MOHOS A DIFERENTES DOSIS EN LA HARINA DE MACA

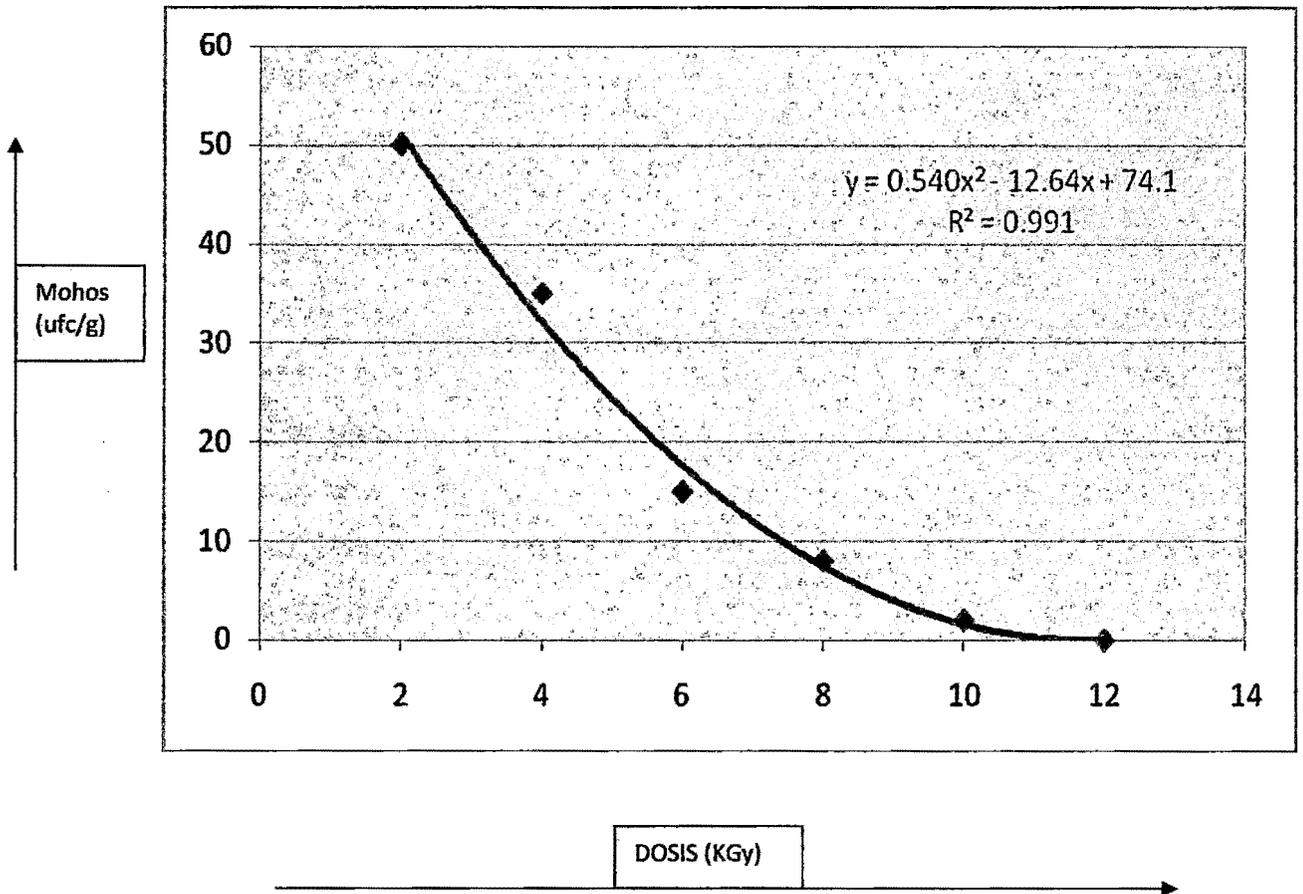


TABLA N° 18**RESULTADO DE LEVADURAS EN HARINA DE MACA IRRADIADA**

Agentes Microbianos	Dosis de Irradiación (KGy)	Tiempo de Irradiación (min.)	Unidades Formadoras de Colonias por Gramo (Ufc/g)
Levaduras	2	17,1	62
	4	32,4	43
	6	51,4	21
	8	68,5	6
	10	85,7	3
	12	10,8	Ausente

GRAFICO N° 3

EFFECTO DE LA IRRADIACION SOBRE LAS LEVADURAS A DIFERENTES DOSIS EN LA HARINA DE MACA

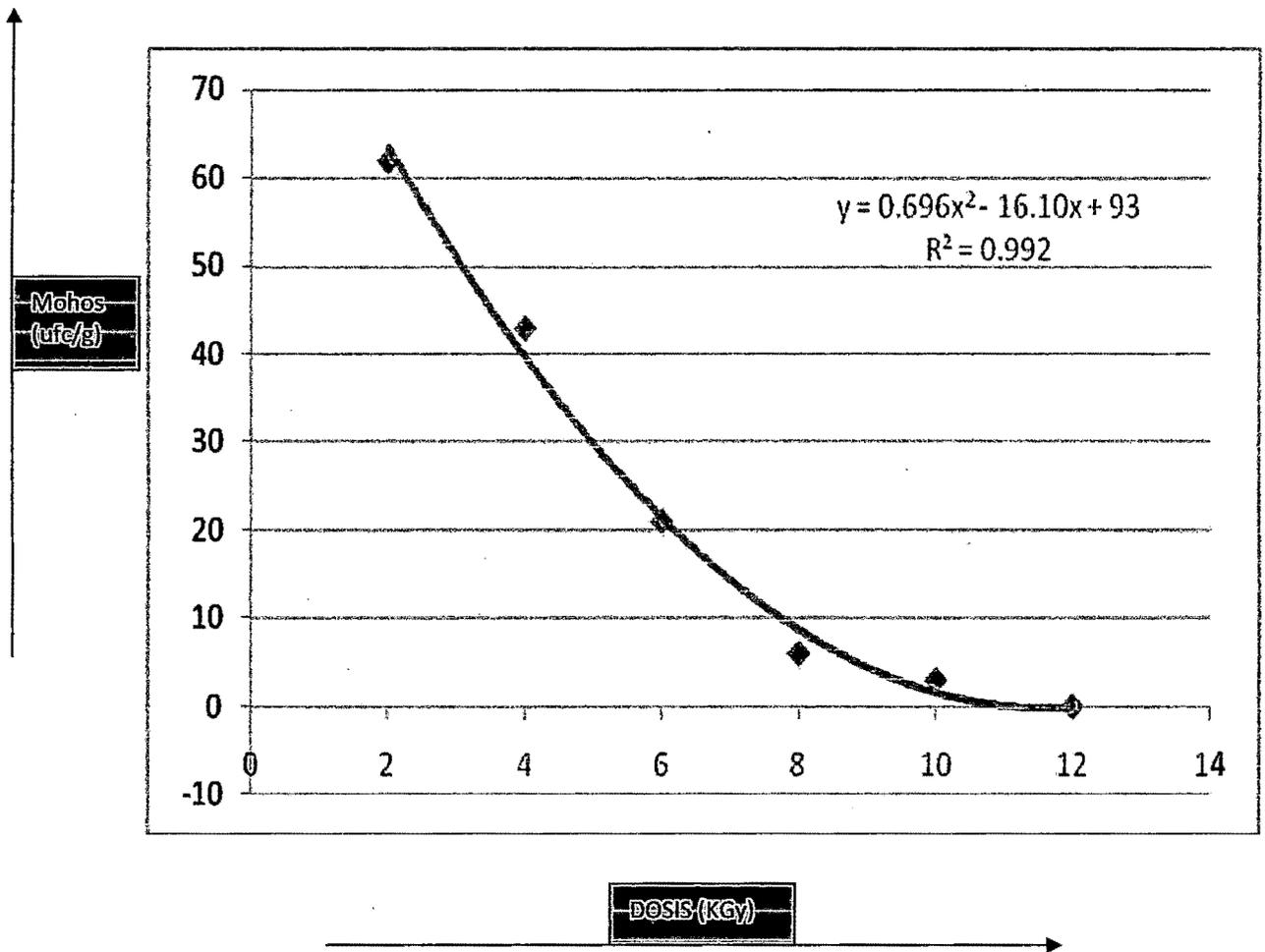


TABLA N° 19**CONSOLIDADO DE LOS ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS EN LA HARINA
DE MACA IRRADIADA Y LA MUESTRA PATRON**

Dosis (KGy)	Tiempo (min.)	AMV (Ufc/g)	Mohos (Ufc/g)	Levaduras (Ufc/g)
Patrón	0	$5,2 \cdot 10^6$	$6 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^3$
2	17,1	$2,6 \cdot 10^5$	50	62
4	32,4	$1,2 \cdot 10^4$	35	43
6	51,4	$1,6 \cdot 10^3$	15	21
8	68,5	$5 \cdot 10^2$	8	6
10	85,7	$3,2 \cdot 10^2$	2	3
12	102,8	180	Ausente	Ausente

4.6 Resultados del Análisis Sensorial de la Harina de Maca Irradiada

Los resultados del análisis sensorial de la harina de maca, indican una buena estabilidad, siendo las muestras irradiadas, las de mayor aceptación con calificativo de **"Bueno"**. Esto es muy importante ya que de acuerdo con Wittig, E. (2001) antes de lanzar un nuevo producto al mercado es conveniente realizar pruebas de aceptabilidad, para así conocer la posible reacción del público consumidor de manera que se detecte y corrija a tiempo las deficiencias del mismo. El control y la dosis de 2 KGy tuvieron menor puntuación debido que algunos panelistas encontraron diferencia entre el sabor y el olor. Se determinó que a dosis de 8 KGy no se alteran las características sensoriales del producto (Tabla N° 20).

TABLA N° 20

ANÁLISIS SENSORIAL EN SHAKE DE MACA

Atributo	Control	2 KGy	4 KGy	6 KGy	8 KGy	10 KGy	12 KGy
Color	x	x	x	x	x	x	x
Olor	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx
Sabor	X	x	x	x	x	x	x
Calificativo	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
Puntaje	4	4	4	4	4	4	4

X: Característico

XX: Aromático característico

Calificativo:

Excelente - 5 puntos

Bueno - 4 puntos

Satisfactorio - 3 puntos

Regular - 2 puntos

Malo - 1 punto

4.7 Resultado de los Análisis Estadísticos Realizados en la Harina de Maca Irradiada

Trataremos de determinar los modelos de regresión entre cada una de las variables dependientes en función de las variables independientes: Dosis y el Tiempo; con la finalidad de determinar el tiempo más óptimo.

Modelo de Regresión entre la variable AMV en función de la Dosis y el Tiempo

Dosis: X_1 (KGy)	Tiempo: X_2 (min)	AMV: Y (Ufc/g)
2	17,1	$2,6 \cdot 10^5$
4	32,4	$1,2 \cdot 10^4$
6	51,4	$1,6 \cdot 10^3$
8	68,5	$5 \cdot 10^2$
10	85,7	$3,2 \cdot 10^2$
12	102,8	180

Matriz de Correlación

Podemos observar la existencia de una correlación altamente significativa, entre las variables independientes (multicolinealidad), por lo que solo tomaremos en cuenta para obtener nuestro modelo de regresión a la variable independiente Dosis.

	Y	X1
X1	-0,679 0,138	
X2	-0,669 0,146	1,000 0,000

Trataremos de determinar el modelo que muestre un mejor ajuste entre las Dosis y AMV, para lo cual construiremos un diagrama de dispersión el cual nos muestra la existencia de una relación no lineal

Determinaremos si el mejor ajuste es a través de un modelo Exponencial o modelo Potencial

Modelo de Regresión Exponencial para la variable AMV en función de la Dosis

Podemos observar que el grado de ajuste para dichas variables bajo este modelo es de 88.3 %; cuya ecuación de regresión es:

$$\text{Log } Y = 5,46 - 0,300 X_1$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constante	5,4622	0,4259	12,83	0,000
X1	-0,30037	0,05468	-5,49	0,005
S = 0,457474		R ² = 88,3%		

Análisis de Varianza

Fuente de variación	GL	SC	MS	F	P
Regresión	1	6,3155	6,3155	30,18	0,005
Residual Error	4	0,8371	0,2093		
Total	5	7,1526			

Modelo de Regresión Potencial para la variable AMV en función de la Dosis

Seguidamente obtendremos la ecuación de regresión potencial que mejor explique la variación de la AMV por efecto de la variación en la dosis; notándose por un lado que el grado de ajuste es bastante alto, bordeando el 99 % siendo este mayor al de modelo exponencial.

Por otro lado podemos observar que la Dosis óptima sería de 8 KGy; dado que al incrementar dicha dosis; el efecto sobre la AMV no tuvo un efecto muy significativo, tal como se puede observar en los valores estimados obtenidos.

X1	Y	Log X1	Log Y	RESI1	SRES1	FITS1
2	260000	0,30103	5,41497	0,086610	1,18042	5,32836
4	12000	0,60206	4,07918	-0,004693	-0,03923	4,08387
6	1600	0,77815	3,20412	-0,151774	-1,21111	3,35589
8	500	0,90309	2,69897	-0,140414	-1,14709	2,83938
10	320	1,00000	2,50515	0,066402	0,57264	2,43875
12	180	1,07918	2,25527	0,143869	1,33834	2,11140

La Ecuación de regresión es:

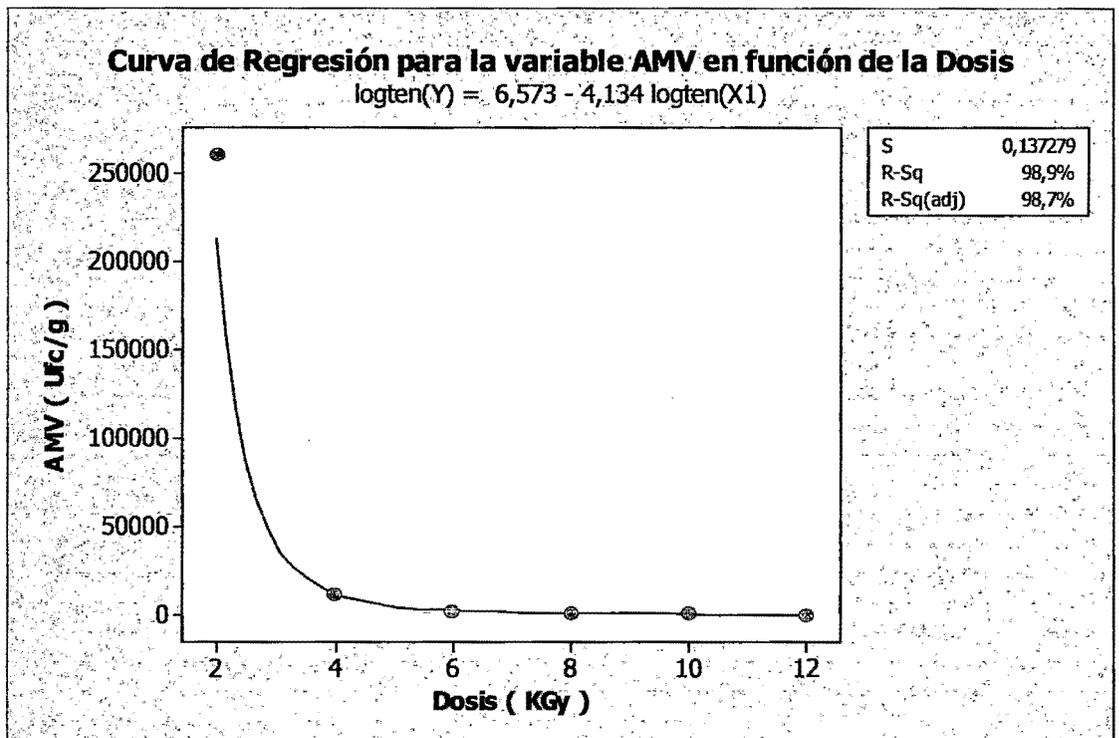
$$\text{Log Y} = 6,57 - 4,13 \text{ Log X1}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constante	6,5729	0,1750	37,55	0,000
Log X1	-4,1341	0,2133	-19,38	0,000

$$S = 0,137279 \quad R^2 = 98,9\%$$

Análisis de Varianza

Fuente de variación	GL	S.C	C.M	F	P
Regresión	1	7,0772	7,0772	375,54	0,000
Residual Error	4	0,0754	0,0188		
Total	5	7,1526			



Modelo de Regresión para la variable Mohos en función de la Dosis

Ahora trataremos de determinar el modelo que mejor ajuste a las variables Dosis y Mohos; para cual presentaremos en primer lugar el diagrama de dispersión, donde podemos observar la existencia de una posible relación polinomial de segundo grado, cuyo modelo lo contrastaremos con el modelo lineal.

Dosis (KGy): X_1	Mohos (UFC/g): Y_2
2	50
4	35
6	15
8	8
10	2
12	0

Modelo de Regresión Lineal para la variable Mohos en función de la Dosis

De acuerdo al modelo de regresión lineal obtenido vemos que este tiene un coeficiente de determinación obtenido $R^2 = 0.905$

$$Y_2 = 53,9 - 5,09 X_1$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constante	53,933	6,430	8,39	0,001
X1	-5,0857	0,8255	-6,16	0,004
S = 6,90686		R ² = 90,5%		

Análisis de Varianza

Fuente de Variación	Gl	S.C	MS	F	P
Regresión	1	1810,5	1810,5	37,95	0,004
Residual Error	4	190,8	47,7		
Total	5	2001,3			

Modelo de Regresión Cuadrático para la variable Mohos en función de la Dosis

Enseguida llevaremos a cabo una prueba de hipótesis para determinar si el modelo es lineal o cuadrático.

Modelo de regresión polinomial supuesto: $Y = \alpha + \beta_1 X + \beta_2 X^2$

Ho: $\beta_2 = 0$

H1: $\beta_2 \neq 0$

Nivel de significación $\alpha = 0.01$

La ecuación de regresión cuadrática estimada obtenida es:

$$Y_2 = 74,1 - 12,6 X_1 + 0,540 X_1^{**2}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constante	74,100	4,198	17,65	0,000
X1	-12,648	1,373	-9,21	0,003
X1**2	0,54018	0,09602	5,63	0,011
S = 2,34673		R ² = 99,2%		

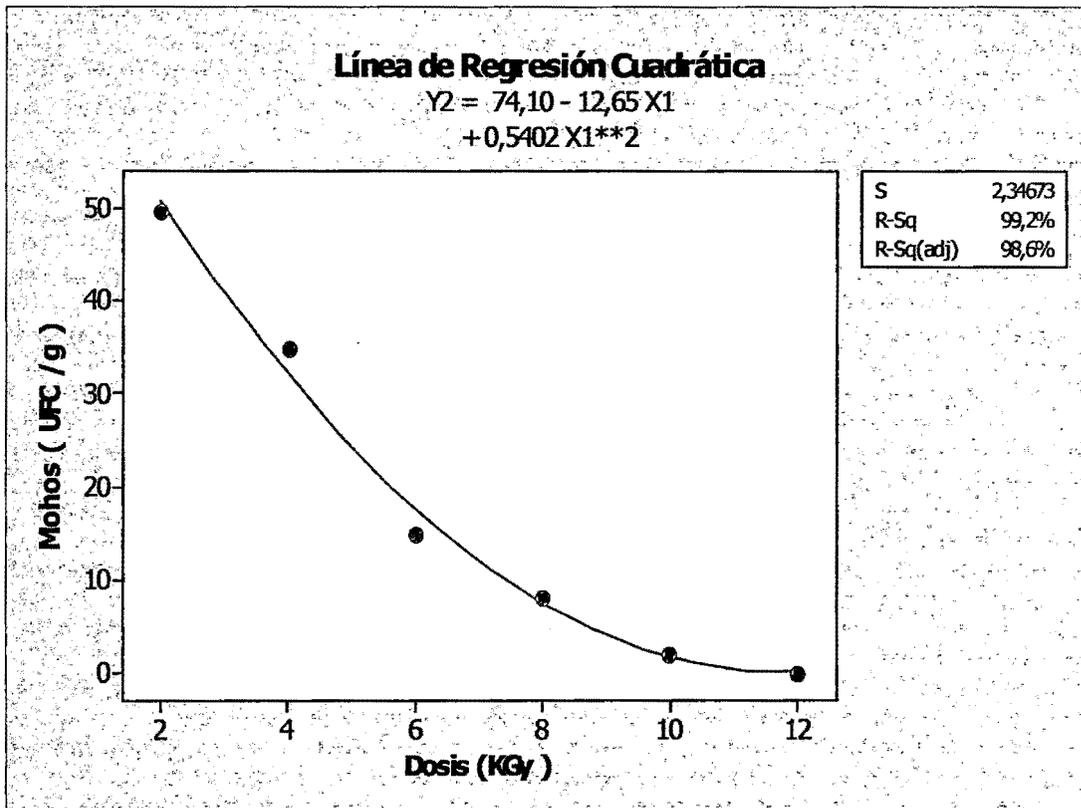
Análisis de varianza

Fuente de Variación	GL	S.C	C.M	F	P
Regresión	2	1984,81	992,41	180,20	0,001
Residual Error	3	16,52	5,51		
Total	5	2001,33			

Fuente de Variación	GL	SC Secuencial
X1	1	1810,51
X1**2	1	174,30

Dado que para el predictor X^{**2} se tiene que $T = 5.63$ con un valor de $P = 0.011$, entonces rechazaremos H_0 por lo que concluimos que el modelo que mejor ajusta a dichas variables es el cuadrático.

X1	Y2	X1**2	RESI1	SRES1	FITS1
2	50	4	-0,96429	-0,97238	50,9643
4	35	16	2,85000	1,45902	32,1500
6	15	36	-2,65714	-1,42815	17,6571
8	8	64	0,51429	0,27642	7,4857
10	2	100	0,36429	0,18649	1,6357
12	0	144	-0,10714	-0,10804	0,1071



Modelo de Regresión para la variable Levaduras en función de la Dosis
Ahora trataremos de determinar el modelo que mejor ajuste a las variables Dosis y Levaduras; para cual presentaremos en primer lugar el diagrama de dispersión, donde podemos observar la existencia de una relación no lineal, cuyo modelo trataremos de determinar.

Dosis (KGy): X_1	Levaduras (UFC/g): Y_3
2	62
4	43
6	21
8	6
10	3
12	0

Modelo de Regresión Lineal para la variable Levaduras en función de la Dosis

De acuerdo al modelo de regresión lineal obtenido vemos que este tiene un coeficiente de determinación obtenido $R^2 = 0.901$

La Ecuación de regresión lineal es:

$$Y_3 = 67,0 - 6,36 X_1$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	67,000	8,229	8,14	0,001
X1	-6,357	1,057	-6,02	0,004

S = 8,83984

$R^2 = 90,1\%$

Análisis de Varianza

Fuente de Variación	GL	S.C	MS	F	P
Regresión	1	2828,9	2828,9	36,20	0,004
Residual Error	4	312,6	78,1		
Total	5	3141,5			

Modelo de Regresión Cuadrático para la variable Levaduras en función de la Dosis

Enseguida llevaremos a cabo una prueba de hipótesis para determinar si el modelo es lineal o cuadrático.

Modelo de regresión polinomial supuesto: $Y = \alpha + \beta_1 X + \beta_2 X^2$

Ho: $\beta_2 = 0$

H1: $\beta_2 \neq 0$

Nivel de significación $\alpha = 0.01$

La ecuación de regresión polinomial de segundo grado es:

$$Y_3 = 93,0 - 16,1 X_1 + 0,696 X_1^{**2}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	93,000	4,938	18,83	0,000
X1	-16,107	1,615	-9,97	0,002
X1**2	0,6964	0,1129	6,17	0,009

S = 2,76026

R² = 99,3%

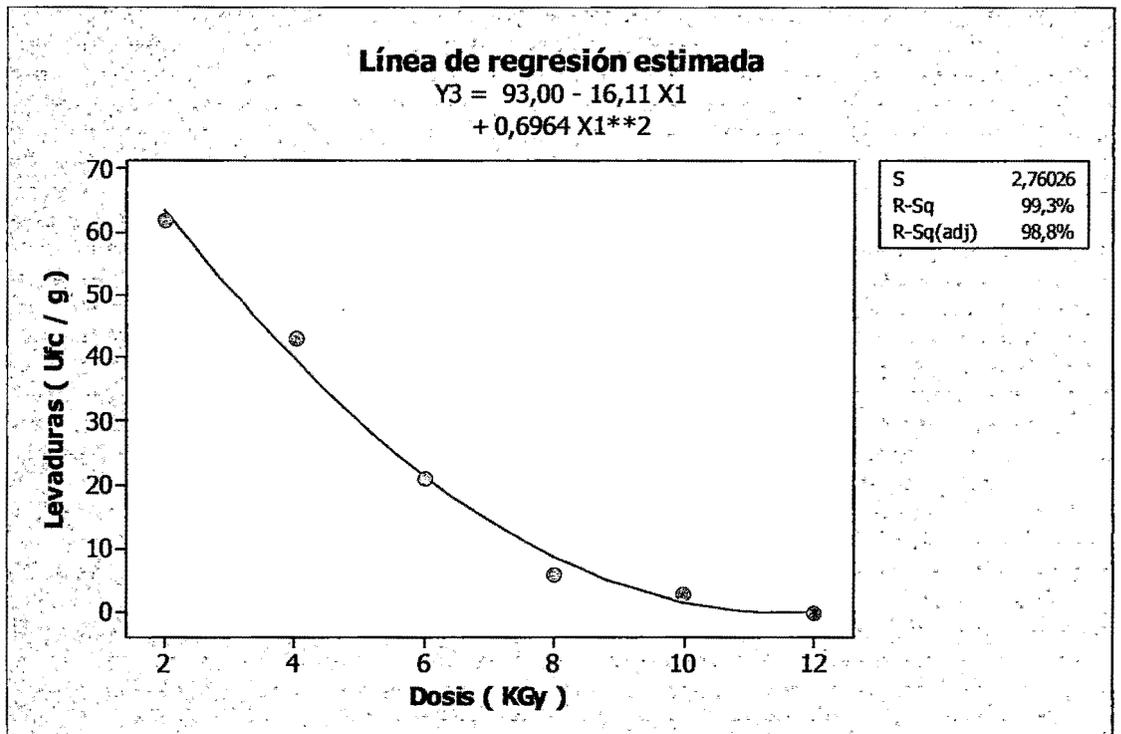
Análisis de Varianza

Fuente de Variación	DF	SS	MS	F	P
Regresión	2	3118,6	1559,3	204,66	0,001
Residual Error	3	22,9	7,6		
Total	5	3141,5			

Fuente de Variación	DF	S.C Secuencial
X1	1	2828,9
X1**2	1	289,7

Dado que para el predictor X^{**2} se tiene que $T = 6.17$ con un valor de $P = 0.009$, entonces rechazaremos H_0 por lo que concluimos que el modelo que mejor ajusta a dichas variables es el cuadrático, con un coeficiente de determinación del 99.3 %

X1	Y3	X1**2	RESI1	SRES1	FITS1
2	62	4	-1,57143	-1,34722	63,5714
4	43	16	3,28571	1,43007	39,7143
6	21	36	-0,42857	-0,19584	21,4286
8	6	64	-2,71429	-1,24030	8,7143
10	3	100	1,42857	0,62177	1,5714
12	0	144	0,00000	0,00000	-0,0000



4.8 Resultado del Tiempo de Almacenamiento de la Harina de Maca a la Dosis Óptima de 8 KGy

El almacenamiento de la harina de maca irradiada a dosis de 8 KGy muestra que a lo largo de 180 días no se produjo viabilidad de los microorganismos, es decir, el crecimiento microbiano se mantuvo casi sin alteraciones respecto a las ufc/g en AMV, Mohos y Levaduras, como se pudo demostrar de acuerdo a los análisis microbiológicos realizados cada 30 días durante 6 meses. Mientras que en la muestra control, la carga microbiana va en aumento. TABLA N° 21.

TABLA N° 21

**ANALISIS MICROBIOLÓGICOS DE LA HARINA DE MACA
ALMACENADA A DOSIS ÓPTIMA**

Tiempo de Almacenamiento (Días)	Recuento Total de Microorganismos					
	AMV (ufc/g)		Mohos (ufc/g)		Levaduras (ufc/g)	
	Control	8 KGy	Control	8 KGy	Control	8 KGy
0	$5,2 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^2$	$6 \cdot 10^3$	8	$5 \cdot 10^3$	6
30	$5,3 \cdot 10^6$	$4 \cdot 10^2$	$7 \cdot 10^3$	< a 10	$6 \cdot 10^3$	< a 10
60	$5,1 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^2$	$8 \cdot 10^4$	< a 10	$16 \cdot 10^4$	< a 10
90	$4,9 \cdot 10^6$	$4 \cdot 10^2$	$12 \cdot 10^4$	< a 10	$21 \cdot 10^4$	< a 10
120	$5,0 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^2$	> a 10^5	< a 10	> a 10^5	< a 10
150	$5,0 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^2$	> a 10^5	< a 10	> a 10^5	< a 10
180	$4,9 \cdot 10^{10}$	$2 \cdot 10^2$	> a 10^5	< a 10	> a 10^5	< a 10

CAPITULO V

DISCUSIONES

- El presente estudio llegó a determinar que la irradiación de la harina de maca a dosis de 8 KGy con un tiempo de 68,5 minutos logra reducir considerablemente los valores de las unidades formadoras de colonias por gramo de producto, con lo cual se demuestra la calidad e inocuidad del mismo.
- El estudio permitió demostrar que después de realizado el proceso de irradiación y almacenado bajo la dosis óptima de 8 KGy no se registró viabilidad de los microorganismos durante el almacenaje por 180 días.
- Para la investigación se optó por trabajar con dosis de 2, 4, 6, 8, 10 y 12 KGy, a fin de ver el comportamiento de los microorganismos presentes en la harina de maca al ser sometidas al proceso de irradiación y demostrar si con un dosis óptima específica se lograría asegurar la inocuidad y por consiguiente la calidad del producto. Los reportes de los análisis tanto microbiológicos como estadísticos nos permiten asegurar que efectivamente a dosis de 8 KGy establecida dentro de las hipótesis planteadas y por un tiempo de 68,5 minutos la carga microbiana antes presente se redujo a niveles dentro de los límites permitidos en la normativa peruana.

- Inicialmente cuando se realizó los análisis microbiológicos a la harina de maca, se esperaba que ésta estuviese contaminada para que con ese fin pudiese ser irradiada en una próxima etapa, efectivamente se pudo confirmar la presencia de $5,2 \cdot 10^6$ de AMV, $6 \cdot 10^3$ Mohos, $5 \cdot 10^3$ Levaduras y $4 \cdot 10^2$ Bacillus cereus en unidades formadoras de colonia por gramo (ufc/g). Así mismo no se encontró poblaciones de Escherichia coli y Salmonella. Estos resultados fueron comparados con lo mencionado en la NTP 011.181 de referencia sobre Harina de maca Tostada, confirmándose que los valores de AMV encontrados y mencionados líneas arriba se encuentra por encima de lo estipulado en dicha norma, ya que ésta considera valores que van de $10^4 - 10^5$ ufc/g.
- Al realizar el análisis fisicoquímico para la determinación del pH en la harina de maca antes y después de irradiada, ésta presentó valores iguales a 5,68 y 5,67 respectivamente, los mismos que al ser comparados con Kent, N. (1971) se encontraban dentro del rango 5.5 – 6.5. De igual forma en los análisis proximales, los valores porcentuales obtenidos antes y después del proceso de irradiación no difieren de los descritos en la NTP 011.181. 2008.

- Las características microbiológicas iniciales en la harina de maca presentaron una caída significativa al ser sometidas al proceso de irradiación, por tanto se pudo comprobar que a la dosis de mínima de 2 KGy se logró eliminar por completo las poblaciones de *Bacillus cereus* que inicialmente fueron de $4 \cdot 10^2$ ufc/g.
- Respecto de los análisis sensoriales es necesario mencionar que no hubo diferencias marcadas a dosis de 8 KGy en la evaluación de la harina de maca, como se detalla en la Tabla N° 20.
- De acuerdo a los requisitos microbiológicos referidos en la NTP 011.018 del 2008 y los Criterios Microbiológicos de Calidad Sanitaria e Inocuidad para Alimentos y Bebidas de Consumo Humano (RM 615-2003-SA/DM), los estudios realizados permitieron obtener resultados muy por debajo de los contemplados en dichas normas.
- Efectuado el proceso de irradiación en la harina de maca, se pudo comprobar que tan sólo bastó la dosis de 2 KGy para inactivar las poblaciones de *Bacillus cereus*, persistiendo a ésta misma dosis las poblaciones de aerobios mesófilos viables ($2,6 \cdot 10^5$ ufc/g), mohos (50 ufc/g) y levaduras (62 ufc/g); y que al someterlas a dosis de 12 KGy las poblaciones disminuyeron drásticamente, así tenemos que los aerobios mesófilos viables reportados fueron 180 ufc/g, y que los

valores tanto para mohos y levaduras fueron ausentes. Por otro lado como la dosis óptima de la investigación fue de 8 KGy, cabe mencionar que a ésta dosis las poblaciones de aerobios mesófilos viables, mohos y levaduras fueron: $5 \cdot 10^2$, 8 y 6 (ufc/g) respectivamente. Estos últimos valores, resultan satisfactorios si los comparamos con los obtenidos por el Instituto Peruano de Energía Nuclear (2004), en una investigación realizada acerca de las **Tecnologías de Irradiación Para Mejorar la Calidad de los Productos de Agroexportación**, en el cual los valores para harina de maca irradiada fueron de $5 \cdot 10^2$ ufc/g de AMV, mientras que los mohos y levaduras fueron menor a 10 ufc/g. Finalmente, los análisis microbiológicos realizados durante el tiempo de almacenamiento después de aplicada la dosis óptima de 8 KGy, confirmaron que para el día 30 la población de aerobios mesófilos viables fue de $4 \cdot 10^2$ ufc/g, mientras que para el día 180 fue de $2 \cdot 10^2$ ufc/g, manteniéndose los valores menores a 10 ufc/g para los mohos y levaduras.

- De acuerdo a los resultados obtenidos con la dosis de 8 KGy aplicados a la harina de maca se puede afirmar que ésta nueva tecnología permitió alargar la vida de anaquel, al menos por 180 días de almacenamiento. Otros estudios en irradiación igualmente consideran factible su empleo, así tenemos, que a dosis menores de 4

KGy en hamburguesas congeladas y almacenadas a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ se eliminan microorganismos patógenos como *Escherichia coli* y *Salmonella*, según estudios realizados por la Universidad Santo Tomás (2002) a cerca de la *Utilización de Radiación Ionizante Como Método de eliminación de Microorganismos Patógenos en Hamburguesas*. Y que dosis de 8 KGy en Páprika en Polvo reduce la población de microorganismos aerobios mesófilos de $8,5 \cdot 10^5$ ufc/g a $1,5 \cdot 10$ ufc/g, mientras que los hongos se reducen desde $3,5 \cdot 10^3$ ufc/g hasta 3 ciclos logarítmicos. Estos últimos datos según estudios realizados por el Instituto Peruano de Energía Nuclear (2005) sobre *Evaluación de Páprika en Polvo Irradiado*.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

- 1.** Que en el recuento bacteriano inicial de la harina de maca sin irradiar, sólo los AMV exceden de los límites establecidos en NTP 011. 181 para Harina de maca Tostada, ya que ésta considera un rango de 10^4 a 10^5 y el resultado fue $5,2 \cdot 10^6$ ufc/g.
- 2.** Que la dosis óptima de irradiación que permite estabilizar el producto fue de 8 KGy por un tiempo de 68,5 minutos.
- 3.** Que a dosis de 8 KGy, se observa una disminución de los recuentos bacterianos hasta obtener valores menores de 10 ufc/g para los mohos y levaduras. Asimismo se propicia la reducción de hasta 4 ciclos logarítmicos en las ufc/g para los AMV.
- 4.** El grado de aceptabilidad de la harina de maca a dosis de 8 KGy fue considerado bueno y los panelistas no percibieron diferencias de los atributos sensoriales respecto a la muestra patrón sin irradiar.

CAPITULO VII

RECOMENDACIONES

- 1. Seguir un plan HACCP y las buenas prácticas de manufactura e higiene durante y después de elaborado el producto, para minimizar riesgos y peligros de contaminación microbiana con hongos. A menor contaminación, puede requerirse menor dosis para su descontaminación.**
- 2. El uso de la tecnología de irradiación puede ser utilizada de manera eficiente para reducir cargas microbianas en alimentos secos, ya que pueden verse influidos por poblaciones de mohos y levaduras.**
- 3. La Tecnología de Irradiación puede ampliar y mejorar el acceso de los productos peruanos a los mercados internacionales.**
- 4. Seguir investigando el comportamiento de diferentes productos cuando son expuestos a radiaciones gamma, ya sea con fines de alargar los periodos de vida útil o características particulares.**

CAPITULO VIII

RESUMEN

En este trabajo de investigación se ha obtenido la información técnica, relacionada a la dosis y tiempo de irradiación que requiere una muestra de harina de maca, a fin de estudiar su comportamiento microbiológico para lograr su inocuidad y estabilidad.

Para realizar el trabajo de investigación, fue necesario elaborar harina de maca, utilizando las instalaciones de la empresa Maca Ecológica del Perú, los análisis fisicoquímicos y microbiológicos en el Laboratorio de Microbiología de la Facultad de Ingeniería Pesquera y de Alimentos de la Universidad Nacional del Callao, y finalmente la etapa de irradiación en el Laboratorio de Irradiación del IPEN.

El producto considerado como aquel que reúne las condiciones de inocuidad sanitaria, fue logrado irradiando la harina de maca en bolsas de polietileno a dosis de 8 KGy por un tiempo de 68,5 minutos; dosis considerada óptima ya que al ser comprobada a través de análisis microbiológicos demostró poseer condiciones satisfactorias de calidad. Y que al ser evaluadas en almacenamiento por 180 días no registró viabilidad de microorganismos patógenos.

CAPITULO IX

BIBLIOGRAFIA

- ABDELLAQUI, S.1995. **EFFECTS THE IRRADIATION GAMMA:** Ciencia de los Alimentos. Editorial: Johnston. New York. p.15.
- ALIAGA, C. 1998. **GUÍA PARA EL CULTIVO, APROVECHAMIENTO Y CONSERVACIÓN DE LA MACA, *Lepidium meyenii walpers.*** Convenio Andrés Bello: Serie Ciencia y Tecnología. Lima. p.82.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC 920.85) 1990. **OFFICIAL METHODS OF ANALYSIS:** Determinación de Grasa Total. Washington.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC 960.52) 1990. **OFFICIAL METHODS OF ANALYSIS:** Determinación de Proteínas. Washington.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC 962.09) 1990. **OFFICIAL METHODS OF ANALYSIS:** Determinación de Fibra Bruta. Washington.
- BARBOSA Y COL. 1999. **CONSERVACION NO TERMICA DE ALIMENTOS.** Editorial: Acribia. Zaragoza. p. 47.

- BARBOSA Y COL. 1999. DESHIDRATACION DE ALIMENTOS. Editorial: Acribia. Zaragoza. pp: 23-34.
- BARNA, J. 1979. **COMPILATION OF BIOASSAY DATA ON THE WHOLESOMENESS OF IRRADIATED FOOD ITEMS:** Acta Alimentaria N° 8. p.205.
- BELTRÁN H, BALDEÓN S, CARRILLO E, FUERTES C. 1997. **ESTUDIO BOTÁNICO Y QUÍMICO DE LOS ECOTIPOS AMARILLO Y MORADO DE *Lepidium peruvianum*:** Evaluación de su Toxicidad Aguda. Instituto de Fitoterapia Americano. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima. p. 34.
- BONIER, C. AND R. ALIAGA. 1996. **ANDEAN ROOTS TUBERS:** Paprika. Arracacha, Maca y Yacón. International Plant Genetic Resources Institute. Roma. pp. 173-179.
- BRASCH AND HUBER. 1947. **ULTRASHORT APPLICATION TIME OF PETRATING ELECTRONS.** Editorial: Johnston. New York. pp. 105-112.
- BROGLIE, L. 1961. **CONTINUIDAD Y DISCONTINUIDAD EN FÍSICA MODERNA.** Editorial: Salvad. España. p.67.
- CALDERON, T. 2000. **LA IRRADIACION DE ALIMENTOS:** Principios, Realidades y Perspectivas de Futuro. Editorial: Mc Graw Hill. Madrid. pp: 15 – 35.

- **CHADWICK, K. 1981. DOSIMETRY METHODS:** Curso de Alimentos Irradiados: Lectura N° 12. Editorial: Stevenson. Viena. p.49.
- **COBO, B. 1653. HISTORIAS DEL NUEVO MUNDO.** Tomo I. Editorial: Universal. Lima. pp: 168-173.
- **CODEX ALIMENTARIO. 1991. ALIMENTOS IRRADIADOS:** Colección de Textos Legales. Boletín Oficial de Estado. Editorial: Boe. Madrid. p.15.
- **COLLAZOS, C. 1975. LA COMPOSICION DE LOS ALIMENTOS PERUANOS.** Instituto de Nutrición. Ministerio de Salud. Lima
- **COLLAZOS, C. 1993. LA COMPOSICIÓN DE ALIMENTOS DE MAYOR CONSUMO EN EL PERÚ.** Edición N° 6. Ministerio de Salud- Instituto Nacional de Nutrición. Lima p. 63.
- **CORTES, D. Y J. GUILLERMO. 2005. EVALUACION FUNGICA EN HARINA DE MACA.** Expendio en Mercados Modelo de Ica y Mercado Central de Chincha. Publicado en el V Congreso de Estudiantes de Biología en Cuzco. Version Online ISSN 1727 – 9933. Lima. p. 445.
- **DIEHL, F. 1990. SAFETY OF IRRADIATED FOODS.** Editorial: Stevenson. Viena. p.151.

- DINI, A., G. MAGLIUOLO, L. RASTRELLI, P. SATURNINO AND O. SCETTINO. 1994. **CHEMICAL COMPOSITION OF *Lepidium meyenii*** : Food Chemistry. Editorial: J.Wiley. New York. pp. 34; 347-349.
- ELIAS, P. 1977. **RADIATION CHEMISTRY OF MAJOR FOOD COMPONENTS**. Editorial: Elsevier. Amsterdam. p.123.
- ESPINOZA, C. Y L. POMA. 1995. **DETERMINACIÓN DE AMINOÁCIDOS ESENCIALES DE LA MACA (*Lepidium meyenii*) Y ELABORACIÓN DE UNA MEZCLA PROTEÍCA A BASE DE ALIMENTOS ANDINOS**. Tesis de Ingeniero. Facultad de Ingeniería e Industrias Alimentarias. Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo. p.16.
- FAO. 1981. **MANUALES PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE LOS ALIMENTOS: Análisis Microbiológico**. Italia. p.132.
- FAO/OIEA/OMS. 1981. **COMITÉ MIXTO DE EXPERTOS SOBRE LA COMESTIBILIDAD DE LOS ALIMENTOS IRRADIADOS: Serie de Informes Técnicos N° 659**. Editorial: Boe. Viena. p. 10.
- FARKAS, J. 1990. **PRINCIPIO DE LA IRRADIACION DE ALIMENTOS**. Editorial: Marcel Dekker. New York. pp. 621-627.
- FARKAS, J. 1990. **TRATAMIENTO DE LAS ESPECIES POR IRRADIACION**. Editorial: Marcel Dekker. New York. pp. 13-15.

- FERMI, F. 1958. **LA FISICA NUCLEAR**. Editorial: Universidad de California. Nuevo Mexico. pp: 17-24.
- FIGUEROA, C Y COL. 1979. **EFFECTO DEL PRETRATAMIENTO EN SOLUCIONES DE TRIPOLIFOSFATO EN FILETES DE MERLUZA RADURIZADA**. Informe Interno. p. 47.
- FRAZIER, W. 1993. **MICROBIOLOGIA DE LOS ALIMENTOS**. Editorial: Acribia. Zaragoza. p.312.
- GARAY, C. 1991. **CULTIVO DE LA MACA**. Instituto Nacional de Investigación Agraria y Agroindustrial. Serie Divulgativa. Folleto N° 02/4. Lima
- GARRISON, W. 1987. **REACTION MECHANISM IN THE RADIOLYSIS OF PEPTIDES, POLYPEPTIDES AND PROTEINS**. Revista. Editorial: Reverte. Barcelona. pp: 87, 381-398.
- GORESLINE ET AL. 1964. **TENTATIVE CLASSIFICATION OF FOOD IRRADIATION PROCESSES WITH MICROBIOLOGICAL OBJETIVES**. Editorial: Elsevier. Amsterdam. p.204.
- HAWTHORN, J. 1989. **THE WHOLESOMENESS OF IRRADIATE FOODS**: Aceptación y Control en el Transporte de Alimentos Irradiados: Reporte IAEA. Editorial: Boe. Viena. pp: 12 – 28.
- [HTTP:// WWW.MICROBIOLOGIA.COM](http://www.microbiologia.com). 2007.

- INSTITUTO NACIONAL DE NUTRICIÓN. 1993. **COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS ALIMENTOS CONSUMIDOS EN EL PERÚ**. Lima. p.12.
- INSTITUTO PERUANO DE ENERGIA NUCLEAR (1988). **GUÍA PARA LA FORMULACIÓN Y PRESENTACIÓN DE NORMAS DE SEGURIDAD RADIOLÓGICA**. Lima.
- INSTITUTO PERUANO DE ENERGIA NUCLEAR (IPEN). 2004. **TECNOLOGÍAS DE IRRADIACIÓN PARA MEJORAR LA CALIDAD DE LOS PRODUCTOS DE AGROEXPORTACIÓN**. Lima.
- INSTITUTO PERUANO DE ENERGIA NUCLEAR (IPEN). 2005. **EVALUACION DE PAPRIKA EN POLVO IRRADIADO**. IV Encuentro Científico Internacional de Invierno. Lima. p.131.
- INTERNATIONAL COMMISSION OF MICROBIOLOGICAL SPECIFICATION FOR FOODS (ICMSF). 1983. **ECOLOGIA MICROBIANA DE LOS ALIMENTOS: Técnicas de Análisis Microbiológico**. Tomo N°1. Editorial: Acribia. Zaragoza. pp: 8 – 15.
- IPEN 1996. **DOSIMETRY FRICKE: Método Estandarizado de Sulfato Ferroso**. Editorial: Universal. Lima. p.8.

- **ISBIN, H. 1963. INTRODUCTORY NUCLEAR REACTOR THEORY:**
Comportamiento de las Sustancias Radiactivas. Editorial: Marcel Dekker. New York. p.74.
- **KAPLAN, I. 1958. NUCLEAR PHYSICS.** Editorial: Publishing Co. New York. pp: 32 - 36.
- **KENT, N. 1971. TECNOLOGIA DE LOS CEREALES.** Editorial: Acribia. Zaragoza. p.34.
- **MARTH, E. AND CALANOG, B. 1976. TOXIGENIC FUNGI:**
Microbiología de los Alimentos: Public Health and Spoilage Aspects. Eds. M.P. Defigueiredo and D.F. Splittstoesser, Westport, Editorial: Publishing Co. New York. pp: 44 - 49.
- **MARUYAMA, T. 1988. REASSESSMENT OF GAMMA DOSES FROM THE ATOMIC BOMBS OF HIROSIMA AND NAGASAKI.** Radiat. Res. Editorial: Johnston. New York. pp: 113, 1-14.
- **MINCK, F. 1990. AN HISTORICAL REVIEW OF FOOD IRRADIATION.** Editorial: Johnston: Royal Soc. Of Chemistry. New York. p.53.
- **MURANO, P. 1995. QUALITY OF IRRADIATED FOOD:** Irradiación de Alimentos. Editorial: Murano. Génova. p. 39.

- **NORMA ASTM E 1026. 1995. PRACTICE FOR USING THE FRICKE REFERENCE STANDART DOSIMETRY SYSTEM.**
Vol. 2. Editorial: Academic Press. New York.
NORMA SANITARIA. 2003 (RM N° 615 SA/DM). CRITERIOS MICROBIOLÓGICOS DE CALIDAD SANITARIA E INOCUIDAD PARA LOS ALIMENTOS Y BEBIDAS DE CONSUMO HUMANO.
Lima.
- **NORMA TÉCNICA PERUANA (NTP 011.181). 2008. HARINA TOSTADA DE MACA. (*Lepidium peruvianum* chacón): Definición y Requisitos.** INDECOPI. Lima.
- **NORMA TÉCNICA PERUANA (NTP 209.500). 2001. IRRADIACION DE ALIMENTOS:** Alimentos Irradiados. INDECOPI. Lima.
- **NORMA TÉCNICA PERUANA (NTP. 205.037) 1976. HARINAS:** Determinación del Contenido de Humedad. INDECOPI. Lima.
- **NORMA TÉCNICA PERUANA (NTP. 205.038) 1976. HARINAS:** Determinación del Cenizas. INDECOPI. Lima.

- **NORMA TECNICA PERUANA (NTP. 205.039) 1976.**
HARINAS: Determinación de la Acidez Titulable. INDECOPI. Lima.
- **NORMA TECNICA PERUANA (NTP. 205.043) HARINAS SUCEDANEAS PROCEDENTES DE TUBERCULOS Y RAICES.**
INDECIPI. Lima
- **NORMA TECNICA PERUANA. 2000. NTP-ISO 2859-1.** Tabla II-A: Planes de Muestreo Simple Para Inspección Restringido.
INDECOPI. Lima. pp: 20-24.
- **OMS: COMITÉ MIXTO FAO/OIEA/OMS. 1986.** IV Congreso Sobre Comestibilidad de Alimentos Irradiados. Editorial: Boe. Ginebra. p.12.
- **OMS: FOOD IRRADIATION A TECHNIQUE FOR PESERVING AND IMPROVING THE SAFETY OF FOOD. 1988.** Editorial: Boe. Ginebra. p.23.
- **ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGIA ATOMICA (OIEA). 1992. LA IRRADIACION DE ALIMENTOS:** Hechos y Realidades. Editorial: Boe. Viena. p.42.
- **ORTIN, N. 1983. FACTIBILIDAD TECNICO ECONOMICA Y PERSPECTIVAS COMERCIALES DE LA IRRADIACION DE ALIMENTOS.** Editorial: Acribia. Jaén- España.

- PEREZ, A. 1999. **BOLETÍN TÉCNICO CULTIVO DE LA MACA** (*Lepidium meyenii walpers*). Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima.
- PONCE, D. 1999. **MACA: MEMORIA DEL PRIMER CURSO NACIONAL DE MACA: Avances Logrados en el Mejoramiento Genético de la Maca (*Lepidium meyenii walp*)"**. Editorial: Grupo de Investigaciones Económicas ECO. Lima.
- SANCHEZ, M Y UZCATEGUI, E. 1985. **PRESERVACION DE LOS ALIMENTOS POR IRRADIACION**. Escuela Politecnica Nacional. Editorial: Santé. Quito. pp: 36 – 44.
- SATIN, M. 1996. **FOOD IRRADIATION: A Guidebook**. Technomic. Editorial: Publishing Co. Inc. New York. p. 185.
- TANABE, K. 1993. **EFFECTS OF ELECTRON BEAM IRRADIATION ON CUT FLOWERS**. Editorial: Logman House. Londres. pp: 1-9.
- TELLO, J., M. HERMAN Y A. CALDERÓN. 1992. **LA MACA (*Lepidium meyenii walp.*): Cultivo Alimenticio Potencial Para las Zonas Altoandinas**. Boletín N° 81. Lima. pp: 30 – 66.
- TONON, S. 2000. **CONTAMINACIÓN FUNGICA DEL TE**: Publicado en la Revista de Ciencia y Tecnología. Buenos Aires. pp: 6-13.

- **UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO. 2001. ESTUDIO BROMATOLÓGICO DE MACA.** Boletín. Callao. p. 20.
- **UNIVERSIDAD SANTO TOMAS. 2002. UTILIZACIÓN DE RADIACIÓN IONIZANTE COMO MÉTODO DE ELIMINACIÓN DE MICROORGANISMOS PATÓGENOS EN HAMBURGUESAS.** Comisión Chilena de Energía Nuclear. Revista Nucleotécnica N° 36. p.17.
- **UREÑA ET AL, 1999. EVALUACION SENSORIAL DE LOS ALIMENTOS:** Aplicación Didáctica. Editorial: Acribia. Zaragoza. p. 15.
- **USFDA. 1995. BACTERIOLOGICAL ANALYTICAL MANUAL.** Washington.
- **WITTIG DE PENNA. 2001. EVALUACION SENSORIAL:** Una Metodología Actual Para Tecnología de Alimentos. Editorial: Talleres Gráficos. USACH. Santiago de Chile. p. 73.
- **WOOD, R. 1994. INTERACTION OF RADIATION WITH MATTER.** In Applied Radiation Chemistry: Radiation Processing. Editorial: J. Wiley. New York. p. 67.

CAPITULO X

ANEXOS

10.1 CALCULO DE LAS DOSIS DE IRRADIACION

1. Cálculo de la Fórmula del Decaimiento para Encontrar las Dosis de Irradiación

Fórmula de decaimiento:

$$D_f = D_i e^{-\lambda t / t_1}$$

$$D_f = 19 e^{-0.693 (5 \text{ años}) / 5.27 \text{ años}}$$

$$D_f = 7 \text{ KGy/h}$$

Donde:

- D_f y D_i : Son las tasas de dosis final e inicial
- λ : Es la constante de desintegración
- t_1 : Tiempo de vida media del Co-60
- t : Tiempo transcurrido desde la adquisición hasta la fecha del experimento.

Así, para la dosis de 2 KGy el resultado fue:

7 KGy \longrightarrow 60 min.

2 KGy \longrightarrow X

$$X = 17,1 \text{ min.}$$

Para la dosis de 4 KGy el resultado fue:

7 KGy \longrightarrow 60 min.

4 KGy \longrightarrow X

$$X = 34,2 \text{ min.}$$

Para la dosis de 6 KGy el resultado fue:

7 KGy \longrightarrow 60 min.

6 KGy \longrightarrow X

$$X = 51,4 \text{ min.}$$

Para la dosis de 8 KGy el resultado fue:

7 KGy \longrightarrow 60 min.

8 KGy \longrightarrow X

X = 68,5 min.

Para la dosis de 10 KGy el resultado fue:

7 KGy \longrightarrow 60 min.

10 KGy \longrightarrow X

X = 85,7 min.

Para la dosis de 12KGy el resultado fue:

7 KGy \longrightarrow 60 min.

12 KGy \longrightarrow X

X = 102,8 min.

2. Determinación de la Actividad de la Fuente

La actividad inicial (A_0) de la fuente de cobalto 60 del Gammacell 220 en Setiembre del 2003 fue de 20×10^3 (Ci) curie, una tasa de dosis de 19 KGy/H (en aire) y una vida media de Co-60 de 5.27 años.

La actividad final (A) a la fecha del experimento, 11 marzo del 2008 será:

$$A = A_0 \times e^{-\lambda \cdot t}$$

Pero : $\lambda = \text{Ln}2/(T_{1/2})$

Siendo $T_{1/2}$ el tiempo de vida media

t : tiempo transcurrido a la fecha del experimento

Entonces: $A = 20 \times 10^3 \text{ Ci} \times e^{-0.693 \times 5 / 5.27}$

$$A = 10,36295 \times 10^3$$

10.2 ANALISIS DOSIMETRICOS

1. Dosímetro Utilizado

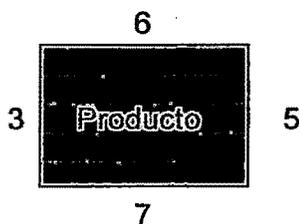
Generalmente el Laboratorio del IPEN utiliza la técnica de Dosimetría Fricke, que consiste en colocar dosímetros Fricke en posiciones de interés (estos dosímetros son ampollas de vidrio conteniendo 5 ml. de solución de sulfato ferroso en medio ácido y sometidos a un campo de irradiación), acompañando al producto dentro del cilindro del irradiador.

Los iones ferrosos son oxidados a iones férricos principalmente por acción indirecta de la radiación gamma. Los iones férricos pueden ser cuantificados por espectrofotometría, a mayor concentración de iones férricos, mayor dosis. Las lecturas de densidad óptica son determinadas a una longitud de onda de 302,5 nm.

2. Distribución de la dosis

Los dosímetros se colocan en 4 posiciones: el cilindro ingresa a la cámara de irradiación en forma vertical, por lo tanto en la figura presentada a continuación la posición 6 corresponde al extremo superior.

Se hacen 5 repeticiones con diferentes tiempos de irradiación (30, 60, 90, 120 y 150 s.), conformando un total de 20 dosímetros.



3. Lectura e interpretación de los resultados

La dosis absorbida se cuantifica en Gy. La dosis máxima (D máx.) y la dosis mínima (D mín.) que guardan una relación directa con los resultados del valor dado en el espectrofotómetro.

La uniformidad de la dosis (UD) viene a ser la relación que hay entre la dosis máxima y la dosis mínima.

La tasa de dosis o velocidad de dosis viene a ser la dosis aplicada en la unidad de tiempo, esta tasa de dosis se determina mediante regresión lineal, considerándose un tiempo promedio entre las dos dosis más elevadas y las dos menores.

El coeficiente de correlación indica la reproductibilidad del método dosimétrico.