

Irradiación de carne molida de res destinada para la elaboración de hamburguesas para determinar los beneficios técnicos y económicos del proceso

Francisco Salgado y Edison Estévez
Departamento de Ciencias Nucleares (DCN)
francisco.salgado@epn.edu.ec

Resumen

En el Ecuador, entre las principales causas de enfermedades gastrointestinales, especialmente en la población infantil, se encuentra la ingestión de alimentos en malas condiciones sanitarias. Uno de los vectores de esta contaminación es el consumo de carne molida, sobre todo la que se utiliza para la preparación de hamburguesas. La irradiación con energía ionizante es un método mediante el cual se puede disminuir la contaminación microbiana de alimentos. En este proyecto se analizó muestras de carne molida proveniente de un mercado popular, en las cuales se detectó la presencia de *Escherichia coli* y coliformes totales en valores de $1,1 \times 10^4$ para los dos casos. Se realizó un estudio del efecto de irradiación gamma sobre carga microbiana de Enterobacterias presentes, para lo cual se utilizó la fuente de Cobalto 60 de la EPN, con dosis de: 0; 500; 750; 1 000; 1 250 y 1 500 Gy. Posteriormente se cuantificó los recuentos bacterianos, por medio de placas Petrifilms. El valor D10 encontrado para *Escherichia coli* y coliformes totales fue de 380 grays, y la dosis óptima obtenida fue de 1 500 grays. Adicionalmente se realizó un análisis organoléptico de las muestras irradiadas por medio de un panel sensorial, el mismo que evaluó muestras tratadas con 0 y 1 500 grays. Cada persona degustó 25 g de cada muestra y evaluó: apariencia, color, aroma, textura, sabor y jugosidad. Estadísticamente ningún atributo mostró diferencias significativas (0,05) entre la muestra tratada y el control. Además, las hamburguesas fueron calificadas en un nivel de aceptabilidad bueno. Finalmente, se realizó una estimación el costo total del proceso, para una actividad de la fuente de 100 000 Ci.

Palabras claves: Gamma, irradiación de cárnicos, *Escherichia coli*, coliformes totales.

Abstract

In Ecuador, one of the main causes of gastrointestinal diseases, especially in children, is the ingestion of food in unsanitary conditions. One of the vectors of this pollution is the consumption of ground beef, especially that used for the preparation of hamburgers. Ionizing irradiation is a method which can reduce the microbial contamination of food. In this project, samples of ground meat from a popular market were analyzed, and it was find the presence of *Escherichia coli* and total coliforms, with values of $1,1 \times 10^4$ for the two cases. Then, a study of the effect of gamma irradiation on microbial load of Enterobacteria present was conducted with the Cobalt 60 source of the EPN at doses of: 0, 500, 750, 1 000, 1 250 and 1 500 Gy. Subsequently, bacterial counts were measured by means of Petrifilms plates. The D10 value found for *Escherichia coli* and total coliforms was 380 grays, and the optimum dose was obtained in 1 500 grays. Additionally, irradiated samples were organoleptically analyzed by a sensory panel, which evaluated the same samples treated with 0 and 1 500 grays. Everyone tasted 25 g. of each sample and evaluated the appearance, color, smell, texture, flavor and juiciness. No statistically significant differences (0,05) between treated and control sample were attributed. Also, the hamburgers were rated on a good level of acceptability. Finally, an estimate of the total cost of the process for an activity of 100 000 Ci source was calculated.

Keywords: Gamma radiation, irradiation of meat, *Escherichia coli*, total coliforms.

1 Introducción

La carne molida es un producto triturado de tejido animal. Todo tejido muscular animal es alto en proteínas de alto valor biológico siendo fuente de aminoácidos esenciales. Su contenido de grasa puede variar de animal a animal dependiendo de la especie, la raza, su procedencia anatómica, el método de manejo, etc. La carne moli-

da provee un ambiente ideal para el crecimiento microbiano, ya que, podría contener un mayor número de bacterias que el corte entero de carne debido a que presenta un área superficial mayor, a la contaminación cruzada y a la contaminación proveniente de utensilios y maquinaria con prácticas de limpieza inadecuadas.

Además de bacterias patógenas, la carne molida contiene una microflora normal de bacterias que causan de-

terio. Estas se incluyen en recuentos aeróbicos totales y bacterias del grupo Enterobacteriaceae (*Escherichia coli*, *Enterococcus*, *Enterobacter*, *Klebsiella* y *Proteus*). Recuentos altos en el orden de 10⁴ de estas bacterias, provocan un deterioro rápido de la carne molida, por consiguiente, una vida útil corta (NTE INEN 136:2010).

La Agencia de Administración de Alimentos y Drogas (FDA) de los Estados Unidos aprobó la irradiación de carne roja en diciembre de 1997. Se ha demostrado en varias investigaciones la eficiencia del tratamiento de irradiación para el mejoramiento de la calidad de la carne, especialmente para el control de *Escherichia coli* O157 : H7, *Salmonella* y para otro tipo de microorganismos patógenos, que son la causa de enfermedades en la población y en muchos casos de muertes. Estados Unidos aprobó la irradiación de carne molida fresca y congelada de res hasta una dosis de 3 kGy para controlar ciertas bacterias comunes en la carne que pueden causar enfermedad cuando la carne no está bien cocida o es mal manipulada [7].

El costo del tratamiento por irradiación esta en el orden de USD 0,02 y USD 0,40 por kilogramo, este margen se debe a variables que intervienen en cualquier operación de irradiación. Entre ellas figuran las dosis de irradiación empleadas, el volumen, tipo de producto, rendimiento de la fuente de radiación, dedicación de la planta a uno o varios productos alimentarios, etc. El valor de una planta de irradiación lo bastante grande para que sea rentable puede llegar a costar varios millones de dólares [8].

Esta es una tecnología multifuncional, que permitiría ampliar la duración de la conservación de los principales alimentos perecederos, evitando su pérdida por deterioro, y que contribuiría positivamente a la protección de la salud pública, minimizando los riesgos que representan los microorganismos patógenos contenidos en los productos alimenticios [12].

El propósito de esta investigación es analizar el efecto del proceso de irradiación gamma con una fuente de Cobalto 60 sobre la carga microbiana de *Escherichia coli* y coliformes totales presentes en la carne molida que se comercializa localmente. Además, proyectos de investigación como éste podrían servir de base para que la industria de carne molida tome en consideración este tratamiento como una medida para el control de estas bacterias en el producto.

2 Material y métodos

2.1 Materiales

Las muestras de carne fueron transportadas al laboratorio en recipientes con hielo a temperatura de 5 °C.

Se utilizó la fuente de Cobalto 60 de la EPN, con una actividad de 3 000 Ci. Las muestras se pesaron en una balanza de precisión (BOECO).

Las muestras fueron sometidas a un proceso de cuantificación por medio de placas Petrifilms 3 M después de

haber realizado una homogeneización y posteriores diluciones en una cámara de flujo laminar, e incubadas en una estufa (MEMMERT) a 35 °C y cuantificadas después de 48 horas en un contador de colonias (QUEBEC).

2.2 Métodos

2.2.1 Selección de lugar de estudio

La selección de la carne molida se la realizó mediante el muestreo a nivel de: mercado popular, supermercado, terrena barrial y matadero municipal, que representan centros de expendio masivo en la ciudad de Quito. Se escogieron cuatro establecimientos considerando su precio, calidad, ubicación, entrega y volúmenes de venta. Para la determinación de un solo lugar de muestreo del estudio, se realizó un análisis de grasa, proteína y carga bacteriana para detectar cuál de estos parámetros se ajusta o no a las normas sanitarias establecidas por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) y por la Comisión Internacional de Especificaciones Microbiológicas de Alimentos (ICMSF).

Todo el proceso que se describe a continuación fue realizado bajo estrictas condiciones de asepsia de materiales, instrumentos, soluciones, etc., así como toda la manipulación de las muestras.

2.2.2 Preparación de la muestra

El transporte de las muestras se realizó inmediatamente después de adquirirlas en el lugar de expendio y se las trasladó al laboratorio de estudio en un recipiente con hielo.

Se tomaron muestras de 2,5 kg que después de homogeneizarlas, se las dividió en seis porciones de 0,5 kg y se los colocó en recipientes plásticos, cada una para los tratamientos a diferentes dosis. Este proceso se realizó por 10 repeticiones, una por semana durante 10 semanas, con la finalidad de que los datos analíticos sean representativos.

2.2.3 Tratamiento de la muestra

Los análisis iniciales se realizaron en el Departamento de Ciencias de Alimentos y Biotecnología (DECAB). Los recuentos de coliformes se los efectuó según la [9] usando el caldo Lauril Sulfato, caldo EC y caldo verde brillante Bilis-Lactosa. El conteo se realizó 24 horas después de la siembra. Posteriormente, luego de la irradiación se utilizó el método establecido por la Norma INEN 756 y el método AOAC 991.14 para análisis microbiológico de cárnicos y productos cárnicos.

2.2.4 Determinación de la dosis óptima

Para determinar la dosis óptima, la carne fue irradiada con : 0, 500, 750, 1 000, 1 250, 1 500 Gy. Las muestras fueron sometidas a controles microbiológicos para la cuantificación de *Escherichia coli* y coliformes totales. Los resultados fueron comparados con la carga microbiana má-

xima que las normas INEN y ICMSF recomiendan. Se determinó la dosis óptima de acuerdo a dos criterios:

1. Contaje total de *Escherichia coli*: El número de bacterias debe ser mínimo 100 ufc/g.
2. Contaje total de coliformes totales: La contaminación para que la carne se la considere como apta para el consumo debe ser menor que 100 ufc/g.

2.2.5 Evaluación sensorial

La prueba sensorial se realizó con un panel de 15 personas semientrenadas, las muestras con un peso de 25 g fueron envueltas en papel aluminio y entregadas a una temperatura de 50 °C, previamente cocinadas por 30 minutos. El método utilizado fue el de comparación múltiple, que consiste en entregar tres muestras codificadas a cada panelista para su comparación una de ellas representa la referencia (R) y dos muestras más con el tratamiento de irradiación a 1 500 Gy.

2.2.6 Evaluación de costos

La estimación de costos fue realizada a nivel de prefactibilidad, es decir, una aproximación sin estimación de datos de ingeniería de detalle, y se basó en la distribución proyectada de la planta, características y costos de los equipos principales a implementarse, el costo del decaimiento anual de la fuente, el costo de la maquinaria y equipos, el costo del personal administrativo y el costo de servicios básicos, todos proyectados a la utilización del 5 % destinada a productos cárnicos a ser irradiados con una actividad de fuente de 100 000 Ci.

3 Análisis

3.1 Análisis de los puntos de muestreo

Los resultados microbiológicos de los sitios de expendio se muestran en la Tabla 1. Se escogió el establecimiento 4 que presenta valores de Enterobacterias superiores a $1,1 \times 10^4$.

Muestra	Analito	Unidades	Resultados
Establecimiento 1	Coliformes Totales	N.M.P/g	$> 1,1 \times 10^4$
Establecimiento 2			$> 1,1 \times 10^4$
Establecimiento 3			$1,1 \times 10^4$
Establecimiento 4			$> 1,1 \times 10^4$
Establecimiento 1	Coliformes Fecales	N.M.P/g	$> 2,4 \times 10^2$
Establecimiento 2			$> 1,5 \times 10^3$
Establecimiento 3			$1,5 \times 10$
Establecimiento 4			$> 1,1 \times 10^4$
Establecimiento 1	<i>Escherichia coli</i>	Positivo/Negativo	Positivo
Establecimiento 2			Positivo
Establecimiento 3			Positivo
Establecimiento 4			Positivo

Tabla 1. Resultados microbiológicos preliminares.

3.2 Análisis de la dosis óptima

El tratamiento con 1 500 Gy, indica una remoción del 99,99 % asegurando considerablemente una reducción de 4 ciclos logarítmicos con respecto a la carga inicial (Figura 1).

En referencia a la cuantificación de *Escherichia coli* y coliformes totales con el uso de: 0, 500, 750, 1 000, 1 250, 1 500 Gy, se obtuvo como dosis óptima las muestras sometidas a 1 500 Gy, la respuesta de las bacterias a las diferentes dosis se muestran en la Figura 2, la curva de regresión indica que existe una relación causa-efecto inversamente proporcional entre las dosis de irradiación absorbida por la biomasa microbiana y la tasa de supervivencia.

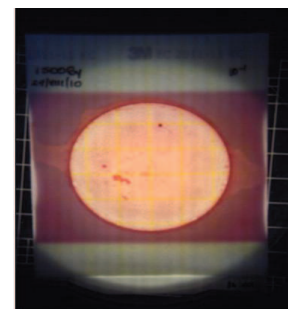


Figura 1. Placa Petrifilm del contaje de la muestra sometida a 1500 Gy.

El valor D_{10} encontrado fue de 380 Gy, valor que indica la dosis necesaria para reducir la población microbiana en un ciclo logarítmico, como se muestra en la Tabla 2.

<i>Escherichia coli</i>			Coliformes Totales		
Dosis (Gy)	No (ufc/g)	log No	Dosis (Gy)	No (ufc/g)	log No
0	$3,36 \times 10^4$	4,53	0	$8,21 \times 10^4$	4,91
500	$1,39 \times 10^3$	3,14	500	$2,78 \times 10^3$	3,44
750	$1,39 \times 10^2$	2,14	750	$2,59 \times 10^2$	2,41
1 000	$1,99 \times 10^1$	1,00	1 000	$4,96 \times 10^1$	1,70
1 250	$1,00 \times 10^1$	1,00	1 250	$2,00 \times 10^1$	1,30
1 500	$9,96 \times 10^0$	1,00	1 500	$9,96 \times 10^0$	1,00

Tabla 2. Concentraciones de carga de *Escherichia coli* y coliformes totales.

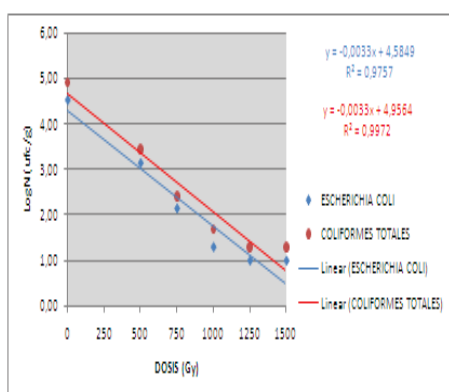


Figura 2. Variación de supervivencia microbiana sometida a 0, 500, 750, 1000, 1250, 1500 Gy.

La irradiación 1500 Gy no altera significativamente el valor nutricional de proteínas, carbohidratos, minerales o grasas saturadas. Las reacciones de oxidación pueden conducir a la pérdida de ácidos grasos insaturados esenciales. Estas reacciones también pueden potenciar las reacciones autoxidativas de los lípidos generando sabores rancios. Por ello, los alimentos con un elevado grado de insaturación no parecen ser apropiados para aplicarles irradiación. Estos datos se muestran en la Tabla 3.

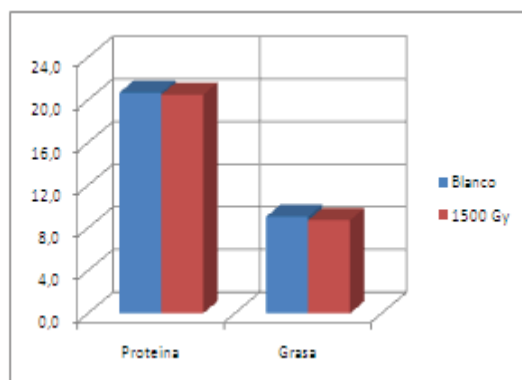


Figura 3. Contenido de grasa y proteína de carne molida sometida a 0 y 1 500 Gy.

Muestra	Analito	Unidades	Resultados
Blanco	Proteína	(%) (g/100g)	20,50
	Extracto etéreo	(%) (g/100g)	11,80
1500 Gy	Proteína	(%) (g/100g)	16,88
	Extracto etéreo	(%) (g/100g)	9,06

Tabla 3. Resultados de grasa y proteína de carne molida sometida a 0 y 1 500 Gy.

3.3 Análisis de prueba sensorial

Se realizó un análisis ANOVA y no se encontró diferencia significativa entre las calificaciones de la muestra referencia (R) y la muestra tratada con irradiación. Los análisis fueron realizados con un nivel de probabilidad del 95 %, para atributos estudiados. Se observó que las muestras irradiadas tienen calificaciones ligeramente menores que la referencia, pero no se encuentra diferencia estadísticamente significativa, para los atributos de aroma, sabor, jugosidad, color, textura y apariencia. Con base en esto se concluyó que, el proceso no afecta a las características sensoriales que se evaluaron. Los resultados de estos análisis se muestran en la Tabla 4.

Parámetro evaluado	N	Referencia (valor promedio)	1500 Gy (valor promedio)
Apariencia (mejor-peor)	15	4,63	5,16
Aroma (intenso-débil)	15	5,27	4,40
Sabor (intenso-débil)	15	5,34	4,78
Color (más oscuro-más clara)	15	5,34	5,68
Jugosidad (muy jugosa-seca)	15	5,52	4,80
Textura (dureza: tierna-dura)	15	5,19	4,51

Tabla 4. Resultados de análisis sensoriales de las muestras de carne sometidas a 0 y 1 500 Gy.

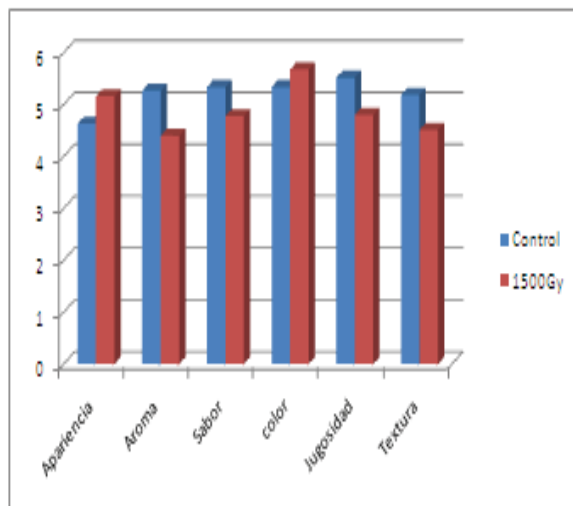


Figura 4. Análisis sensoriales de muestras de carne tratadas.

3.4 Análisis de costos

Los costos anuales de operación (fijos + variables) para una instalación con una actividad de 100 000 Ci fueron estimados en 7 101,03 dólares. El costo de irradiación por cada kg fue establecido en 0,20 dólares. El punto de equilibrio fue de 35505,1 kg de carne que se debería irradiar al año (Figura 5). Según las condiciones y capacidades de la proyección, este sistema promete niveles de rentabilidad aceptables y competitivos respecto a otros métodos de conservación, ya que, el costo por kgde carne no superaría el 10% del precio de venta de carne molida destinada a la preparación de hamburguesas en el mercado ecuatoriano.

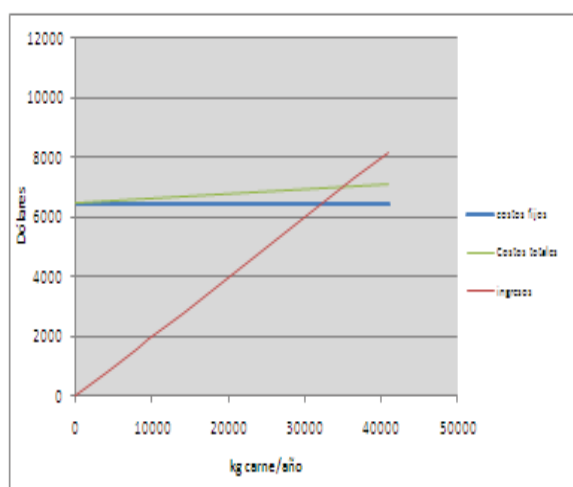


Figura 5. Punto de equilibrio.

4 Conclusiones

1. Se detectó la presencia microbiana de Enterobacterias como *Escherichia coli* y coliformes totales en carne molida destinada a la preparación de hamburguesas, con valores de $1,1 \times 10^4$ y $1,1 \times 10^4$ respectivamente, según el reporte de análisis realizado por el DECAB, lo que pone en evidencia eventuales causas de trastornos gastrointestinales.
2. Se verificó una disminución de los recuentos bacterianos de *Escherichia coli* y coliformes totales, con una dosis óptima de 1 500 Gy, logrando una disminución en 4 ciclos logarítmicos de carga bacteriana, valores que coinciden con trabajos y datos encontrados en la bibliografía recopilada. Se determinó que el D_{10} fue de 380 Gy para *Escherichia coli* y coliformes totales.
3. Con la aplicación del tratamiento de irradiación a una dosis de 1 500 Gy, las propiedades sensoriales de la carne molida no se ven afectadas en forma significativa, según demuestran los resultados del análisis sensorial realizado entre el producto sometido a la irradiación y el de referencia.
4. Las dosis óptimas encontradas para la eliminación de *Escherichia coli* y coliformes totales son muy inferiores a los límites permitidos, para la irradiación de productos cárnicos, por organismos internacionales como la FAO, OMS.
5. Partiendo de las estimaciones y consideraciones en el presente trabajo, se concluye que en la práctica, las ventajas que ofrece la irradiación hacen que su costo sea competitivo, ya que el costo por kgde carne irradiada, sería de 0,20 USD, costo que no representa ni el 10% adicional del valor por kg de carne molida que se expende en el mercado. El punto de equilibrio se encontró en 35 505,10 kg/año, para una actividad de la fuente de 100 000 Ci de Cobalto 60.

Referencias

- [1] Carballo, B., 2001 *Tecnología de la carne y de los productos cárnicos*. 1era edición, Editorial Mundi - Prensa, España, pp. 85, 86, 87.
- [2] Clavero, M., Monk, J., Beuchat, R., Doyle, M., and Brackett R., 1994 *Inactivation of Escherichia coli O157:H7, Salmonellae, and Campylobacter jejuni in raw ground beef by gamma irradiation*. <http://ukpmc.ac.uk/articles/PMC201603/page=1>. (Septiembre, 2010).
- [3] Depetris, J., 2000 *Calidad de la carne vacuna*, http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/carne_y_subproductos/12-calidad_de_la_carne_vacuna.pdf, (Diciembre, 2010).

- [4] Fairand, B., 2002 *Radiation Sterilization for health care products*. United States of America, pp. 29 - 41.
- [5] Fellows, P., 2000 *Tecnología del procesado de los alimentos*. 2da. edición, Editorial Acribia, Zaragoza, España, pp. 234-248.
- [6] Larrañaga, I., Carballo, J., Rogriguez M., Fernandez, J., 1999 *Control e higiene de los alimentos*. Editorial Mc Graw Hill, Madrid - España, pp. 319, 322.
- [7] Loaharanu, P., 2001 *Creciente demanda de alimentos inocuos*. Revista Trimestral del Organismo Internacional de Energía Atómica, 43 (2), 37.
- [8] Manual de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), 1990. *La irradiación de los alimentos. Técnicas para conservar y preservar la inocuidad de los alimentos*. pp. 19 - 58.
- [9] Manual ICMSF., 1996 *Ecología microbiana de los productos alimentarios*. Editotial Acribia, Zaragoza - España, pp. 37 - 40.
- [10] Método Oficial AOAC 991.14. *Instructivo Técnico de Análisis/Ensayo para recuentos de Coliformes y Escherichia coli mediante técnica Petrifilm*.
- [11] Molis, R., 2001 *Irradiation of meats and poultry*. in food irradiation: Principles and Applications. Editado por: Wylen-Intersciencie, New York, pp. 131 - 173.
- [12] Moy, G., 1992 *Enfermedades trasmitidas por los alimentos y función preventiva de la irradiación de alimentos*. Revista trimestral del Organismo Internacional de Energía Atómica, pp 34 - 39.
- [13] Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 765. *Carne y productos cárnicos. Bacterias coliformes y Escherichia coli*.
- [14] Ordoñez, A., Cambero M., Fernandez, L., García, M., Selgas, M., 1998 *Tecnología de alimentos de origen animal* 2da edición, Editorial Sintesis, España, pp.197, 198, 204, 205.
- [15] Prescott, M., Harley, P., Klein, A., 2004 *Microbiología*. 5ta edición, España, pp.,154.
- [16] Sedeh, F., Arbabi, K., Fatollahi, H., y Abhari, M., 2007 *Using gamma irradiation and low temperature on microbial decontamination of read meat in Iran* Indian Journal of Microbiology, 47 ,72.
- [17] Stabin, M., 2008 *Radiation protection and dosimetry and introduction to health physics*. pp. 30-34, 70-74.
- [18] Vestal, T., Dainello, F., 2004 *La ciencia y aplicación de la tecnología de irradiación con rayos de electrones*.