

# Uso de haces electrónicos de alta energía para esterilizar las aguas negras municipales del distrito Lunahuaná

Using high energy electron beams to sterilize municipal sewage district Lunahuaná

## Parte III: Dimensiones de la viabilidad económica para la descontaminación eficiente

Recibido: 14/05/2015

Revisado: 04/11/2015

Aceptado: 04/12/2015

Benigno Benito Lizárraga Zavaleta<sup>1</sup>, Carlos Job Fiestas Urbina<sup>2</sup>,  
Francisco Bautista Loyola<sup>2</sup>, Cayo Eduardo Guerra Lazo<sup>1</sup>

### RESUMEN

**Objetivo:** Determinar la viabilidad técnica y económica del uso de haces electrónicos de mediana energía para esterilizar las aguas negras y lodos efluentes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales del distrito Lunahuaná. **Métodos:** Se realizó según el análisis y alcance de los resultados una investigación explicativa no experimental, para resolver un problema de saneamiento eficiente de las aguas negras municipales y lodos de los sistemas de tratamiento. **Resultados:** Realizado los cálculos y estimaciones de las dimensiones de la viabilidad económica se tiene los valores siguientes: La diferencia entre todos los ingresos y egresos expresados en moneda actual (VAN: Valor Actual Neto) es igual a S/. 81'625 046.2, una Tasa Interna de Retorno (TIR) igual a 49.8%, una relación de Beneficio/Costo (B/C) igual a 3.48. **Conclusiones:** El flujo de aguas y lodos efluentes (12.3 Kg/s), y la dosis de irradiación (4.036 kGy) necesaria para inactivar *Escherichia Coli* que es el microorganismo más radio resistente, determinan la potencia del haz de electrones (70.87 kW) y por ende determinan el tamaño del acelerador de electrones: Según las tecnologías que se ofrecen en el mercado internacional, se debe escoger un acelerador de 100 kW. Así mismo, puesto que el VAN > 0, TIR > 9%, y la relación Beneficio/Costo (B/C) > 1; concluimos que es recomendable realizar el proyecto de inversión, es decir podemos afirmar que: Es viable técnica y económicamente la esterilización de las aguas negras y lodos municipales efluentes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales del distrito Lunahuaná, aplicando la tecnología de irradiación con haces electrónicos, verificándose la hipótesis planteada.

**Palabras clave:** Viabilidad económica, viabilidad tecnológica, tasa interna de retorno, valor actual neto, beneficio/costo.

### ABSTRACT

**Objective:** To determine the technically and economically feasibility of using medium-energy electron beams to sterilize sewage sludge and effluent treatment systems wastewater Lunahuaná district. **Methods:** Explanatory non experimental research was conducted according to the

analysis and scope of the results, to solve a problem of efficient disposal of municipal sewage and sludge treatment systems. **Results:** Performed calculations and estimates of the size of the economic viability has the following values: The difference between all income and expenses expressed in current coin (NPV: Net Present Value) is equal to S / 81'625 046.22, an Internal Rate of Return (IRR) equal to 49.83%, a ratio Benefit / Cost (B/C) equal to 3.48. **Conclusions:** The flow of water and effluent sludge (12.29 kg/s) and irradiation dose (4,036 kGy) required to inactivate *Escherichia coli* is the most resistant microorganism radio, determine the electron beam power (70.87 kW) and thus determine the size of the electron accelerator : According to the technologies available in the international market , you should choose an accelerator of 100 kW. Also , since the NPV > 0 , IRR > 9% , and the benefit / cost (B / C ) ratio > 1 ; conclude that it is advisable to carry out the investment project , we can say that: It is technically and economically feasible sterilization of sewage and municipal sludge effluent treatment systems wastewater Lunahuaná district , applying electronic beam irradiation electronic, verifying the hypothesis.

**Keywords:** Economic viability, technologic viability, internal rate of return, net present value, benefit / cost.

### INTRODUCCIÓN

Al demostrarse la viabilidad técnica y económica, entonces las autoridades del gobierno local (Consejo Municipal de Lunahuaná), las autoridades del Gobierno Regional de Lima, y las empresas privadas, tienen mayores elementos de juicio para tomar decisiones en el problema de saneamiento y podrán tomar la presente investigación como referencia o base para elaborar proyectos de Inversión en el marco del Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP).

Usando la tecnología de irradiación con haces electrónicos de mediana energía, la desinfección de las aguas y lodos efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales se puede llevar hasta niveles de esterilización, entonces se logra agregar valor a un residuo que actualmente es un problema, y convertir un problema en un beneficio económico y ambiental.

Nos planteamos la siguiente hipótesis: Es viable técnica y económicamente la esterilización de las aguas

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Email: blizarragazavaleta@gmail.com

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión.

negras y lodos municipales efluentes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales del distrito Lunahuaná, aplicando la tecnología de irradiación con haces electrónicos.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó según el análisis y alcance de los resultados una investigación explicativa no experimental; según la orientación y el nivel una investigación aplicada/tecnológica; según el enfoque o tendencia una investigación cuantitativa, y según la temporalidad una investigación longitudinal, para resolver el problema de saneamiento eficiente de las aguas negras y lodos municipales efluentes de los sistemas de tratamiento del distrito Lunahuaná.

## RESULTADOS

### Evaluación económica y rentabilidad del proyecto

#### 1. Valor Actual Neto (VAN)

Se tomó como referencia el precio del bioabono (PR), obtenido en la Parte II publicado en el número anterior de la presente revista, al compararlo con la Solución Hidropónica La Molina®, PR = 0,076 (S./L.). Asumimos una tasa de interés anual de 9 %, estipulada para proyectos de interés social, y una tasa de impuesto general a las ventas del 18 (%). También hemos considerado los costos operativos anuales estimados en la parte II (Lizárraga, Fiestas, Bautista & Guerra, 2015).

**Tabla 22.** Valor Actual Neto (VAN), y Tasa Interna de Retorno (TIR) del proyecto

Precio del bioabono: 0,076 (S./L.) Tasa de descuento anual: 9 (%) Impuesto general a las ventas: 18 (%)

Año	Producción anual (m <sup>3</sup> /año)	Ingresos brutos (S./año)	Costos operativos anuales totales brutos (S./año)	Impuesto IGV (18%)	Beneficio bruto (S./año)	Beneficio actualizado (S./año)
0	0,00	-20557721,16	0,00	0,00	-20557721,16	-20557721,16
1	191073,38	14521577,10	-2029703,96	-2613883,88	9877989,26	9062375,47
2	194105,70	14752033,16	-2040903,54	-2655365,97	10055763,65	8463735,08
3	197212,89	14988179,49	-2052379,66	-2697872,31	10237927,52	7905558,50
4	200394,95	15230016,10	-2064132,31	-2741402,90	10424480,89	7384965,08
5	203577,01	15471852,71	-2075884,96	-2784933,49	10611034,26	6896444,21
6	206833,94	15719379,59	-2087914,14	-2829488,33	10801977,12	6440866,02
7	210165,75	15972596,75	-2100219,86	-2875067,42	10997309,48	6015904,88
8	213534,99	16228659,04	-2112663,84	-2921158,63	11194836,57	5618310,98
9	216941,66	16487566,47	-2125246,09	-2967761,96	11394558,42	5246371,23
10	220385,78	16749319,04	-2137966,61	-3014877,43	11596475,00	4898476,36
11	223942,20	17019607,01	-2151101,92	-3063529,26	11804975,83	4574815,93
12	227498,62	17289894,99	-2164237,24	-3112181,10	12013476,65	4271208,12
13	231167,35	17568718,37	-2177787,35	-3162369,31	12228561,71	3988695,71
14	234836,08	17847541,76	-2191337,46	-3212557,52	12443646,78	3723717,31
15	238617,11	18134900,55	-2205302,38	-3264282,10	12665316,07	3477111,07
16	242435,59	18425104,48	-2219405,56	-3316518,81	12889180,12	3246394,74
17	246291,49	18718153,55	-2233647,00	-3369267,64	13115238,91	3030579,92
18	250259,71	19019738,03	-2248303,25	-3423552,84	13347881,93	2829667,41
19	254265,36	19324167,64	-2263097,76	-3478350,18	13582719,70	2641698,67
20	258308,45	19631442,39	-2278030,54	-3533659,63	13819752,22	2465870,69
<b>TOTAL:</b>	<b>S/.</b>	<b>318542727,06</b>	<b>-42959265,44</b>	<b>-61038080,68</b>	<b>214545380,94</b>	<b>81'625 046,22</b>

VAN = S/. 81'625 046,22  
TIR = 49,83%

Fuente: Elaboración propia

Se utilizó la siguiente expresión para obtener el Valor Actual Neto (VAN) del proyecto propuesto, Andrade (2008) y Gonzales (2007).

$$VAN = - I_0 + \sum_{i=1}^N \frac{(Bbi - COAT_i)}{\left(1 + \frac{TIA}{100}\right)^i}$$

Donde:

VAN: Valor Actual Neto, (S/.).

I<sub>0</sub>: Inversión inicial, (S/.).

Bbi: Beneficio bruto (ingreso) correspondiente al i-ésimo año, (S/.).

COAT<sub>i</sub>: Costo Operativo Anual Total correspondiente al i-

ésimo año, se calcula considerando la amortización de los intereses de la deuda, (S/.).

TIA: tasa de interés anual, (%).

i: índice correspondiente al año de ejecución del proyecto en el ámbito de su horizonte.

### 2. Sensibilidad del Valor Actual Neto (VAN) con el precio

Para estudiar la sensibilidad del valor actual neto con la variación del precio del bioabono, mantenemos constante la

tasa de interés anual TIA = 9%, y variamos el precio, obteniendo de ese modo, el VAN correspondientes a cada precio.

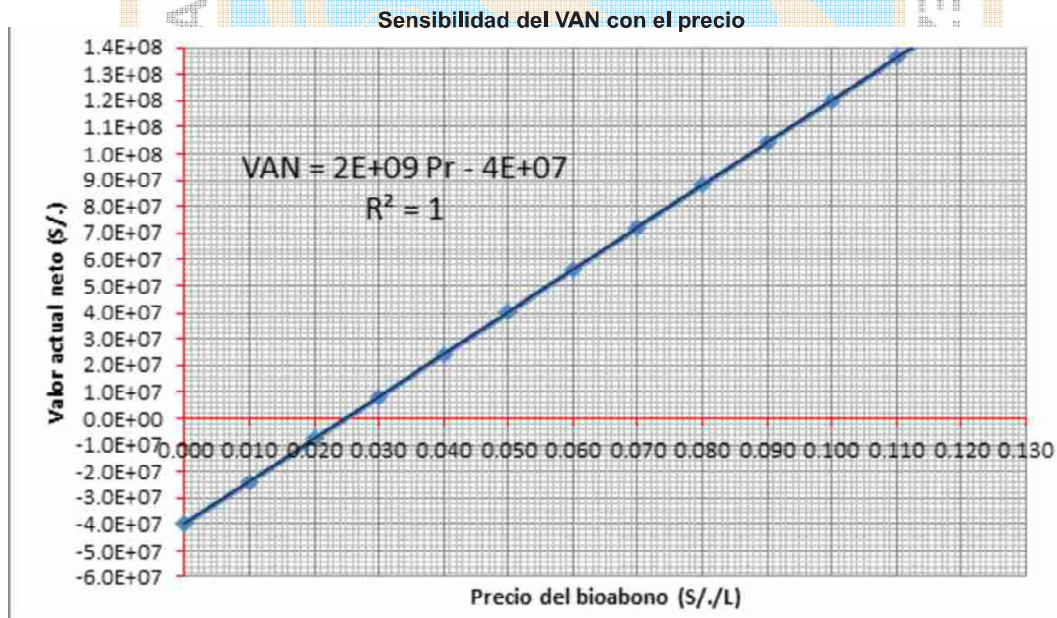
**Tabla 23.** Sensibilidad del valor actual neto con el precio del bioabono de la PTAR.

PRECIO (S./.)	VAN (S./.)	<BAM> (S./mes)
0,000	-39842651,54	-166011,05
0,010	-23860059,73	-99416,92
0,020	-7877467,92	-32822,78
0,030	8105123,89	33771,35
0,040	24087715,70	100365,48
0,050	40070307,51	166959,61
0,060	56052899,32	233553,75
0,070	72035491,14	300147,88
0,080	88018082,95	366742,01
0,090	104000674,76	433336,14
0,100	119983266,57	499930,28
0,110	135965858,38	566524,41
0,120	151948450,19	633118,54

<BAM>: Beneficio Mensual Neto Actualizado, correspondiente a cada año del horizonte.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 12, se representa la variación del VAN con el precio del bioabono, para una tasa de interés anual TIA = 9%.



**Figura 12:** Sensibilidad del Valor Actual Neto del proyecto con el precio del bioabono PTAR. TIA = 9%

A partir de la gráfica:

Donde:

VAN: valor actual neto, evaluado en el horizonte del proyecto, (S./.).

PR: precio del bioabono líquido, (S./L).

Obtenemos el precio mínimo de bioabono PTAR que soporta el proyecto para un VAN = 0.

$$PR \min = 0,025 \left( \frac{S./}{L} \right)$$

También podemos obtener el valor del VAN del proyecto a precio cero, el cual corresponde al  $VAN_{min}$ .

$$VAN_{min} = - 4E07 \text{ (S/.)}$$

### 3. Tasa Interna de Retorno (TIR)

La tasa de interés para la cual el  $VAN = S/. 0,00$ , se denomina tasa interna de retorno (TIR), para el precio de referencia del bioabono, Andrade (2008) y Gonzales (2007).

El TIR lo estimamos por interpolación, utilizando los datos donde ocurre el cambio del valor positivo a negativo, del VAN.

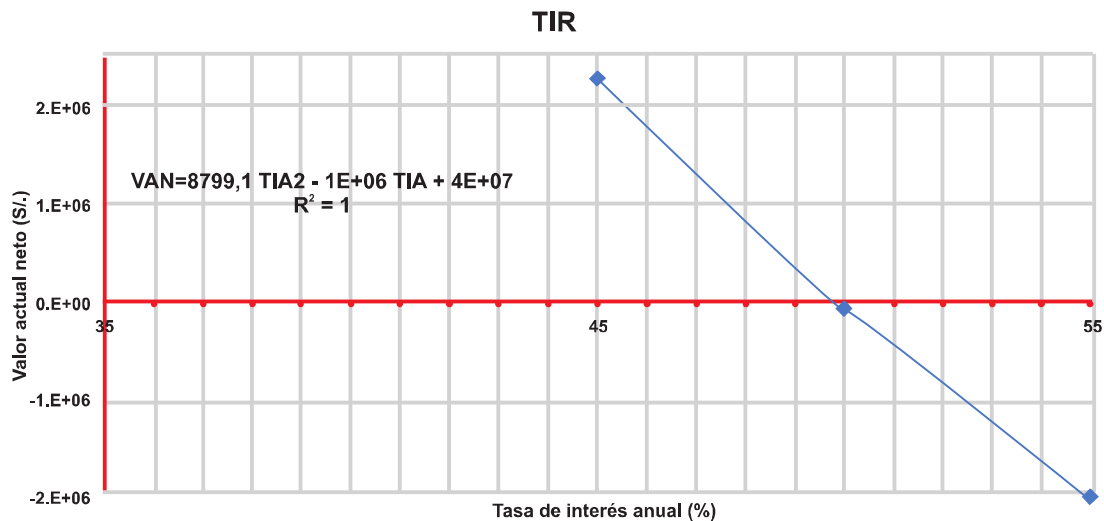


Figura 13. Representación geométrica de la Tasa Interna de Retorno (TIR)

Según el gráfico, el  $VAN = 0$ , ocurre para una tasa de interés anual  $TIA = 49,8 \%$ , por lo tanto.

$$TIR = 49,8 \%$$

### 4. Sensibilidad de la Tasa Interna de Retorno (TIR) con el precio del bioabono PTAR

Para estudiar la sensibilidad de la tasa de interés de retorno (TIR), con el precio del bioabono PTAR, evaluamos el TIR de los beneficios no actualizados durante el horizonte del proyecto, haciendo variar el precio del bioabono PTAR, los datos obtenidos se muestran en la Tabla 24, y en la Figura 14 se muestra la gráfica del TIR versus PR. El polinomio de mejor ajuste es de cuarto grado.

Tabla 24. Sensibilidad del TIR con el precio del bioabono PTAR

PRECIO(S./L)	TIR (%)
0,0250	9,07
0,0300	13,74
0,0350	18,03
0,0400	22,10
0,0450	26,06
0,0500	29,96
0,0550	33,81
0,0600	37,64
0,0650	41,46
0,0700	45,27
0,0750	49,07
0,0800	52,88
0,0850	56,68
0,0900	60,48
0,0950	64,28
0,1000	68,09

Fuente: Elaboración propia

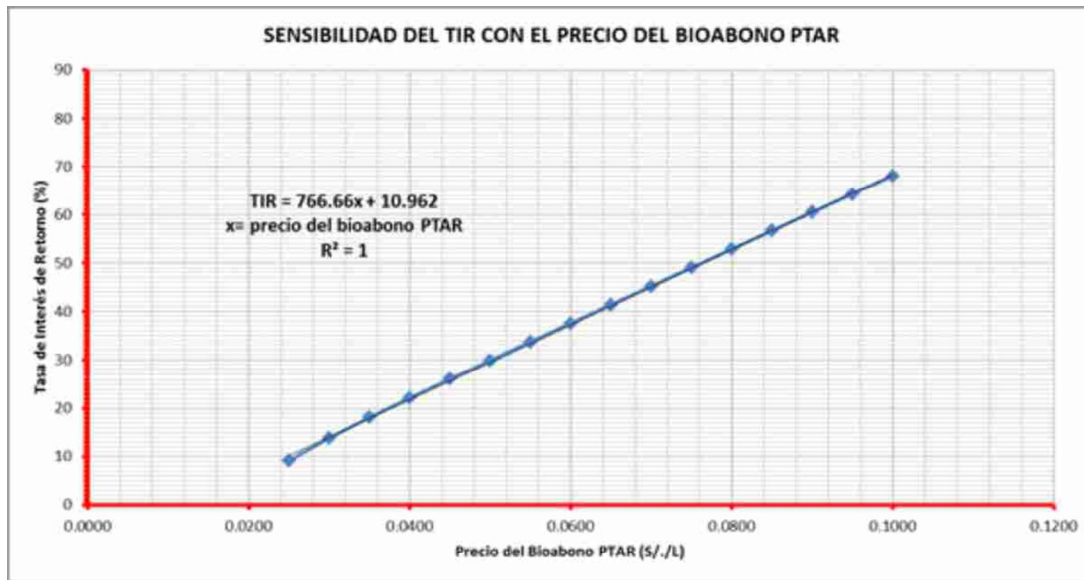


Figura 14. Sensibilidad de la TIR con el precio del bioabono PTAR

### 5. Razón beneficio/costo

Este indicador consiste en dividir el valor actual de los beneficios brutos entre el valor actual de los costos anuales totales (operativos + gastos de inversión + impuestos), y la regla de decisión dice que una inversión es conveniente si esta razón es mayor que uno, Gonzales (2007).

$$B/C = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{Bb_t}{\left(1 + \frac{TIA}{100}\right)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{Coat_t}{\left(1 + \frac{TIA}{100}\right)^t}}$$

Tabla 25. Razón Beneficio/Costo

Año	Beneficios brutos (S/.)	Beneficios brutos actualizados (S/.)	Costos operativos anuales brutos (S/.)	Impuesto general a las ventas (18%)	Costos anuales actualizados (S/.)
0	-20557721,16	-20557721,16	0,00	0,00	0,00
1	14521577,10	13322547,79	3869239,42	696463,10	4188717,90
2	14752033,16	12416491,17	3880439,00	698479,02	3853983,69
3	14988179,49	11573624,60	3891915,12	700544,72	3546221,62
4	15230016,10	10789327,37	3903667,77	702660,20	3263238,86
5	15471852,71	10055642,68	3915420,42	704775,68	3002810,45
6	15719379,59	9372952,45	3927449,60	706940,93	2763335,65
7	15972596,75	8737557,40	3939755,32	709155,96	2543113,67
8	16228659,04	8144616,74	3952199,30	711395,87	2340501,16
9	16487566,47	7591333,62	3964781,55	713660,68	2154084,77
10	16749319,04	7075093,37	3977502,07	715950,37	1982565,03
11	17019607,01	6595656,82	3990637,38	718314,73	1824873,63
12	17289894,99	6147158,06	4003772,70	720679,09	1679706,67
13	17568718,37	5730540,79	4017322,81	723118,11	1546230,60
14	17847541,76	5340813,78	4030872,92	725557,13	1423344,88
15	18134900,55	4978720,08	4044837,84	728070,81	1310344,99
16	18425104,48	4640726,69	4058941,02	730609,38	1206342,92
17	18718153,55	4325263,20	4073182,46	733172,84	1110619,79
18	19019738,03	4032065,40	4087838,71	735810,97	1022583,54
19	19324167,64	3758350,98	4102633,22	738473,98	941545,34
20	19631442,39	3502855,73	4117566,00	741161,88	866947,14
<b>TOTAL:</b>	<b>318542727,06 S/.</b>	<b>148131338,73</b>	<b>79749974,64</b>	<b>14354995,44</b>	<b>42571112,33</b>

BENEFICIO/ COSTO (B/C) = 3,48

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 25, se presentan los cálculos para obtener la razón Beneficio/Costo, cuyo valor es 3.48. Si este cociente es mayor que uno significa que el proyecto recupera al concluir su ejecución la inversión realizada y además rinde a una tasa superior a la vigente en el mercado financiero.

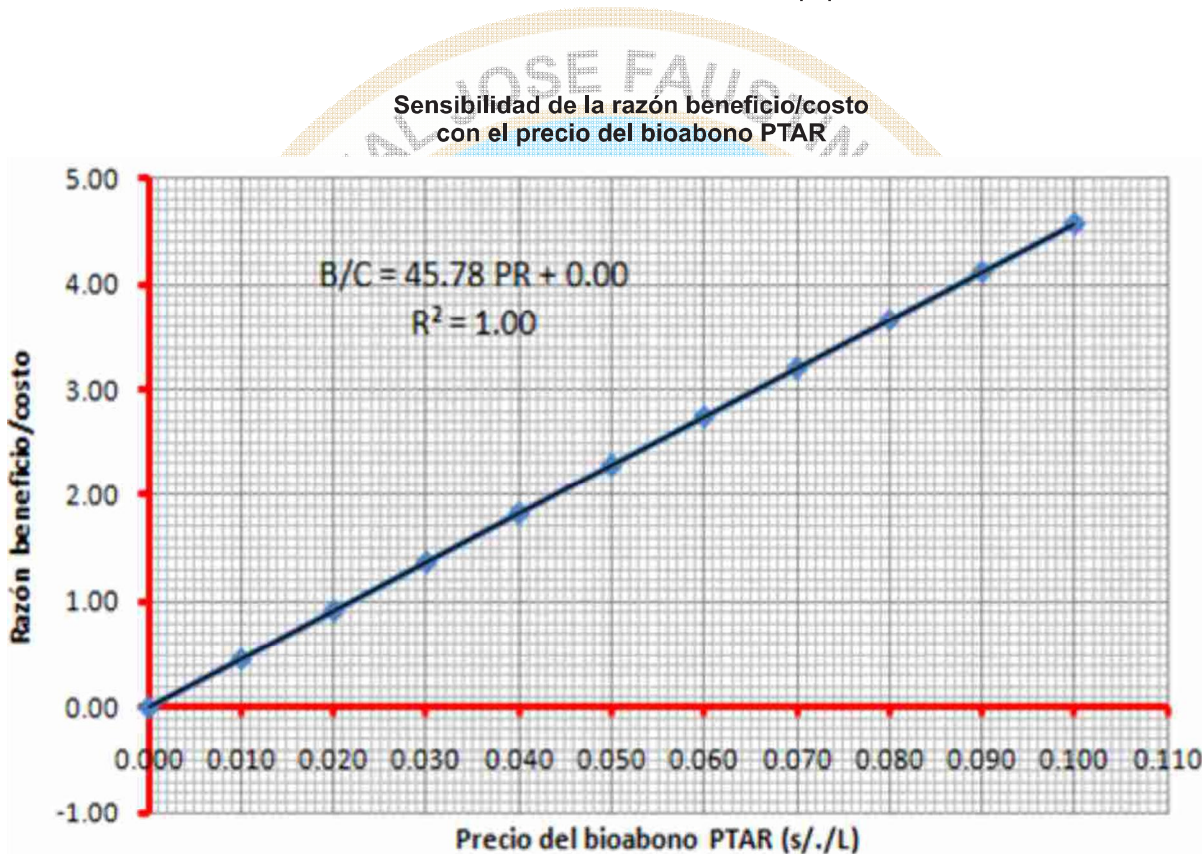
## 6. Sensibilidad de la razón beneficio/costo con el precio

Para realizar el estudio de sensibilidad de la razón Beneficio/Costo con el precio del bioabono PTAR, conservamos la tasa de interés anual TIA = 9 %, y variamos el precio, obteniendo los datos mostrados en el tabla 26 y la gráfica mostrada en la figura 15.

**Tabla 26.** Sensibilidad de la razón beneficio/costo con el precio del bioabono PTAR

Precio del bioabono (S/./L)	Beneficio/Costo
0,000	0,000
0,010	0,460
0,020	0,920
0,030	1,374
0,040	1,830
0,050	2,290
0,060	2,750
0,070	3,210
0,080	3,660
0,090	4,120
0,100	4,580

Fuente: Elaboración propia



**Figura 15.** Sensibilidad de la razón Beneficio/Costo con el precio del bioabono PTAR.

La función de mejor ajuste es una recta dada por:

$$B/C = 45,78 PR$$

$$R^2 = 1$$

Observamos que el valor crítico de la razón B/C = 1, se obtiene para el precio PR<sub>cr</sub>.

$$PR_{cr} = \left(\frac{1}{54}\right) = 0,02184 \left(\frac{S/}{L}\right)$$

## 7. Sensibilidad de la razón beneficio/costo con la tasa de interés anual

Para realizar el estudio de sensibilidad de la razón beneficio/costo con la tasa de interés anual, conservamos el precio del bioabono en su valor de referencia PR = 0,076 (S/./L), y variamos el precio, obteniendo la gráfica mostrada en la figura 16.

Sensibilidad de la razón beneficio/costo con la tasa de interés anual

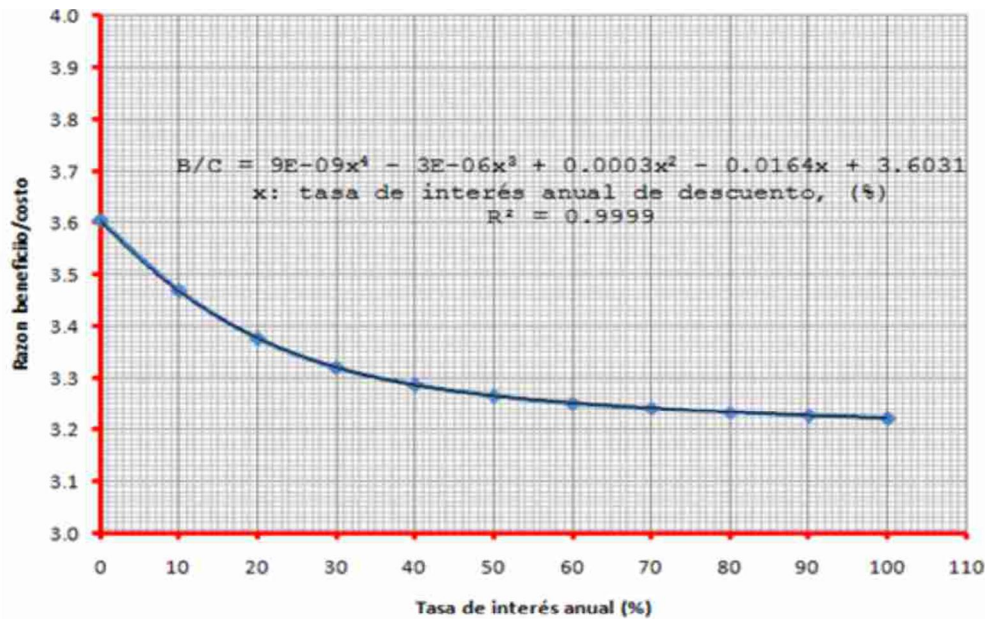


Figura 16. Sensibilidad de la razón Beneficio/Costo con la tasa de interés anual

En la figura 16, se muestra la gráfica de la razón beneficio/costo versus la Tasa de Interés Anual. Hacemos notar que la curva de mejor ajuste es un polinomio de cuarto grado.

### DISCUSIONES

Después de determinar las dimensiones e indicadores de las variables dependientes (viabilidad técnica, y viabilidad económica) y de las variables independientes (material irradiado, tecnología de irradiación, costos de inversión totales, costos de operación, e ingresos por ventas de lodos esterilizados), llegamos a las siguientes conclusiones:

- 1) El flujo de aguas y lodos efluentes de los sistemas de tratamiento (material a irradiarse producidos por la población de 6900 habitantes de Lunahuaná) de 707,27 (m<sup>3</sup>/día) equivalente a 12,29 (Kg/s), y la dosis de irradiación (4,036 kGy) necesaria para inactivar *Escherichia Coli* que es el microorganismo más radio resistente, determinan la potencia del haz de electrones (70,87 kW) y por ende determinan el tamaño del acelerador de electrones: Según las tecnologías que se ofrecen en el mercado internacional, se debe escoger un acelerador de 100 (kW), por lo tanto: Es viable técnicamente la esterilización de las aguas negras municipales efluentes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales del distrito Lunahuaná, aplicando la tecnología de irradiación con haces electrónicos, verificándose la hipótesis específica 1 planteada.
- 2) Puesto que el VAN (81'625 046,2) > 0, TIR (49,83%) > 9, y la relación Beneficio/Costo (B/C=3,48) > 1; es recomendable realizar el proyecto de inversión, es decir podemos afirmar que: Es viable económicamente la esterilización de las aguas negras municipales efluentes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales del distrito Lunahuaná, aplicando la tecnología de irradiación con haces electrónicos, verificándose la hipótesis específica 2 planteada.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade Espinoza S, (2002), Preparación y Evaluación de Proyectos. Editorial Lucero S.R.L., Lima-Perú.
- Gallardo, Juan. Preparación y Evaluación de Proyectos. México, McGraw Hill. 1998. [Citado 28 de Enero 2014]. Disponible en: [https://books.google.com.pe/books?id=MHJq9vLbrJcC&pg=PA390&lpg=PA390&dq=Gallardo,+Juan+%281998%29.+Preparaci%C3%B3n+y+evaluaci%C3%B3n+de+proyectos.+M%C3%A9xico,+McGraw+Hill.&source=bl&ots=ReIrEIRY\\_T&sig=lyCYHisqxkqqsPhv1ijHt4Zidj0&hl=es&sa=X&oeq=0n-IVK2vKcWnNqKogZAE&ved=OCCAQ6AEWAQ#v=onepage&q=Gallardo%2C%20Juan%20\(1998\).%20Preparaci%C3%B3n%20y%20evaluaci%C3%B3n%20de%20proyectos.%20M%C3%A9xico%2C%20McGraw%20Hill.&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=MHJq9vLbrJcC&pg=PA390&lpg=PA390&dq=Gallardo,+Juan+%281998%29.+Preparaci%C3%B3n+y+evaluaci%C3%B3n+de+proyectos.+M%C3%A9xico,+McGraw+Hill.&source=bl&ots=ReIrEIRY_T&sig=lyCYHisqxkqqsPhv1ijHt4Zidj0&hl=es&sa=X&oeq=0n-IVK2vKcWnNqKogZAE&ved=OCCAQ6AEWAQ#v=onepage&q=Gallardo%2C%20Juan%20(1998).%20Preparaci%C3%B3n%20y%20evaluaci%C3%B3n%20de%20proyectos.%20M%C3%A9xico%2C%20McGraw%20Hill.&f=false)
- Gonzales, Ana Graciela. Formulación y evaluación de proyectos de inversión. Universidad Nacional de Cajamarca, facultad de ciencias agrarias, cátedra de horticultura y economía agraria. Secretaría de Ciencia y Tecnología – Editorial Científica Universitaria. ISBN: 978-987-1341-79-5. 2007. Citado 28 de Enero 2014]. Disponible en: [http://www.editorial.unca.edu.ar/Publicacione%20on%20line/CUADERNOS%20DE%20CATEDRA/Ana%20Gabriela%20Gonzalez/Mat\\_didact-Proyecto\\_AGONZALEZ.pdf](http://www.editorial.unca.edu.ar/Publicacione%20on%20line/CUADERNOS%20DE%20CATEDRA/Ana%20Gabriela%20Gonzalez/Mat_didact-Proyecto_AGONZALEZ.pdf)
- Lizárraga, B., Fiestas, C., Bautista F, y Guerra, C. (2015). Uso de haces electrónicos de alta energía para esterilizar las aguas negras municipales del distrito de Lunahuaná. *Rev. de Inv. Científica Big Bang Faustiniiano* 4(4).
- Moreno Sotomayor, J. B. (2010). Subgerencia de desarrollo urbano, Municipalidad distrital de Nuevo Imperial, Proyecto de Inversión Pública: "Rehabilitación y mejoramiento del sistema de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales en el cercado de Lunahuana, distrito de Lunahuana - Cañete – Lima", Código SNIP 17006, viable, Lunahuaná, 2010.
- Universidad Nacional Agraria La Molina, Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral. [Citado el 05 de Marzo, 2012]. Disponible en: <http://www.lamolina.edu.pe/hidroponia/solucion1.htm>