



MX9900107

INIS-NA - - 130

## ***Rentabilidad de Plantas de Irradiación***

**Ma. Emilia Bustos R.<sup>1</sup>, Carlos González F.<sup>2</sup>,  
Gustavo Liceaga C.<sup>1</sup> y Gabriel Ortiz A.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares

<sup>2</sup>Cámara Nacional de la Industria de la Transformación  
México

### ***Resumen***

*En cualquier proceso industrial se busca una rentabilidad atractiva, que sea satisfactoria desde el punto de vista empresarial y social. El uso de la tecnología de irradiación en alimentos permite conservarlos higiénicamente, lo que con lleva a un abasto de alimentos sin riesgo para la salud y a un incremento o apertura de nuevos mercados y en general a una reducción de pérdidas. En otros productos —cosméticos o desechables de uso médico— que se esterilizan por irradiación, este proceso permite que sean usados por el consumidor con toda la seguridad.*

*El costo de la inversión de una planta de irradiación depende principalmente del tamaño de la planta y de la recarga del material radiactivo que principalmente es Co-60 y estos dos parámetros están en función del tipo de productos a irradiar y de las dosis seleccionadas.*

*En este trabajo se presenta el cálculo económico y el costo del financiamiento para diferentes capacidades de plantas y diferentes productos. En términos generales se determina una utilidad adecuada que indica que este proceso es rentable. De acuerdo a las condiciones económicas y comerciales del país se consideraron dos tipos de crédito para el financiamiento de estos proyectos. Uno utilizando recursos de crédito internacional y otro con crédito nacional.*

### ***Antecedentes***

En el mundo la esterilización por irradiación de productos médicos desechables se inicia en los años 60. En México este servicio se ofrece a partir de 1980 en el Irradiador de Co 60 modelo JS-6500 ubicado en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) —manufacturado por la Compañía Nordion de Canadá— que en 1986 inicia el servicio de irradiación para la



descontaminación de especias, condimentos y en general alimentos secos o deshidratados. Ese año se irradiaron 300 ton de estos alimentos procedentes de 6 compañías.

Las ventajas que ofrece esta tecnología con respecto al uso de la fumigación química con el óxido de etileno o el empleo de calor para la descontaminación de estos productos, ocasionaron que el número de usuarios se incrementara de tal manera, que para el siguiente año se registraron 700 ton y así sucesivamente hasta llegar a la máxima capacidad de la planta.

En la actualidad, hay empresarios y productores de alimentos que tienen la inquietud de saber cuál es el costo de inversión para un planta de irradiación. Además, el surgimiento de otros problemas como la suspensión del dibromuro de etileno (DBE), fumigante químico utilizado en frutas de exportación —como el mango y cítricos que tienen restricciones cuarentenarias para el comercio con los Estados Unidos— ponía en riesgo las exportaciones de estos productos si no se encontraba una alternativa rápida de solución. Por los resultados reportados, se sabía que la radiación ionizante es efectiva para inhibir el ciclo biológico de los insectos y se vislumbra con mucha seguridad el empleo de radiaciones como método de desinfestación. Adicionalmente, como en el irradiador del ININ no se pueden tratar productos frescos, el interés por conocer el costo de inversión y los niveles de rentabilidad para una planta de irradiación aumentaban, por lo que se pensó en hacer una evaluación económica para los diferentes tipos de producto.

### Cálculo económico

El proceso de radiación permite tratar una gama muy amplia de productos con diferentes objetivos (tabla 1). Desde la dosis más pequeña para la inhibición de brotes hasta la dosis de esterilización para los productos medicos y desechables. Ya que se tiene un intervalo de dosis de dos órdenes de magnitud, tener un irradiador para toda la gama de productos podría no ser muy eficiente y/o poco práctico.

**Tabla1**  
**Aplicaciones de la irradiación de productos**

Producto	Beneficio	Dosis máxima
Bulbos, raíces y tubérculos	Inhibir la brotación	0.2
Frutas y vegetales	Prolongar la vida de anaquel	2.5
	Tratamiento cuarentenario	1.0
Cereales y sus productos	Control de insectos	1.0
Pescado crudo, productos del mar y sus derivados	Reducción de microorganismos patógenos	5.0
Pollo crudo y sus productos	Reducción de microorganismos patógenos	7.0
Cosméticos, materias primas	Descontaminación	10.0
Antigüedades	Preservación	10.0
Especias, condimentos, hierbas, productos deshidratados	Disminuir carga microbiana	30.0
Desechables de uso médico	Esterilización	30.0
Alimentos almacenados a temperatura ambiente	Esterilización	70.0
Plásticos	Mejoramiento de propiedades físicas	>10
Productos farmacéuticos	Esterilización	>10



En este trabajo se estimaron los niveles de utilidad sobre ventas e inversión para cuatro irradiadores que trabajan con fuentes de Co-60 de actividades diferentes, lo cual permite irradiar productos en intervalos de dosis más específicos. En la tabla 2 se presenta el cálculo económico para irradiar anualmente 60,000 ton de frutas y hortalizas con fines de desinfección o incremento o de vida de anaquel en un intervalo de 0.05- 0.3 kGy; en la tabla 3 se presenta el ejercicio para una planta de irradiación de productos del mar y cárnicos en un intervalo de dosis de 1 -7kGy. En la tabla 4 se presenta el ejercicio para irradiar 15,000 ton de alimentos y/o cosméticos tratados de 5 a 10 kGy. Y en la tabla 5 una planta para la esterilización de 7,500 ton de productos médicos y desechables.

### Costo de inversión

Para las cuatro plantas se consideró el mismo tamaño de terreno —6, 000 m<sup>2</sup>— y una área de construcción de 4,400m<sup>2</sup>, de 110 m x 40 m. En la figura 1 se muestra el área asignada a cada una de las instalaciones que componen la planta de irradiación: el patio de maniobras, los almacenes de producto irradiado y no irradiado, los compresores, el taller de refacciones, baños y vestidores, el área del comedor, oficinas, laboratorios, estacionamiento y el irradiador. Además de calcular el costo del terreno, la construcción y el equipo necesario, la carga de Co-60 se calcula de acuerdo a la capacidad de la planta y es precisamente este rubro el parámetro más significativo en el aumento en el costo de inversión.

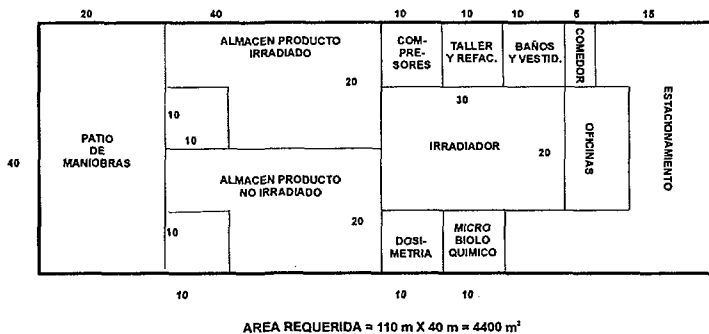


Figura 1. Área asignada a cada una de las instalaciones que componen la planta de irradiación.

### Costo de operación

Para el cálculo de este costo se toma en cuenta la recarga del material radiactivo que es el 12% de la carga inicial de Curies de Co-60, además de salarios, servicios, mantenimiento y refacciones así como los suministros de operación y los gastos de administración y operación.

### Costo de depreciación

La depreciación, es decir, la disminución en el valor de los activos fijos de la planta se calculó de acuerdo a los siguientes porcentajes: maquinaria y equipo, 7%; equipos de alto desgaste, 20% y obra civil 3%.

El tiempo de operación anual de la planta de irradiación se consideró de 8000 hrs.



La cantidad de Curies (Ci) de Co-60 que se requieren, de acuerdo al rango de dosis, se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$C_i = \frac{187 \times D \text{ (Mrad)} \times \text{Capacidad (kg/hr)}}{\text{eficiencia}(n)(\%)}$$

El costo unitario = costo total del proceso / volumen anual

Costo total del proceso = costos de operación + depreciación

La utilidad bruta = ventas del servicio - costo total del proceso.

La utilidad neta = Utilidad bruta - impuestos<sup>1</sup>

### ***Venta del servicio de irradiación***

Con base en la información obtenida de la venta del servicio de irradiación, los precios, que están en función de las dosis aplicadas pueden ser:

\$ 50 US/ton, para la frutas y vegetales.

\$ 170 US/ton para productos del mar y cárnicos.

\$ 200 US/ton para alimentos y cosméticos.

\$ 600 US/Ton para productos médicos y desechables.

Con el valor de la utilidad neta, se obtiene la utilidad sobre ventas y la utilidad sobre la inversión.

### ***Factibilidad financiera***

De la tabla 6 a la 9 se presentan los ejercicios para ilustrar las posibles alternativas de factibilidad financiera para este proyecto.

De acuerdo a los resultados obtenidos de la utilidad sobre la inversión en cualquiera de los 4 tipos de instalaciones, se observa que si se hace una inversión directa, el capital se amortiza en 4 años.

Con recursos de tasas de interés internacionales, usando relaciones de capital fresco, crédito de 50/50 o de 25/75, el proyecto es perfectamente rentable, para amortizarse en cinco años.

Con recursos de crédito nacional base (UDI) S NAFIN influido para las altas tasas de interés más la incertidumbre del factor inflacionario, cualquier corrida financiera demuestra que este crédito para cualquier proyecto es un trampa y prácticamente impagable.

---

<sup>1</sup> En México los impuestos correspondientes son: 35% de impuesto sobre la renta y 10% sobre la utilidad del trabajo = total 45%



**Tabla 2**  
**Cálculo económico de un planta para irradiación de frutas y hortalizas**

Operación anual		8,000 horas
Dosis		0.05 - 0.3 kGy
Capacidad		60,000 ton
Cobalto		60,000 Ci
Costo de inversión	Edificios y construcciones	\$1'993,471.50
	Irradiador y carga	1'761,450.00
	Maquinaria y equipo	698,000.00
	Cobalto 60	90,000.00
	Inversión diferida	382,434.00
	Capital de trabajo	183,176.00
	<b>Total</b>	<b>5'108,531.50</b>
Costos de operación	Recarga del cobalto	11,250.00
	Salarios	320,400.00
	Servicios	22,677.00
	Mantenimiento y refacciones	172,952.00
	Suministros de operación	52,201.00
	Administración y capacitación	183,785.00
	<b>Total</b>	<b>763,265.00</b>
Depreciación	Edificios y construcciones	56,801.54
	Maquinaria	161,754.95
	Equipo	16,568.00
	<b>Total</b>	<b>235,124.49</b>
Costo total del proceso	Costos de operación	763,265.00
	Depreciación	235,124.00
	<b>Total</b>	<b>998,389.00</b>
Costo unitario (\$US/ton)		16.64
Ventas del servicio de irradiación 60,000 x \$50 (US/ton)		3'000,000.00
Utilidades	Utilidad bruta	2'001,611.00
	Impuestos	900,724.95
	Utilidad neta	1'100,886.05
	Utilidad/ventas	36.70%
	Utilidad/Inversión	21.55%



**Tabla 3**  
**Cálculo económico de un planta para irradiación de productos del mar y cárnicos**

Operación anual		8,000 horas
Dosis		1 - 7 kGy
Capacidad		20,000 ton
Cobalto		438,281 Ci
Costo de inversión	Edificios y construcciones	\$1'993,451.50
	Irradiador y carga	1'761,450.50
	Maquinaria y equipo	689,710.00
	Cobalto 60	657,421.00
	Inversión diferida	339,967.00
	Capital de trabajo	185,000.00
	<b>Total</b>	<b>5'627,000.00</b>
Costos de operación	Recarga del cobalto	78,890.00
	Salarios	320,000.00
	Servicios	22,676.00
	Mantenimiento y refacciones	172,979.00
	Suministros de operación	52,201.00
	Administración y capacitación	183,625.00
	<b>Total</b>	<b>830,371.00</b>
Depreciación	Edificios y construcciones	56,801.00
	Maquinaria	161,754.00
	Equipo	16,568.00
	<b>Total</b>	<b>235,123.00</b>
Costo total del proceso	Costos de operación	830,371.00
	Depreciación	235,123.00
	<b>Total</b>	<b>1'065,494.00</b>
Costo unitario (\$US/ton)		53.27
Ventas del servicio de irradiación 20,000 x \$170 (US/ton)		3'400,000.00
Utilidades	Utilidad bruta	2'334,506.00
	Impuestos	1'050,527.70
	Utilidad neta	1'283,978.30
	Utilidad/ventas	37.76%
	Utilidad/Inversión	22.82%



**Tabla 4**  
**Cálculo económico de un planta para irradiación de alimentos y cosméticos**

Operación anual		8,000 horas
Dosis		5 - 10 kGy
Capacidad		15,000 ton
Cobalto		1'160,000 Ci
Costo de inversión	Edificios y construcciones	\$1'793,451.00
	Irradiador y carga	1'761,450.00
	Maquinaria y equipo	620,974.00
	Cobalto 60	1'553,125.00
	Inversión diferida	300,000.00
	Capital de trabajo	182,000.00
	<b>Total</b>	<b>6'211,000.00</b>
Costos de operación	Recarga del cobalto	210,375.00
	Salarios	320,000.00
	Servicios	22,676.00
	Mantenimiento y refacciones	172,972.00
	Suministros de operación	52,201.00
	Administración y capacitación	183,625.00
	<b>Total</b>	<b>961,849.00</b>
Depreciación	Edificios y construcciones	56,801.54
	Maquinaria	161,754.55
	Equipo	16,568.00
	<b>Total</b>	<b>235,124.09</b>
Costo total del proceso	Costos de operación	961,849.00
	Depreciación	235,124.00
	<b>Total</b>	<b>1'196,973.00</b>
Costo unitario (\$US/ton)		79.80
Ventas del servicio de irradiación 15,000 x \$200 (US/ton)		3'000,000.00
Utilidades	Utilidad bruta	1'803,027.00
	Impuestos	811,362.15
	Utilidad neta	991,664.85
	Utilidad/ventas	33.06%
	Utilidad/Inversión	15.97%



**Tabla 5**  
**Cálculo económico de un planta para irradiación de productos médicos y desechables**

Operación anual		8,000 horas
Dosis		10 - 25Gy
Capacidad		7,500 ton
Cobalto		1'500,000 Ci
Costo de inversión	Edificios y construcciones	\$1'800,000.00
	Irradiador y carga	1'762,000.00
	Maquinaria y equipo	700,000.00
	Cobalto 60	2'138,000.00
	Inversión diferida	390,000.00
	Capital de trabajo	200,000.00
	<b>Total</b>	<b>6'990,000.00</b>
Costos de operación	Recarga del cobalto	210,375.00
	Salarios	352,000.00
	Servicios	22,676.00
	Mantenimiento y refacciones	172,952.00
	Suministros de operación	53,000.00
	Administración y capacitación	183,785.00
	<b>Total</b>	<b>994,788.00</b>
Depreciación	Edificios y construcciones	50,801.00
	Maquinaria	152,701.00
	Equipo	16,568.00
	<b>Total</b>	<b>220,070.00</b>
Costo total del proceso	Costos de operación	994,788.00
	Depreciación	220,070.00
	<b>Total</b>	<b>1'214,858.00</b>
Costo unitario (\$US/ton)		161.98
Ventas del servicio de irradiación 7,500 x \$600 (US/ton)		4'500,000.00
Utilidades	Utilidad bruta	3'285,142.00
	Impuestos	1'478,313.950
	Utilidad neta	1'806,828.10
	Utilidad/ventas	40.15%
	Utilidad/Inversión	25.85%





**Tabla 6**  
**Costo financiero de una planta de irradiación para frutas y hortalizas**

Costo total del capital (\$US) \$5'108,531.50

Aportación de socios 50% (\$US) \$2'554,265.75

Crédito internacional 50% (\$US) \$2'554,265.75

Periodos de pago (años)	1	5	10	Total
Abono a la deuda	\$255,426.58	\$255,426.58	\$255,426.58	\$2'554,265.75
Saldo insoluto	\$2'554,265.75	\$1'532,559.45	\$255,426.58	
8% de interés (Tasa Libor)	\$204,341.26	\$122,604.76	\$20,434.13	\$1'123,876.93
Total (abono + interés)	\$459,767.84	\$378,031.33	\$275,860.70	\$3'678,124.68

Costo total del capital (\$US) \$5'108,531.50

Aportación de socios 25% (\$US) \$1'068,707.39

Crédito internacional 75% (\$US) \$4'039,824.11

Periodos de pago (años)	1	5	10	Total
Abono a la deuda	\$383,139.86	\$383,139.86	\$383,139.86	\$3'831,398.63
Saldo insoluto	\$3'831,398.63	\$2'298,839.18	\$383,139.86	
8% de interés (Tasa Libor)	\$306,511.89	\$183,907.13	\$30,561.19	\$1'685,815.40
Total (abono + interés)	\$689,651.75	\$567,047.00	\$413,791.05	\$5'517,214.02

Costo total del capital (\$US)

Aportación de socios 50% (\$US) \$2'554,265.75

Crédito nacional 50% (\$US) \$2'554,265.75

Periodos de pago (años)	1	5	10	Total
Abono a la deuda	\$255,426.58	\$255,426.58	\$255,426.58	\$2'554,265.75
Saldo insoluto	\$2'554,265.75	\$1'532,559.45	\$255,426.58	
40% de interés (Base UDI'S)	\$1'021,706.30	\$613,023.78	\$102,170.63	\$5'619,384.65
Total (abono + interés)	\$1'277,132.88	\$868,450.36	\$357,597.21	\$8'173,650.40



**Tabla 7**  
**Costo financiero de una planta de irradiación para productos del mar y cárnicos**

Costo total del capital (\$US) \$5'627,000.00

Aportación de socios 50% (\$US) \$2'813,500.00

Crédito internacional 50% (\$US) \$2'813,500.00

Periodos de pago (años)	1	5	10	Total
Abono a la deuda	\$281,350.00	\$281,350.00	\$281,350.00	\$2'813,500.00
Saldo insoluto	\$2'813,500.00	\$1'688,100.00	\$281,350.00	
8% de interés (Tasa Libor)	\$225,080.00	\$135,048.00	\$22,508.00	\$1'237,940.00
Total (abono + interés)	\$506,430.00	\$416,398.00	\$303,858.00	\$4'051,440.00

Costo total del capital (\$US) \$5'627,000.00

Aportación de socios 25% (\$US) \$1'406,750.00

Crédito internacional 75% (\$US) \$4'220,250.00

Periodos de pago (años)	1	5	10	Total
Abono a la deuda	\$422,025.00	\$422,025.00	\$422,025.00	\$4'220,250.00
Saldo insoluto	\$4'220,250.00	\$3'770,090.00	\$3'207,390.00	
8% de interés (Tasa Libor)	\$337,620.00	\$1'508,036.00	\$1'282,956.00	\$1'856,910.00
Total (abono + interés)	\$759,645.00	\$1'620,576.00	\$1'395,496.00	\$6'077,160.00

Costo total del capital (\$US) \$5'627,000.00

Aportación de socios 50% (\$US) \$2'813,500.00

Crédito nacional 50% (\$US) \$2'813,500.00

Periodos de pago (años)	1	5	10	Total
Abono a la deuda	\$281,350.00	\$281,350.00	\$281,350.00	\$2'813,500.00
Saldo insoluto	\$2'813,500.00	\$1'688,100.00	\$281,350.00	
40% de interés (Base UDI'S)	\$1'125,400.00	\$675,240.00	\$112,540.00	\$6'189,700.00
Total (abono + interés)	\$1'406,750.00	\$956,590.00	\$393,590.00	\$9'003,200.00



**Tabla 8**  
**Costo financiero de una planta de irradiación para alimentos y cosméticos**

Costo total del capital (\$US)	\$6'211,000.00			
Aportación de socios 50% (\$US)	\$3'105,500.00			
Crédito internacional 50% (\$US)	\$3'105,500.00			
Periodos de pago (años)	1	5	10	Total
Abono a la deuda	\$310,550.00	\$310,550.00	\$310,550.00	\$3'105,500.00
Saldo insoluto	\$3'105,500.00	\$1'863,300.00	\$310,550.00	
8% de interés (Tasa Libor)	\$248,440.00	\$149,064.00	\$24,844.00	\$1'366,420.00
Total (abono + interés)	\$558,990.00	\$459,614.00	\$335,394.00	\$4'471,920.00

Costo total del capital (\$US)	\$6'211,000.00			
Aportación de socios 25% (\$US)	\$1'552,750.00			
Crédito internacional 75% (\$US)	\$4'658,250.00			
Periodos de pago (años)	1	5	10	Total
Abono a la deuda	\$465,825.00	\$465,825.00	\$465,825.00	\$4'658,250.00
Saldo insoluto	\$4'658,250.00	\$2'794,950.00	\$465,825.00	
8% de interés (Tasa Libor)	\$372,660.00	\$223,596.00	\$37,266.00	\$2'049,630.00
Total (abono + interés)	\$838,485.00	\$689,421.00	\$503,091.00	\$6'707,880.00

Costo total del capital (\$US)	\$6'211,000.00			
Aportación de socios 50% (\$US)	\$3'105,500.00			
Crédito nacional 50% (\$US)	\$3'105,500.00			
Periodos de pago (años)	1	5	10	Total
Abono a la deuda	\$310,550.00	\$310,550.00	\$310,550.00	\$3'105,500.00
Saldo insoluto	\$3'105,500.00	\$1'863,300.00	\$310,550.00	
40% de interés (Base UDI'S)	\$1'242,200.00	\$745,320.00	\$124,220.00	\$6'832,100.00
Total (abono + interés)	\$1'552,750.00	\$1'055,870.00	\$434,770.00	\$9'937,600.00



**Tabla 9**  
**Costo financiero de una planta de irradiación para productos médicos y desechables**

Costo total del capital (\$US) \$6'990,000.00

Aportación de socios 50% (\$US) \$3'495.000.00

Crédito internacional 50% (\$US) \$3'495.000.00

Periodos de pago (años)	1	5	10	Total
Abono a la deuda	\$349,500.00	\$349,500.00	\$349,500.00	\$3'495.000.00
Saldo insoluto	\$3'495.000.00	\$2'097,000.00	\$349,500.00	
8% de interés (Tasa Libor)	\$279,600.00	\$167,760.00	\$27,960.00	\$1'537,800.00
<b>Total (abono + interés)</b>	<b>\$629,100.00</b>	<b>\$517,260.00</b>	<b>\$377,460.00</b>	<b>\$5'032,800.00</b>

Costo total del capital (\$US) \$6'990,000.00

Aportación de socios 25% (\$US) \$1'747,500.00

Crédito internacional 75% (\$US) \$5'242,500.00

Periodos de pago (años)	1	5	10	Total
Abono a la deuda	\$524,250.00	\$524,250.00	\$524,250.00	\$5'242,500.00
Saldo insoluto	\$5'242,500.00	\$3'145,500.00	\$524,250.00	
8% de interés (Tasa Libor)	\$419,400.00	\$251,640.00	\$41,940.00	\$2'306,700.00
<b>Total (abono + interés)</b>	<b>\$943,650.00</b>	<b>\$775,890.00</b>	<b>\$566,190.00</b>	<b>\$7'549,200.00</b>

Costo total del capital (\$US) \$6'990,000.00

Aportación de socios 50% (\$US) \$3'495.000.00

Crédito nacional 50% (\$US) \$3'495.000.00

Periodos de pago (años)	1	5	10	Total
Abono a la deuda	\$349,500.00	\$349,500.00	\$349,500.00	\$3'495.000.00
Saldo insoluto	\$3'495.000.00	\$2'097,000.00	\$349,500.00	
40% de interés (Base UDI'S)	\$1'398.000.00	\$838,800.00	\$139,800.00	\$7'689,000.00
<b>Total (abono + interés)</b>	<b>\$1'747,500.00</b>	<b>\$1'188,300.00</b>	<b>\$489,300.00</b>	<b>\$11'184,000.00</b>



## **Conclusiones**

Para los empresarios interesados en hacer una inversión en una planta de irradiación es recomendable pensar sobre un grupo de productos que trabajen en un intervalo e dosis definitivamente el proceso sería mas rentable.

El proceso de irradiación es rentable en cualquiera de las 4 plantas presentadas ya que el costo unitario del proceso realmente viene siendo una parte pequeñas con respecto a los precios de venta, lo cual permite la recuperación del capital en un tiempo de 5 años siempre y cuando exista un plan de financiamiento adecuado.

## **Bibliografía**

- 1.- *Bustos R. M.E. y P. C. Luna Carbajal. 1996. Factibilidad Técnica económica de la Aplicación de la irradiación como tratamiento post cosecha en frutas y hortalizas. Horticultura Mexicana vol 4 No. 3. 113-118*
- 2.- *Kunstadt, P and C. Steeves. 1993. Economic of food irradiation p. 395-416. In: International Atomic Energy Agency ( eds) Cost Benefit aspects of food irradiation processing. Press Vienna.*
- 3.- *Soto R. H. , E. Espejel y H. Martínez. 1978 La Formulación y Evaluación técnico - económica de proyectos industriales. Editovisual CeNETI*