

**UNIVERSIDAD NACIONAL  
JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN**



**ESCUELA DE POSGRADO**

**TESIS**

**ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO PARA EVALUAR  
LA INSTALACIÓN DE UNA PLANTA DE  
TRATAMIENTO DE LODOS RESIDUALES CON  
HACES ELECTRÓNICOS DE MEDIANA ENERGÍA  
EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES MUNICIPALES DE LA CIUDAD DE  
HUACHO”.**

**PRESENTADO POR:**

**Carlos Job, Fiestas Urbina**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE DOCTOR EN CIENCIAS  
AMBIENTALES**

**ASESOR:**

**Dr. Luís Alberto, Cárdenas Saldaña**

**HUACHO - 2018**

**ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO PARA EVALUAR LA  
INSTALACIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LODOS  
RESIDUALES CON HACES ELECTRÓNICOS DE MEDIANA  
ENERGÍA EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES MUNICIPALES DE LA CIUDAD DE HUACHO”.**

**Carlos Job, Fiestas Urbina**

**TESIS DE DOCTORADO**

**ASESOR: Dr. Luís Alberto, Cárdenas Saldaña**

**UNIVERSIDAD NACIONAL  
JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN  
ESCUELA DE POSGRADO  
DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES  
HUACHO  
2018**

The logo of the Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrion de Huacho is a circular emblem. It features a light blue background with a yellow border. Inside the circle, there is a stylized yellow figure that appears to be a person or a deity, possibly representing the university's founding figure, José Faustino Sánchez Carrion. The text "UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRION" is written in a circular path around the top and sides, and "HUACHO" is written at the bottom. There are small dots separating the text at the bottom.

## **DEDICATORIA**

A Dios todopoderoso en quien tengo la fe que me ha inspirado para realizar el presente estudio.

Al pueblo de Huacho, quien me ha brindado las oportunidades para desarrollarme como ser humano...

*Carlos Job, Fiestas Urbina*

## AGRADECIMIENTO

A mis asesores por haberme orientado en todas las dudas que surgieron en el desarrollo del presente estudio.

A mi familia quienes me han dado todo el soporte material y social para desarrollarme como profesional.

A mis colegas docentes con quienes hemos compartido e intercambiado experiencias que han contribuido a la realización del presente estudio.



*Carlos Job, Fiestas Urbina*

## **CONTENIDO**

**DEDICATORIA v**

**AGRADECIMIENTO vi**

**RESUMEN xv**

**Trabajos citados ¡Error! Marcador no definido.**

### **CAPÍTULO I 1**

#### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 1**

**1.1 Descripción de la realidad problemática 1**

**1.2 Formulación del problema 2**

**1.2.1 Problema general 2**

**1.2.2 Problemas específicos 2**

**1.3 Objetivos de la investigación 2**

**1.3.1 Objetivo general 2**

**1.3.2 Objetivos específicos 2**

**1.4 Justificación de la investigación 3**

**1.5 Delimitaciones del estudio 3**

**1.6 Viabilidad del estudio 6**

### **CAPÍTULO II 8**

#### **MARCO TEÓRICO 8**

**2.1 Antecedentes de la investigación 8**

**2.1.1 Investigaciones internacionales 8**

**2.1.2 Investigaciones nacionales 11**

**2.2 Bases teóricas 12**

**2.3 Bases filosóficas 37**

**2.4 Definición de términos básicos 38**

**2.5 Hipótesis de investigación 42**

**2.5.1 Hipótesis general 42**

**2.5.2 Hipótesis específicas 43**

**2.6 Operacionalización de las variables 44**

### **CAPÍTULO III 51**

#### **METODOLOGÍA 51**

**3.1 Diseño metodológico 51**

**3.2 Población y muestra 51**

**3.2.1 Población 51**

**3.2.2 Muestra 53**

**3.3 Técnicas de recolección de datos 55**

**3.4 Técnicas para el procesamiento de la información 55**

**CAPÍTULO IV 57**

**RESULTADOS 57**

**4.1 Análisis de resultados 57**

**4.3. Diseño de la planta 93**

**4.5 Contratación de hipótesis 152**

**CAPÍTULO V 153**

**DISCUSIÓN 153**

**5.1 Discusión de resultados 153**

**CAPÍTULO VI 167**

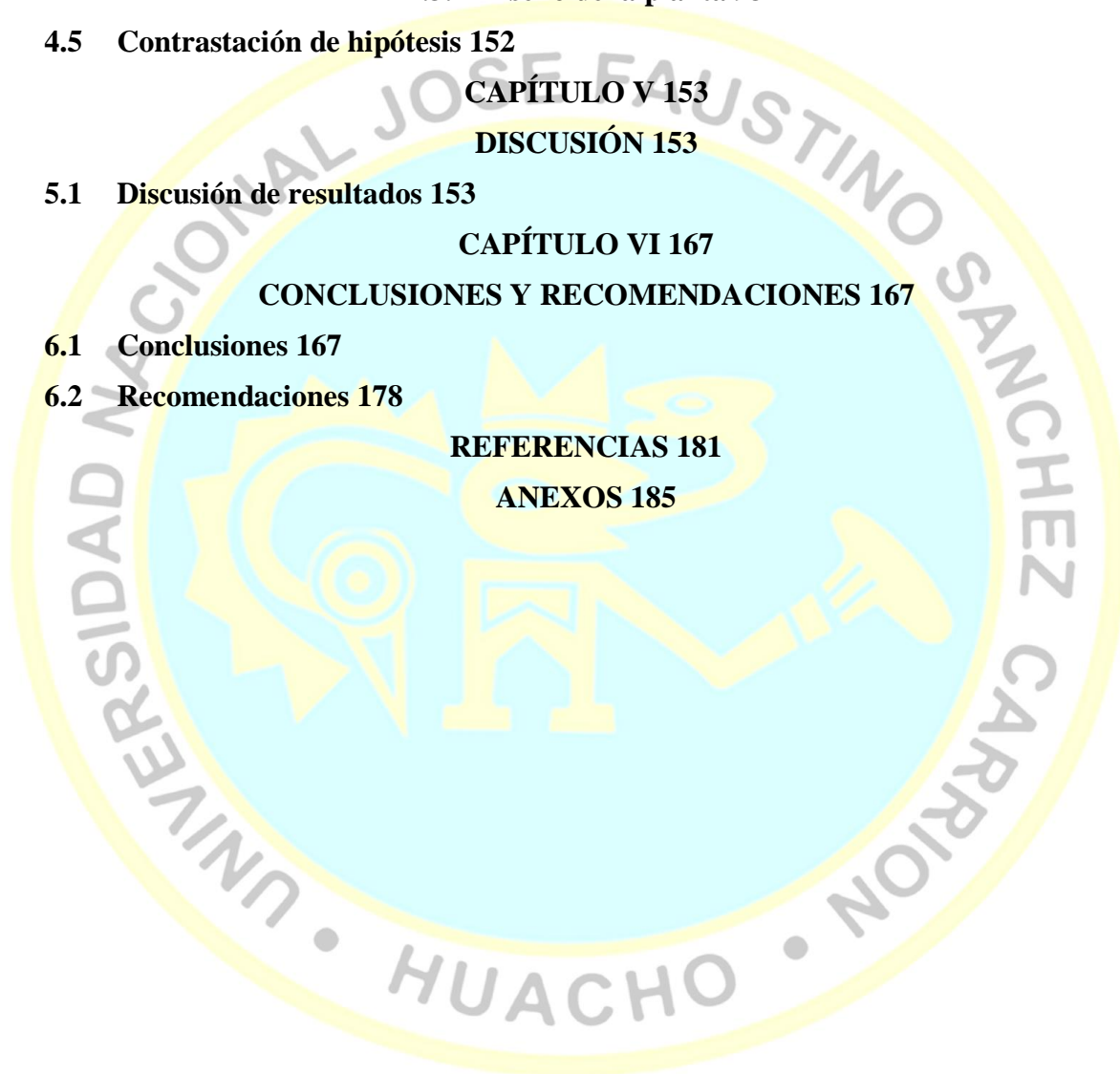
**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 167**

**6.1 Conclusiones 167**

**6.2 Recomendaciones 178**

**REFERENCIAS 181**

**ANEXOS 185**



## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1: Ubicación política en el Perú</b> .....	5
<b>Tabla 2: Temperaturas mínimas, máximas y promedio anual en las Regiones Lima, Ancash y Pisco entre 1988-2013</b> .....	5
Tabla 3: Precios de aceleradores de electrones según su potencia.....	31
<b>Tabla 4: Población de los Distritos que conforma la ciudad de Huacho para el año 2012.</b> .....	52
<b>Tabla 5: Población de la ciudad de Huacho y distritos aledaños en el horizonte del proyecto</b> .....	53
<b>Tabla 6: Tamaño de la muestra de lodos secos en cada año del horizonte del proyecto</b> .....	54
<b>Tabla 7: Evolución de la población, dotación de agua y caudal de las aguas residuales municipales, en el ámbito del horizonte del proyecto.</b> .....	59
<b>Tabla 8: Características de las aguas residuales y fuentes de origen</b> .....	61
<b>Tabla 9: Composición típica de tres clases de aguas residuales domésticas</b> .....	63
<b>Tabla 10: Aporte per cápita de diferentes constituyentes de las aguas residuales municipales (g/hab/día)</b> .....	64
<b>Tabla 11: Estimación del aporte per cápita a los sólidos de los lodos residuales en el sedimento primario</b> .....	66
<b>Tabla 12: Estimación de sólidos secos producidos en los lodos de la PTAR Huacho</b> .....	70
<b>Tabla 13: Composición química típica de los lodos producidos y tratados (Metcalf &amp; Eddy, 2003).</b> ....	71
<b>Tabla 14: Contenido de microorganismos patógenos en los lodos residuales de las PTAR</b> .....	72
<b>Tabla 15: Aporte diario per cápita para aguas residuales domésticas</b> .....	73
<b>Tabla 16: Características de remoción de los diferentes procesos de tratamiento de aguas residuales municipales</b> .....	73
<b>Tabla 17: Aportes de microorganismos y huevos de nemátodos intestinalis a los lodos de un sedimentador primario y los lodos de un tratamiento de zanjas aireadas con sedimentador secundario.</b> .....	76
<b>Tabla 18: Quality of sewage-sludge from Modling WWTP, 1993 – 1996</b> .....	77
<b>Tabla 19: Analysis of normal (NSS) and irradiated (ISS) sludge</b> .....	77
<b>Tabla 20: Physical and chemical characteristics of the sewage sludge</b> .....	78
<b>Tabla 21: Characteristics of the sewage sludge</b> .....	78
<b>Tabla 22: Composición promedio del bioabono sólido seco producido en la planta de tratamiento de lodos generados en la PTAR Huacho</b> .....	80
<b>Tabla 23: Composición de sustancias características del biol preparado en la planta de tratamiento de lodos residuales</b> .....	82
<b>Tabla 24: Comparación de la composición de algunos tipos de biol con el biol producido por la PTAR, “Biol 1”</b> .....	83
<b>Tabla 25: Presentación y precios de la solución foliar La Molina</b> .....	84
<b>Tabla 26: Aplicación general del Biol según tipos de cultivo.</b> .....	85
<b>Tabla 27: Valorización monetaria del biol producido en la Planta de tratamiento de lodos de la PTAR Huacho</b> .....	87
<b>Tabla 28: Ingresos por comercialización del “Biol 1”, en el horizonte del proyecto</b> .....	88
<b>Tabla 29: Estimación del parámetro potencial de fertilización del biol producido en la planta de tratamiento de lodos de la PTAR Huacho</b> .....	91
<b>Tabla 30: Lomas de Lachay en Primavera</b> .....	92
<b>Tabla 31: Aportes de microorganismos y huevos de nemátodos intestinalis a los lodos de un sedimentador primario y los lodos de un tratamiento de zanjas aireadas con sedimentador secundario.</b> .....	94
<b>Tabla 32: Desinfección de e. coli en efluentes secundarios de aguas municipales residuales</b> .....	96
<b>Tabla 33: Espesor óptimo de un cake de densidad <math>D = 0.8523077</math> (g/cm<sup>3</sup>) para diferentes energías del haz de electrones (2 – 5 MeV)</b> .....	100
<b>Tabla 34: Correlaciones para estimar rangos y energías características en la distribución de absorción de energía electrónica por el mecanismo de ionización, en función del rango en el interior de una solución acuosa</b> .....	100

Tabla 35: Rangos y energías características de electrones de energía nominal 5 (MeV) al incidir sobre medios agua y cake de densidad $D_{sol} = 0.8523077$ (g/cm <sup>3</sup> ).....	101
Tabla 36: Resumen de la producción de lodos residuales .....	106
Tabla 37: Precios de aceleradores de electrones según su potencia.....	109
Tabla 38: Costos por suministro de electricidad .....	118
Tabla 39: Componentes de la planta de tratamiento de lodos de la PTAR Huacho. ....	119
Tabla 40: Resumen de los componentes de la inversión inicial .....	122
Tabla 41: Costos por suministro de electricidad .....	124
Tabla 42: Costos anuales por servicio de agua y alcantarillado .....	125
Tabla 43: Resumen de costos laborales anuales (2 turnos) .....	125
Tabla 44: Resumen de costos del proyecto .....	127
Tabla 45: Costos anuales totales y unitarios, en el horizonte del proyecto .....	128
Tabla 46: Datos utilizados para el cálculo del valor actual neto y tasa interna de retorno del proyecto. ....	130
Tabla 47: Cálculo del valor actual neto (VAN) y tasa interna de retorno (TIR) .....	131
Tabla 48: Sensibilidad del VAN y el TIR con al precio del biol (13.5 g/L).....	133
Tabla 49: Sensibilidad del valor actual neto (VAN) y tasa interna de retorno (TIR) con la tasa anual de interés bancario (TIB) .....	134
Tabla 50: Costos anuales totales del proyecto, en el año 1, a precios sociales .....	136
Tabla 51: Resumen de datos de costos para el año 1.....	137
Tabla 52: Costos sociales anuales totales actualizados, para cada año en el horizonte del proyecto ...	137
Tabla 53: Líneas de acción e indicadores del proyecto .....	138
Tabla 54: Valores estimados de los indicadores, Habitante beneficiado (Hab. Ben.) y Potencial de fertilización (Ha año).....	140
Tabla 55: Valores del ratio costo/eficacia (habitante beneficiado), para cada año, en el horizonte del proyecto.....	142
Tabla 56: Sensibilidad del ratio costo eficacia (habitante beneficiado) con la tasa anual de crecimiento poblacional.....	143
Tabla 57: Ratio costo/eficacia (potencial de fertilización), para cada año dentro del horizonte del proyecto.....	145
Tabla 58: Sensibilidad del ratio costo/eficacia (potencial de fertilización) con la tasa anual de crecimiento poblacional.....	146
Tabla 59: datos utilizados para el cálculo del valor actual neto social (VANS).....	148
Tabla 60: Cálculos realizados para obtener el valor actual neto social (VANS).....	149
Tabla 61: Sensibilidad del valor actual neto social, con la variación de la tasa anual de crecimiento poblacional.....	150
Tabla 62: Sensibilidad del valor actual neto social, con la variación del precio del biol (13.5 g/L).....	151
Tabla 63: Aceleradores seleccionados para procesos de irradiación .....	168
Tabla 64: Comparaciones de costo unitario para aceleradores típicos DC, de acuerdo a la potencia del haz de electrones.....	168
Tabla 65: Resumen de los componentes de la inversión inicial .....	169
Tabla 66: Sensibilidad del VAN y el TIR con al precio del biol (13.5 g/L).....	170
Tabla 67: Sensibilidad del valor actual neto (VAN) y tasa interna de retorno (TIR) con la tasa anual de interés bancario (TIB) .....	172
Tabla 68: Sensibilidad del ratio costo eficacia (habitante beneficiado), con la tasa anual de crecimiento poblacional.....	173
Tabla 69: Sensibilidad del ratio costo/eficacia (potencial de fertilización) con la tasa anual de crecimiento poblacional.....	174
Tabla 70: Sensibilidad del valor actual neto social, con la variación de la tasa anual de crecimiento poblacional.....	176
Tabla 71: Sensibilidad del valor actual neto social, con la variación del precio del biol (13.5 g/L).....	177
Tabla 72: Resumen de los componentes de la inversión inicial: .....	178
Tabla 73: Rangos característicos en agua, de haces electrónicos de diferentes energías. ....	188
Tabla 74: Ventajas y desventajas de los procesos aeróbico y anaeróbico en el tratamiento de aguas residuales. ....	202



## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1: Esquema de macro localización, de Huacho</b>	4
<b>Figura 2: Esquema de un haz de electrones que está siendo acelerado</b>	13
<b>Figura 3: Esquema de la trayectoria de un electrón que se mueve con velocidad perpendicular a un campo magnético uniforme en dirección entrante a la página.</b>	14
<b>Figura 4: Esquema indicando las partes fundamentales de un acelerador de electrones lineal.</b>	15
<b>Figura 5: Esquema que muestra el blindaje requerido para un acelerador de electrones de alta energía</b>	16
<b>Figura 6: Polietileno, en función de la penetración en el material irradiado.</b>	17
<b>Figura 7: Esquema mostrando las partes de un acelerador Dinamitron RDI, lado izquierdo (1) y un acelerador Rhodotron, lado derecho (2).</b>	18
<b>Figura 8: fotografías de un acelerador Mevex LINAC, 10 MeV, 30 KW, izquierda (1). Un Rhodotrón, 10 MeV, 200 KW, derecha (2).</b>	18
<b>Figura 9: Desinfección de E-Coli con diferentes dosis de haces electrónicos</b>	24
<b>Figura 10: Distribución de dosis en el interior de un material irradiado con haces electrónicos</b>	27
<b>[Figura 11: Diseño de sistemas de irradiación</b>	30
<b>Figura 12: Representa el concepto de la tasa interna de retorno (TIR).</b>	34
<b>Figura 13: Diagrama de flujo de las variables correspondientes a la primera hipótesis</b>	44
<b>Figura 14: Diagrama de flujo de las variables correspondientes a la segunda hipótesis.</b>	45
<b>Figura 15: Diagrama de flujo correspondiente a la interacción de las variables.</b>	46
<b>Figura 16: Esquema general de un sistema para el tratamiento de aguas residuales municipales, con tratamiento biológico aerobio en tanques aireados de mezcla completa.</b>	65

<b>Figura 17: Esquema simplificado de un proceso de tratamiento secundario aerobio con lodos activados</b>	69
<b>Figura 18: Esquema de la remoción de microorganismos en el sedimentador primario</b>	74
<b>Figura 19: Esquema de la remoción de microorganismos en el sedimentador secundario</b>	76
<b>Figura 20: Gráfica del efecto sobre la población de microorganismos de un efluente secundario al ser irradiado con haces electrónicos</b>	95
<b>Figura 21: Gráfica del modelo ajustado y datos experimentales de la irradiación de muestras de efluentes de aguas municipales</b>	96
<b>Figura 22: Esquema y vista fotográfica del sistema de transporte del cake para ser irradiado.</b>	99
<b>Figura 23: Curva de distribución de dosis porcentual en función de la penetración (R), en el interior de un medio acuoso de densidad 1 (g/cm<sup>3</sup>).</b>	100
<b>Figura 24: Curva de distribución de dosis electrónica en función de la penetración (R), en el interior de un solución acuosa de densidad 0.8523077 (g/cm<sup>3</sup>).</b>	101
<b>Figura 25: Diseño de sistemas de irradiación</b>	109
<b>Figura 26: Prensa de tornillo y centrífuga.</b>	110
<b>Figura 27: Diagrama de flujo del proceso de irradiación</b>	111
<b>Figura 28: Esquema de una planta industrial de tratamiento de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales</b>	112
<b>Figura 29: Esquema, (izquierda) tanque de almacenamiento de bioabono líquido, (derecha) piscina de almacenamiento de agua irradiada. Material: fibra de vidrio reforzada.</b>	114
<b>Figura 30: Plano del taller de preparación de bioabono sólido</b>	117
<b>Figura 31: Subestación de suministro de energía eléctrica trifásica.</b>	118
<b>Figura 32: Area donde se construirá la planta de tratamiento de lodos.</b>	121
<b>Figura 33: Esquema vista de planta de la planta de tratamiento de lodos generados por la planta de tratamiento de aguas residuales municipales de Huacho.</b>	121
<b>Figura 34: Gráficas de los costos anuales totales y costo unitario versus año del horizonte</b>	129
<b>Figura 35: Gráfica de la sensibilidad del VAN y TIR del proyecto con el precio del biol (13.5 g/L)</b>	130

<b>Figura 36: Gráfica de la sensibilidad del valor actual neto (VAN) del proyecto con la tasa de interés financiero (TIF).</b>	135
<b>Figura 37: Sensibilidad del ratio costo/eficacia (habitante beneficiado) promedio, con la variación de la tasa anual de crecimiento poblacional</b>	141
<b>Figura 38: Gráfica de la sensibilidad del ratio costo/eficacia (potencial de fertilización), con la tasa anual de crecimiento poblacional.</b>	144
<b>Figura 39: Gráfica que representa la sensibilidad del valor actual neto social, con la variación de la tasa anual de crecimiento poblacional</b>	147
<b>Figura 40: Sensibilidad del valor actual neto social, con la variación del precio del biol (13.5 g/L).</b>	148
<b>Figura 41: Problema Central y Objetivo General</b>	157
<b>Figura 42: Árbol de Medios y Fines</b>	159
<b>Figura 43: Árbol de medios y acciones</b>	161
<b>Figura 44: Gráfica de la sensibilidad del VAN y TIR del proyecto con el precio del biol (13.5 g/L)</b>	171
<b>Figura 45: Gráfica de la sensibilidad del valor actual neto (VAN) del proyecto con la tasa de interés financiero (TIF).</b>	170
<b>Figura 46: Sensibilidad del ratio costo/eficacia (habitante beneficiado) promedio, con la variación de la tasa anual de crecimiento poblacional</b>	174
<b>Figura 47: Gráfica de la sensibilidad del ratio costo/eficacia (potencial de fertilización), con la tasa anual de crecimiento poblacional.</b>	175
<b>Figura 48: Gráfica que representa la sensibilidad del valor actual neto social, con la variación de la tasa anual de crecimiento poblacional</b>	176
<b>Figura 49: Sensibilidad del valor actual neto social, con la variación del precio del biol (13.5 g/L).</b>	177
<b>Figura 50: Esquema vista de planta de la planta de tratamiento de lodos generados por la planta de tratamiento de aguas residuales municipales de Huacho.</b>	177
<b>Figura 51: Diagrama mostrando los rangos característicos de un haz de electrones mono energético en una sustancia.</b>	187
<b>Figura 52: Gráfica del Rango 90% Vs Energía de los electrones del haz, en agua.</b>	189
<b>Figura 53: Gráfica del Rango 80% Vs Energía de los electrones del haz, en agua.</b>	189
<b>Figura 54: Gráfica del Rango 50% Vs Energía de los electrones del haz, en agua.</b>	190
<b>Figura 55: Gráfica del Rango Práctico Vs Energía de los electrones del haz, en agua.</b>	191

<b>Figura 56: Gráfica de la Energía Superficial Vs Energía Nominal de los electrones del haz, en agua.</b>	192
<b>Figura 57: Gráfica del Energía más Probable Vs Energía Nominal de los electrones del haz, en agua.</b>	193
<b>Figura 58: Gráfica mostrando la Energía correspondiente al Rango Z, Posterior al rango Optimo.</b>	194
<b>Figura 59: Energías y rangos característicos de haces electrónicos en el interior de sustancias</b>	194
<b>Figura 60: Botaderos de residuos sólidos y emisores de aguas residuales municipales de la Ciudad de huacho - 2015.</b>	195
<b>Figura 61: Utilización de abonos sólidos y bioles en plantaciones.</b>	198
<b>Figura 62: Fotografía satelital del delta del Río Huaura, donde se aprecia la zona contaminada de color marrón, que contrasta con el color azulado del agua de mar</b>	199
<b>Figura 63: Esquema básico del tratamiento secundario</b>	204
<b>Figura 64: Fotografías de tecnologías utilizadas en el tratamiento aerobio de aguas residuales urbanas</b>	205

## RESUMEN

**Objetivo:** Evaluar la factibilidad técnica y económica para la instalación de una planta de tratamiento de los lodos residuales de la PTAR de la ciudad de Huacho, con haces electrónicos de mediana energía (1 – 5 MeV).

**Métodos:** Se utilizó el tipo de investigación aplicada, cuasi experimental, como una propuesta de innovación tecnológica para resolver eficientemente el problema de saneamiento de los lodos residuales producidos por la planta de tratamiento aguas residuales de la ciudad de Huacho. Se analizó técnica y económicamente la aplicación de la tecnología de irradiación con electrones de mediana energía, para producir soluciones fertilizantes orgánicas con el lodo irradiado.

**Resultados:** Se estimó la población de la ciudad de Huacho para el horizonte del proyecto en el lapso 2016 - 2041, empleando una tasa anual de crecimiento poblacional 1.6 %, con este dato se estimó la producción de lodos digeridos y biomasa producidos por una PTAR de zanjas aireadas (mayor producción de lodos).

Año	Población (hab)	Producción de lodos (Kg/año)
2016	184964	17'159757.7
2041	275062	25'116559.0

Se dimensionó la planta de tratamiento de lodos con un acelerador lineal de electrones de 5 (MeV) de energía y 60 (KW) de potencia del haz. Se recomendó adquirir un acelerador de 100 (KW) si se desea atender también el tratamiento de los lodos residuales producidos por las PTARS de las ciudades vecinas de Barranca, Chancay y Huaral.

El análisis económico se realizó tomando como referencia la producción de un Bio11 13.5 (g solidos/L), se obtuvo el VAN y el TIR del proyecto. El análisis socioeconómico se realizó a través de los parámetros Costo/eficacia (hab. benef.) y Costo/eficacia (pot. fert.). Se obtuvieron los siguientes resultados.

Precio del bio1 (S./L)	VAN (S/.)	TIR (%)	Costo/eficacia (hab. Ben.) (S./hab/año)	Costo/eficacia (pot. Fert.) (S./Ha año)
0.075	1208'739650.09	580.4	1.64	4.17
0.010	110'129662.08	61.29	1.64	4.17

**Conclusión:** La propuesta para la instalación de la planta de tratamiento de lodos residuales de la PTAR Huacho es viable técnica y económicamente, con una inversión inicial de S/. 18'912300.00.

Palabras clave: Tratamiento de lodos residuales, irradiación con haces electrónicos,  
Viabilidad técnica, viabilidad económica.



## ABSTRACT

**Objective:** To evaluate the technical and economic feasibility for the installation of a wastewater treatment plant of the WWTP of the city of Huacho, with medium energy electronic beams (1 - 5 MeV).

**Methods:** The type of applied research, quasi-experimental, was used as a technological innovation proposal to efficiently solve the sanitation problem of the residual sludge produced by the wastewater treatment plant of the city of Huacho. The application of the technology of irradiation with medium energy electrons was analyzed technically and economically to produce organic fertilizer solutions with the irradiated sludge.

**Results:** The population of the city of Huacho was estimated for the project horizon in the period 2016 - 2041, using an annual population growth rate of 1.6%, with this data the production of digested sludge and biomass produced by a WWTP of Aerated ditches (higher sludge production).

Year	Population (inh.)	Sludge production (Kg/year)
2016	184964	17'159757.7
2041	275062	25'116559.0

The sludge treatment plant was dimensioned with a linear electron accelerator of 5 (MeV) of energy and 60 (KW) of beam power. It was recommended to acquire an accelerator of 100 (KW) if it is also desired to treat the waste sludge produced by the WWTPs in the neighboring cities of Barranca, Chancay and Huaral. The economic analysis was carried out taking as reference the production of a Bio1 13.5 (solid g / L), the NPV and the IRR of the project were obtained. The socioeconomic analysis was carried out through the parameters Cost / effectiveness (Ben. Inh.) and Cost / effectiveness (Fert. Pot.). The following results were obtained.

Price of bio1 (S./L)	NPV (S./)	IRR (%)	Cost/effectiveness (Ben. Inh.) (S./inh/year)	Cost/effectiveness (Fert. Pot.) (S./Ha year)
0.075	1208'739650.09	580.4	1.64	4.17
0.010	110'129662.08	61.29	1.64	4.17

**Conclusion:** The proposal for the installation of the wastewater treatment plant of the Huacho WWTP is technically and economically viable, with an initial investment of S /. 18'912300.00.

**Keywords:** Residual sludge treatment, irradiation with electron beams, technical feasibility, economic feasibility.

## INTRODUCCIÓN

El aumento de la población de la ciudad de Huacho y poblaciones cercanas han dado origen a un crecimiento del volumen de aguas residuales municipales, las cuales actualmente se desechan al río Huaura y directamente al mar.

Esta práctica, ha ocasionado la contaminación de aproximadamente 100 Km de litoral marino y del mismo modo las riveras del río Huaura.

La municipalidad de Huacho actualmente viene desarrollando un proyecto de inversión pública para construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales municipales. Los lodos efluentes de la PTAR, aparte de la carga microbiana, poseen también un alto contenido de Nitrógeno (N), fósforo (P), y potasio (K) además de otras sustancias de origen orgánico muy nutritivas para las plantas. Si no fuera por la alta contaminación de microorganismos, quistes y larvas, sería un bioabono de excelente calidad.

En el presente proyecto de investigación aplicada se plantea realizar el estudio de evaluar técnica y económicamente la instalación de una planta de tratamiento de los lodos residuales de la PTAR de la ciudad de Huacho, con haces electrónicos de mediana energía (1 – 5 MeV), con la finalidad de desinfectarlos y desinfectarlos hasta niveles permisibles, obteniendo así como producto, un biol fertilizante de alto contenido nutritivo y calidad sanitaria.



# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 Descripción de la realidad problemática

- El aumento de la población de la ciudad de Huacho y poblaciones cercanas han dado origen a un crecimiento del volumen de aguas residuales municipales, las cuales actualmente se desechan al río Huaura y directamente al mar.
- Esta práctica, ha ocasionado la contaminación de aproximadamente 100 Km de litoral marino y del mismo modo las riveras del río Huaura.
- La municipalidad de Huacho actualmente viene desarrollando un proyecto de inversión pública para construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales municipales, por medio de reactores biológicos anaerobios o aerobios, cuyas aguas efluentes servirán para surtir granjas piscícolas.
- La ejecución del proyecto está retardándose por el conflicto entre la municipalidad y la comunidad de Carquín debido a la contaminación que ocasionaría el hecho de arrojar los lodos residuales efluentes de la PTAR al mar, lo cual ha conllevado a la protesta y consecuente reclamo de la Caleta de Carquín, lugar donde estarían ubicados los vertederos. La contaminación ocasionada sería la alta carga microbiana y contenido de quistes y larvas de helmintos y ácaros que contienen los lodos efluentes de esta PTAR. Estos lodos efluentes de la PTAR, poseen también un alto contenido de Nitrógeno (N), fósforo (P), y potasio (K) además de otras sustancias de origen orgánico muy nutritivas para las plantas. Si no fuera por la alta contaminación de microorganismo, quistes y larvas, sería un bioabono de excelente calidad.
- Desde el año 2005, en varias ciudades del mundo se está aplicando la tecnología de los aceleradores de electrones de mediana energía (1 – 5 MeV), para irradiar los lodos efluentes de las PTAR desinfectándolos hasta niveles permisibles, convirtiéndolos en un bioabono orgánico de alta calidad. De este modo se resuelve de manera auto sostenido, el

problema medioambiental de arrojar estos lodos al mar o al cauce los ríos y lagos; acto que se realiza comúnmente dado que su incineración o entierro demanda altos costos operativos y ninguna utilidad.

## **1.2 Formulación del problema**

### **1.2.1 Problema general**

¿En qué medida es factible evaluar técnica y económicamente la instalación de una planta de tratamiento de los lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales municipales de la ciudad de Huacho, con haces electrónicos de mediana energía (1 – 5 MeV)?

### **1.2.2 Problemas específicos**

A. ¿En qué medida es factible evaluar técnicamente la instalación de una planta de tratamiento de los lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales municipales de la ciudad de Huacho, con haces electrónicos de mediana energía (1 – 5 MeV)?

B. ¿En qué medida es factible evaluar económicamente la instalación de una planta de tratamiento de los lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales municipales de la ciudad de Huacho, con haces electrónicos de mediana energía (1 – 5 MeV)?

## **1.3 Objetivos de la investigación**

### **1.3.1 Objetivo general**

Evaluar la factibilidad técnica y económica para la instalación de una planta de tratamiento de lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales municipales de la ciudad de Huacho, con haces electrónicos de mediana energía (1 – 5 MeV).

### **1.3.2 Objetivos específicos**

A. Evaluar la factibilidad técnica para la instalación de una planta de tratamiento de lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales municipales de la ciudad de Huacho, con haces electrónicos de mediana energía (1 – 5 MeV).

B. Evaluar la factibilidad económica para la instalación de una planta de tratamiento de lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales municipales de la ciudad de Huacho, con haces electrónicos de mediana energía (1 – 5 MeV).

#### **1.4 Justificación de la investigación**

En el presente plan de tesis se plantea realizar en primer lugar, un estudio de evaluación de la factibilidad tecnológica, que consiste en el diseño de la planta de tratamiento de lodos residuales efluentes de la PTAR Huacho, con haces electrónicos de mediana energía. Se determina el tipo de tecnología, su tamaño y ubicación.

Luego se realizará el estudio de factibilidad económica, obteniendo parámetros económicos que permitan establecer la viabilidad y auto sostenimiento de la planta. En esta parte también se realizará el estudio de impacto ambiental.

Con este estudio se podrá establecer y elaborar propuestas para el tratamiento de los lodos residuales de la PTAR Huacho, de modo auto sostenido, contribuyendo así a la financiación de la operación de la PTAR Huacho.

El producto de la planta será un bioabono orgánico de alta calidad que contribuirá a enriquecer con nutrientes los terrenos de cultivo, produciéndose de este modo frutos agrícolas con calidad de exportación.

#### **1.5 Delimitaciones del estudio**

El estudio se circunscribe a la ciudad de Huacho y poblaciones aledañas. El horizonte del proyecto es 20 años a partir del año 2016.

Consideramos las estadísticas del INEI que corresponden al censo del año 2012, para estimar su población.

Consideramos las cifras recomendadas por CEPIS para estimar la cantidad de lodos residuales a procesar. (Rojas, Curso Internacional: Gestión integral de tratamiento de aguas residuales., 2002, pág. 8). Cada habitante debe producir 250 (g de lodo seco /hab/día).

### 1.5.1 Características poblacionales de la ciudad de Huacho y Distritos Aledaños

La población será la cantidad de habitantes en el horizonte del proyecto, el cual será de 25 años a partir año de inicio del proyecto (2016).

### 1.5.2 Características geográficas de la ciudad de Huacho y Distritos Aledaños

(<https://es.wikipedia.org/wiki/Huacho>., 2017)

#### A. Ubicación

El esquema de macro localización geográfica se muestra en la FIGURA 1.

**Figura 1: Esquema de macro localización, de Huacho**



**Nota:** [www.googleearth.com](http://www.googleearth.com). Ubicación de la ciudad de Huacho en la Costa del Perú.

El proyecto se encuentra ubicado en la siguiente demarcación política.

**Tabla 1: Ubicación política en el Perú**

<b>País:</b>	<b>Perú</b>
<b>Región:</b>	<b>Lima</b>
<b>Departamento:</b>	<b>Lima</b>
<b>Provincia:</b>	<b>Huaura</b>

**B. Clima**

*El clima de Huacho, se describe como cálido y relativamente húmedo, con precipitación casi nula durante todo el año.*

*Se tiene una temperatura máxima Promedio de 24.9° C y una temperatura mínima Promedio de 15.6°C, siendo la temperatura media anual de 20.3°C.*

*Predominan en las primeras horas de la mañana vientos del sur-este y sur con una velocidad de 1,5 m/s. Al medio día predominan vientos del oeste y nor-oeste con velocidades de 3,8 m/s y en las últimas horas de la tarde prevalecen vientos del sur-este con velocidad de 3,7 m/s y vientos esporádicos del nor-oeste con 2 m/s.*

**Tabla 2: Temperaturas mínimas, máximas y promedio anual en las Regiones Lima, Ancash y Pisco entre 1988-2013**

Año	Chimbote (Ancash)			Chucuito (Callao)			Pisco (Ica)		
	Prom.	Mín.	Máx.	Prom.	Mín.	Máx.	Prom.	Mín.	Máx.
1988	19.6	16.9	22.7	18.0	15.0	21.4	19.2	15.6	23.1
1989	19.9	17.8	23.1	18.2	16.1	21.9	19.2	16.3	23.1
1990	20.4	18.0	23.4	18.4	15.7	21.1	19.2	16.3	21.9
1991	20.6	19.2	23.1	18.9	16.5	21.1	19.6	16.8	22.9
1992	21.5	19.1	25.3	20.0	16.4	24.8	20.4	16.8	24.6
1993	21.5	19.6	24.5	19.3	16.9	22.6	19.6	17.1	23.4
1994	20.6	18.4	22.4	18.9	16.4	21.6	19.2	16.3	22.0
1995	21.3	18.8	25.5	18.6	15.8	22.4	19.1	16.0	22.6
1996	19.5	15.7	22.9	17.9	15.7	20.7	18.7	16.1	21.6
1997	23.3	21.7	24.5	21.5	19.9	23.9	21.6	20.1	24.0
1998	21.9	17.7	28.2	20.5	16.4	26.3	20.8	17.3	26.2
1999	19.4	17.3	22.9	18.4	15.6	22.4	19.0	17.0	21.1
2000	19.7	17.4	22.6	18.6	16.7	21.4	19.5	17.4	21.5
2001	19.4	16.9	22.9	18.4	16.1	22.3	20.7	18.4	23.9
2002	20.1	17.2	24.9	18.9	16.0	22.7	21.0	19.5	22.7
2003	19.9	17.0	23.7	18.8	15.8	22.4	21.3	20.0	23.8
2004	20.1	17.6	24.0	18.6	16.0	22.1	20.4	18.2	22.6
2005	19.8	17.2	23.3	18.4	15.9	21.7	...	...	...
2006	20.9	18.8	23.7	18.8	17.0	22.1	20.1	17.5	25.0
2007	18.9	16.3	23.0	17.8	14.7	22.6	18.4	15.7	22.4

<b>2008</b>	20.8	18.2	27.0	18.8	17.0	22.5	20.0	17.8	22.8
<b>2009</b>	20.7	18.3	23.0	18.8	16.6	21.9	19.8	16.6	24.0
<b>2010</b>	20.2	16.1	24.8	18.2	14.9	22.5	19.3	16.1	23.1
<b>2011</b>	20.0	17.1	21.9	18.2	15.1	20.9	19.2	16.2	23.2
<b>2012</b>	21.3	18.8	23.3	19.2	16.8	21.5	20.7	18.2	23.8
<b>2013</b>	19.5	16.9	22.5	18.0	15.3	21.3	20.5	17.2	23.6

Nota: Datos tomados de Perú. Instituto Nacional de Estadística (2017). Clima: temperatura del aire promedio, mínima y máxima anual por estación de medición, 1988 – 2015. Recuperado de (<https://www.inei.gov.pe/estadisticas/indice-tematico/medio-ambiente/>).

#### **D. Humedad Relativa**

*Con relación a la variación media anual de la humedad relativa, los valores más altos registrados corresponden a 87% en el mes de agosto y los más bajos con 60% en el mes de Julio.*

#### **E. Altitud**

*La ciudad de Cercado de Huacho se halla entre 0 - 120 m.s.n.m. aproximadamente.*

#### **F. Vías de Comunicación**

*Se llega al Cercado de Huacho a través de la carretera Panamericana Norte. Partiendo hacia el Norte desde la ciudad de Lima hasta el óvalo a la entrada de la localidad de Cercado Huacho, a lo largo de la carretera Panamericana, hay 150 Km.*

### **1.6 Viabilidad del estudio**

Cada tipo de análisis posee sus características y proposiciones que lo sustentan; la elección de qué clase de análisis a efectuar depende de esas proposiciones.

Para el estudio de la viabilidad tecnológica, investigaremos las ofertas en el mercado internacional de aceleradores de electrones diseñados para irradiar aguas residuales municipales.

Para el estudio de la viabilidad económica, usaremos parámetros económicos como: valor actual neto, tasa interna de retorno, ratio beneficio/costo, ratio costo eficacia, valor actual neto social, entre otros.

Por tal razón y considerando que disponemos de los datos necesarios para determinar todos los parámetros indicados, podemos asegurar que el estudio es viable de poder realizarse.

Respecto a la viabilidad de aplicar la propuesta de innovación tecnológica para resolver la problemática de la ciudad de Huacho, esta es el producto del presente estudio.



## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes de la investigación

##### 2.1.1 Investigaciones internacionales

(Chmielewski, y otros, 1995) Disinfection of municipal sewage sludge in installation equipped with electron accelerator. Institute of Nuclear Chemistry and Technology. Dorodna, 16. 03-1995 Warsaw, Poland. Institute of Environmental Protection. Krucza Z/1. 00-548 Warsaw, Poland. Finalidad del estudio: En este trabajo se describen algunos resultados de las investigaciones realizadas en el Instituto de Química y Tecnología Nuclear y el Instituto de Protección del Medio Ambiente en Varsovia, sobre la influencia de haces de electrones de 10 MeV en bacterias, parásitos y huevos de parásitos presentes en los lodos de depuración de aguas residuales municipales de diferente plantas de tratamiento, en Polonia. También se presentan los parámetros básicos de diseño para una instalación industrial, los cuales han sido elaborados sobre la base de estos experimentos. Arriba a las siguientes conclusiones: La irradiación es un método rápido y fiable de desinfección de lodos de aguas residuales municipales. Los lodos desinfectados con aceleradores de electrones pueden ser utilizados como fertilizante del suelo inmediatamente después del tratamiento y no son necesarias grandes áreas de terreno para su disposición por un largo tiempo. El contenido de metales pesados en los lodos tratados, debe estar dentro de los límites aceptables para su aplicación en agricultura. A pesar de que los costos de inversión de instalaciones de este tipo es relativamente alto, el costo de operación es moderada.

(Hashimoto, Nishimura, Kawakami, & Watanabe, 1986) *Disinfection of Sewage Sludge Cake by an Electron Accelerator.* Takasaki Radiation Chemistry Research



*Establishment, Japan Atomic Energy Research Institute, Takasaki, Gunma -Japan.* Tuvo Como finalidad Del estudio: Estudio de los efectos de la tasa de dosis de radiación, la energía de electrones y presencia de oxígeno en la desinfección de las tortas de lodo de aguas residuales. Películas de lodos fueron irradiados con haces de electrones a diferentes voltajes y diversas tasas de dosis en atmósferas que contenían oxígeno y libres de oxígeno. Arriba a las siguientes Conclusiones:

La fracción de supervivencia de las bacterias disminuye con el aumento de la dosis de irradiación, pero dependía poco con el espesor de la película de lodos. No se encontraron efectos con el cambio de la tasa de dosis y la energía en los rangos de 20 kGy/h hasta 65 MGy/h, y de 0,5 a 2,0 MeV cuando la película era lo suficientemente delgada como para permitir la penetración del haz de electrones. Se obtuvieron resultados similares con la irradiación de rayos gamma. En la atmósfera que contenía oxígeno, se obtuvo una mayor eficiencia de la desinfección con películas más delgadas y tasas de dosis más bajas.

(Farooq, Kurucz, Waite, & Cooper, 1993) *Disinfection of wastewaters: high-energy electron vs gamma irradiation. Department of Civil Engineering, King Fahd University of Petroleum and Minerals, Dhahran 31261, Saudi Arabia. University of Miami, Coral Gables, FL 33124. Drinking Water Research Center, Florida International University, Miami, FL 33199, U.S.A.* Finalidad del estudio: Se realizó un estudio para examinar la sensibilidad de una población de colifagos, coliformes totales y flora totales, presentes en las aguas residuales no digeridas y en efluentes secundarios, después de la irradiación con dosis similares entregadas por un haz de electrones de alta energía y radiación gamma. El estudio con haz de electrones se realizó a gran escala en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Virginia Key, Miami, Florida. La instalación está equipada con un acelerador de electrones de 1.5 MeV, 50 mA, que fue aplicado a una velocidad de flujo de aguas residuales de 8 L/s. Se realizaron estudios simultáneos usando radiación gamma a escala de laboratorio, utilizando una fuente gamma de Co-60 de 5000 Ci. Se arribó a las siguientes Conclusiones: Se observó una reducción de tres décadas en la población de todos los tres microorganismos de ensayo a una dosis de haz de electrones de 500 krad. Se observó, a la misma dosis, utilizando la fuente gamma, una reducción de al menos cuatro décadas en la población de los microorganismos estudiados.

(Maruthi, y otros, 2011) *Disinfection and reduction of organic load of sewage water by electron beam radiation. Radiation Technology Development Division of the*

*Bhabha Atomic Research Centre, Mumbai India.* Tubo como finalidad La eficacia de la radiación de haces de electrones para la desinfección y reducción de la carga orgánica de las aguas residuales se evaluó con un acelerador de electrones ILU-6, en la División de Desarrollo de Tecnología de Radiaciones del Centro de Investigación Atómica de Bhabha, Mumbai India. El problema actual en salud ambiental en relación con la contaminación del agua está orientado hacia la eliminación segura de las aguas residuales. En, general las aguas residuales comprenden productos químicos orgánicos heterogéneos, así como patógenos. Se ha descubierto que el tratamiento de las aguas residuales con haces electrónicos es muy eficaz en la reducción de los patógenos, así como la carga orgánica. Arriba a la siguientes conclusiones: en la búsqueda de metodologías alternativas más limpias, la corriente tecnológica del tratamiento de aguas residuales que utiliza la radiación ionizante producida por aceleradores de electrones (haz de electrones-EB) resulta ser una alternativa respetuosa con el medio ambiente sin el uso de productos químicos. En el método convencional, la cloración de agua da como resultado la formación, en la naturaleza, de productos tóxicos órgano-clorados, que son mutagénicos y cancerígenos. Los Resultados obtenidos a la dosis absorbida (3 KGy), mostró ser muy eficientes para la desinfección de las aguas residuales. Asimismo, a la misma dosis absorbida se observó una mejora sustancial en la calidad de las aguas residuales con una disminución en la carga orgánica, que conduce a un mejor proceso de biorremediación. En el proceso de irradiación, la materia orgánica en las aguas residuales será degradada a través de la transformación de complejos a las formas moleculares más simples que son fácilmente metabolizados por la micro flora del suelo nativo durante el riego. Por lo tanto, este estudio pone de relieve la ventaja del uso de radiación de haces de electrones para la remediación aguas residuales. De manera similar, a la más alta dosis absorbida de (6 KGy) el porcentaje de remoción de la carga orgánica en las aguas residuales aumentó hasta 50% de su carga inicial. Por otra parte, nuestro estudio defiende el uso de la radiación ionizante de haces electrónicos para el tratamiento de aguas residuales, de dos maneras: La menor dosis absorbida (3 KGy), para ayudar a la biorremediación y desinfección durante el proceso de tratamiento terciario. La mayor dosis absorbida (6 KGy), para la reducción de la carga orgánica presente en las aguas residuales.

## 2.1.2 Investigaciones nacionales

(Mendez Vega & Marchán Peña, 2008) Diagnóstico situacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en las empresas prestadoras de servicios de saneamiento (EPSS) del Perú y propuestas de solución. Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS). GTZ/PROAGUA, Cooperación Alemana al Desarrollo. Tuvo como objetivos: Identificar la problemática de las EPS en la gestión de las aguas residuales a nivel nacional. Proponer soluciones integrales, sistémicas y viables para mitigar las causas de la problemática identificada. Llega a la siguiente Conclusiones: Como parte de la propuesta sectorial se pone a consideración del ente rector del sector saneamiento cinco lineamientos generales que recogen las conclusiones del estudio y la visión que el sector podría adoptar a fin de resolver la problemática de las PTAR y mejorar su eficiencia.

*Primer lineamiento* El tratamiento de las aguas residuales de la EPS contribuye a proteger la calidad de los cuerpos de agua y deberán ser parte de la gestión eficiente de los recursos hídricos del país, y sus costos asumidos por los usuarios. Para ello es necesario el cumplimiento de las siguientes condiciones. Las EPS deben tener una visión empresarial de largo plazo y políticas consecuentes con su voluntad de no dañar el ambiente. Las organizaciones del sector saneamiento, de salud y los gobiernos locales deben contar con competencias para el tratamiento, reúso y control de las aguas residuales tratadas. La disposición del agua residual tratada debe ser regulada en función de los estándares de calidad del cuerpo receptor y del tipo de uso. El sector industrial debe comprometerse a tratar sus efluentes antes de efectuar sus descargas a los colectores públicos. Las EPS deben contar con los mecanismos legales para sancionar el incumplimiento de los LMP en las descargas de sus clientes. El costo del tratamiento de las aguas residuales debería estar diferenciado de los servicios que brinda una EPS, a fin de lograr conciencia en la sociedad.

*Segundo lineamiento* Las tecnologías para tratar las aguas residuales deben asegurar su eficacia y sostenibilidad para la protección de la salud y el medio ambiente, de acuerdo a sus objetivos de calidad. Para ello es necesario el cumplimiento de las siguientes condiciones. Explorar y adoptar nuevas tecnologías que contribuyan a lograr con eficiencia la remoción de los contaminantes de las aguas residuales. Manejar técnicamente los lodos y subproductos del tratamiento de las aguas residuales para reducir el impacto negativo en el ambiente. Crear espacios de investigación en el sector que permitan identificar problemas y buscar soluciones locales. Capacitar continuamente a los recursos humanos del sector para garantizar la adecuada toma de decisiones sobre la tecnología, la gestión y

el financiamiento. El ente rector y la SUNASS deben tener facultades efectivas para actuar preventivamente en la selección de tecnologías y en los compromisos financieros que asumen las EPS respecto a las PTAR. *Tercer lineamiento* Contar con normas actualizadas en materia de tratamiento de aguas residuales y sus subproductos. Para ello es necesario el cumplimiento de las siguientes condiciones. Actualizar los límites máximos permisibles de las descargas industriales a los colectores públicos. Actualizar los límites máximos permisibles de las descargas de las PTAR de efluentes líquidos domésticos a los cuerpos de agua. Actualizar la normatividad relacionada con el manejo y reúso de lodos de las PTAR. *Cuarto lineamiento* Promover el reúso productivo de las aguas residuales tratadas para la obtención de beneficios económicos, sociales y ambientales. Para ello es necesario el cumplimiento de las siguientes condiciones.

Incorporar el agua residual tratada como parte del recurso hídrico y comprometer su reúso. El reúso de las aguas residuales tratadas debe contribuir al desarrollo de actividades agrícolas y otros aprovechamientos. Se deben ejecutar sistemas integrados de tratamiento y reúso de aguas residuales en lugares con capacidad productiva para que generen beneficios económicos, sociales y ambientales. El reúso de las aguas residuales tratadas reduce las descargas a los cuerpos receptores, con lo cual se atenúa su impacto. *Quinto lineamiento* Explorar nuevas oportunidades de financiamiento para ampliar el volumen tratado de las aguas residuales producidas por las EPS. Para ello es necesario el cumplimiento de las siguientes condiciones. El volumen de las aguas residuales sin tratamiento es de 28,65 m<sup>3</sup>/seg, lo cual debe motivar a que las organizaciones del sector sumen esfuerzos para incorporar modalidades creativas que permitan captar fondos para la construcción de PTAR.

Se debe dar mayores recursos al mejoramiento de las actuales PTAR a fin de que traten las aguas residuales con eficiencia. El mercado de bonos de carbono puede constituir para las PTAR una oportunidad para garantizar su buena operación y mantenimiento.

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Conceptos físicos y tecnológicos del proceso de irradiación con haces electrónicos**

#### **2.2.1.1 ¿Qué significa Energía del Electrón?**

Energía del electrón significa el equivalente de la cantidad de energía cinética ganada durante el proceso de aceleración. Es usualmente medida en unidades electrón voltios (eV) que corresponde a la cantidad de energía ganada por un electrón acelerado a través de una diferencia de potencial eléctrico de un (1) voltio (V). Los electrones con alta energía

cinética, cuando viajan a velocidades cercanas a la velocidad de la luz, pueden penetrar dentro de materiales sólidos o líquidos. Ellos depositan esta energía sobre todo el volumen del objeto irradiado. La energía del electrón es el principal parámetro de cualquier acelerador industrial. La energía del electrón depende de la construcción del acelerador. La energía adecuada para procesos de irradiación está en el rango 0,1 – 10 (MeV).

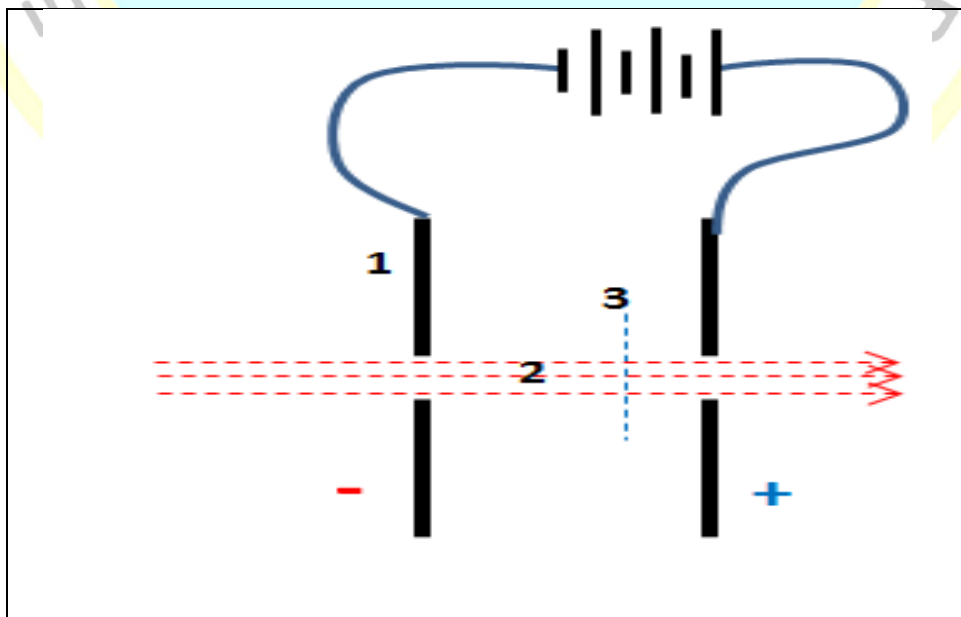
### 2.2.1.2 ¿Qué es un Haz Electrónico?

Un haz de electrones es un flujo de electrones acelerados por campos eléctricos hasta velocidades cercanas a la velocidad de la luz, moviéndose todos en la misma dirección. El haz de electrones puede ser enfocado, curvado y escaneado mediante el empleo de campos magnéticos y eléctricos para conformar áreas de irradiación adecuadas e incrementar la eficiencia del proceso de irradiación. El más común ejemplo de aplicación de haces electrónicos es el tubo de televisión.

### 2.2.1.3 ¿Qué es la Corriente del Haz de Electrones?

La corriente del haz representa la corriente eléctrica determinada por el número de electrones que se suministra al haz por unidad de tiempo. Equivale al número de electrones del haz multiplicados por la carga eléctrica fundamental, que atraviesan una sección transversal del haz por unidad de tiempo, se mide en amperios (A).

**Figura 2: Esquema de un haz de electrones que está siendo acelerado**



**Nota:** Elaboración propia.

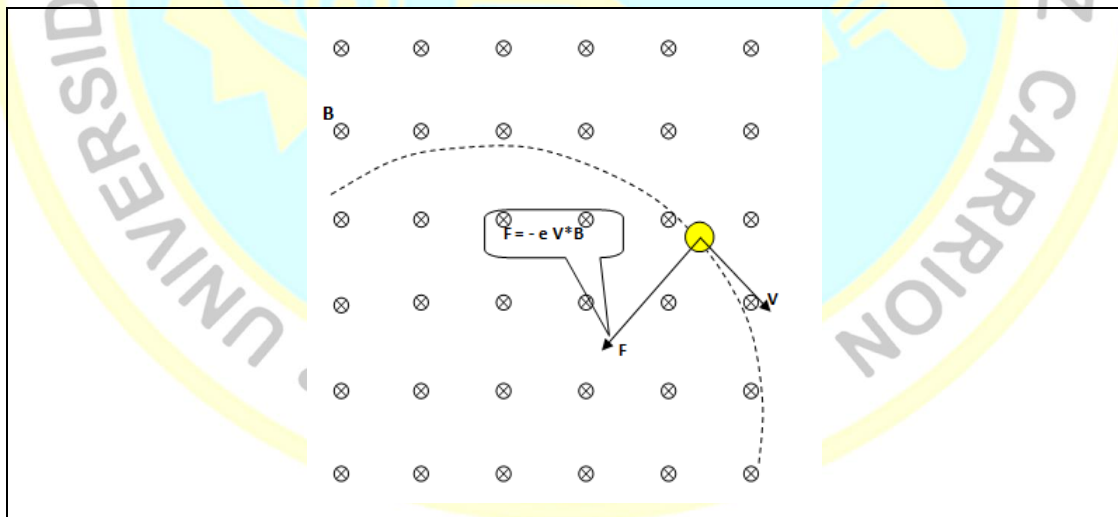
#### 2.2.1.4 ¿Qué es la Potencia del Haz de Electrones?

La potencia del haz de electrones es la cantidad de energía cinética del haz electrónico que cruza la sección transversal del haz al nivel de la ventana, por unidad de tiempo. Depende de la energía de los electrones y el nivel de corriente el haz. Este parámetro determina la tasa e producción de material irradiado de la vacilad de irradiación.

#### 2.2.1.5 ¿Puede ser Transportado un Haz Electrónico?

Los haces electrónicos pueden ser fácilmente transportados en condiciones de alto vacío. Una de las características más importantes de los haces electrónicos es la posibilidad de transportarlos a largas distancias lo cual puede ser realizado con gran precisión. Los electrones que viajan a alta velocidad son fuertemente afectados por campos magnéticos. Por lo tanto, sistemas magnéticos son comúnmente utilizados para transportar haces electrónicos de alta potencia y conformar áreas de irradiación apropiadas por escaneo magnético.

**Figura 3: Esquema de la trayectoria de un electrón que se mueve con velocidad perpendicular a un campo magnético uniforme en dirección entrante a la página.**

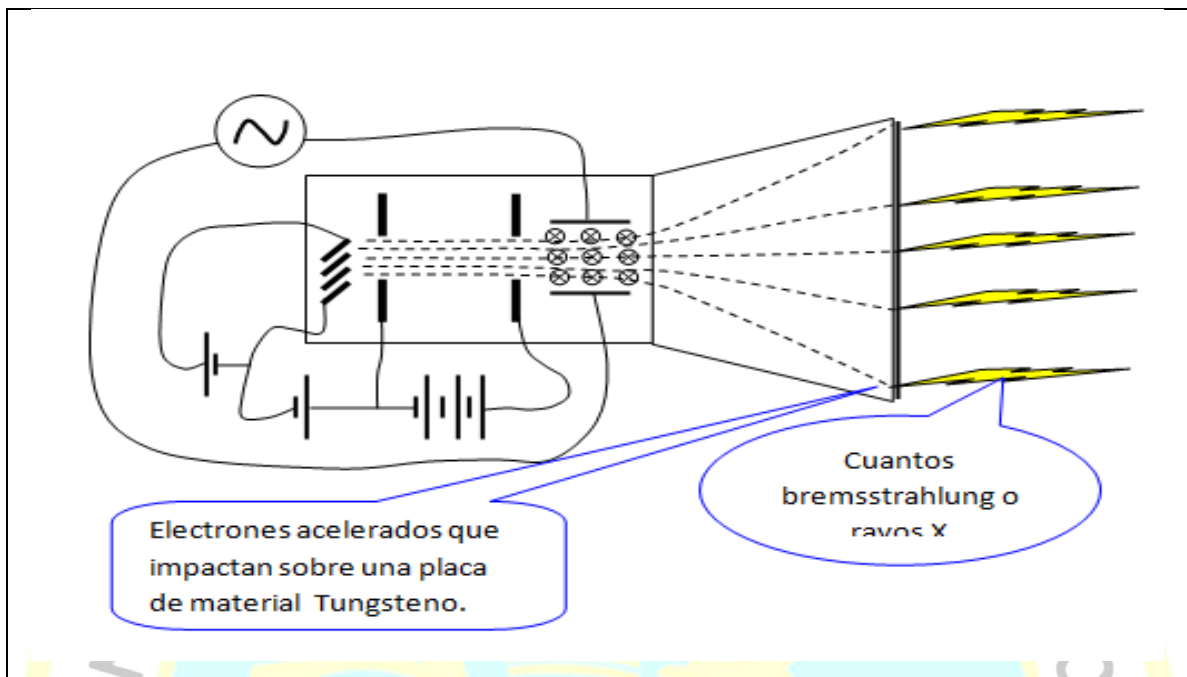


**Nota:** Elaboración propia.

#### 2.2.1.6 ¿Qué es BREMSSTRAHLUNG?

Es una radiación electromagnética que es emitida por electrones acelerados reflectados en su colisión con núcleos de un átomo que pertenece a un objeto o sustancia la cual está bajo bombardeo de electrones.

**Figura 4:** Esquema indicando las partes fundamentales de un acelerador de electrones lineal.



**Nota:** Elaboración propia.

El haz de electrones procedente de los aceleradores puede ser usado para irradiación directa o convertido a cuantos bremsstrahlung (o rayos X).

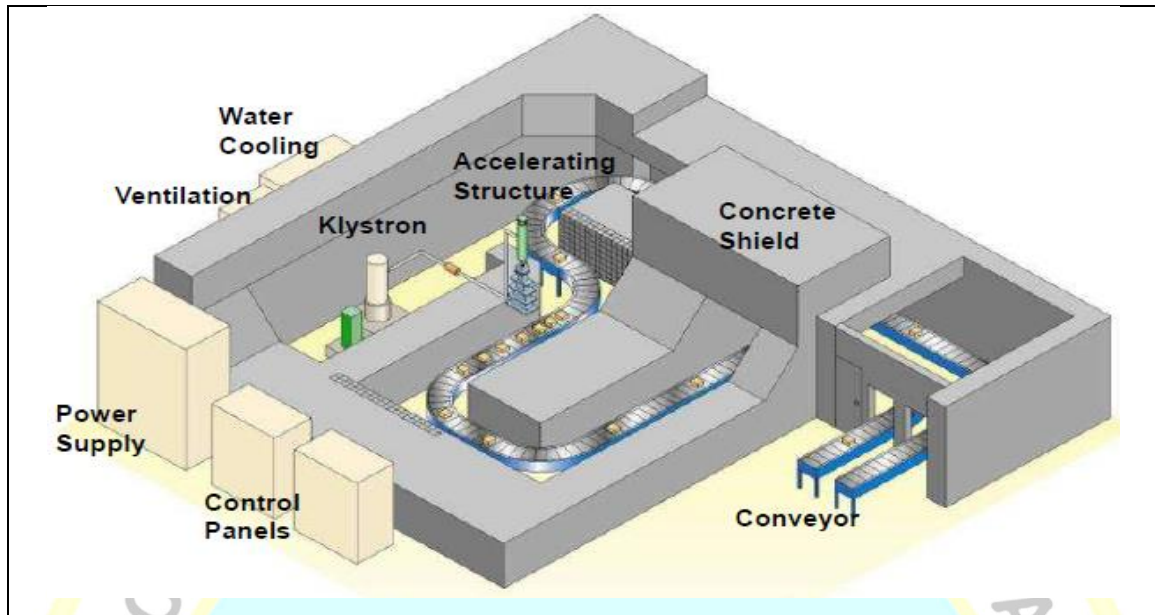
#### **2.2.1.7 ¿El Haz de Electrones Puede Inducir Radioactividad?**

El nivel de energía del haz de electrones al incidir sobre los materiales comúnmente utilizados en los procesos de irradiación, determina si se produce o no radioactividad inducida. Cuando el haz de electrones posee una energía inferior a 10 (MeV) no se produce radiactividad inducida.

#### **2.2.1.8 ¿Cómo se Blinda el Haz de Electrones?**

La cantidad de blindaje requerido depende de la energía del haz de electrones y de la intensidad de corriente del haz.

**Figura 5: Esquema que muestra el blindaje requerido para un acelerador de electrones de alta energía**



**Nota:** Esquema tomado de (EB-TECH Co. Ltd., 2013, p. 3).

El haz de electrones y la radiación X bremsstrahlung emitida en el material que está siendo sometido al bombardeo electrónico puede dañar las funciones esenciales en las células vivas. Para evitar este riesgo, se requiere de un blindaje apropiado, típicamente hecho en concreto, también puede emplearse materiales de alto número atómico como acero o plomo. Si es así, el potencial de exposición de radiación, para los trabajadores de la facilidad y el público es extremadamente pequeño, en concordancia con los límites de tolerancia permitidas.

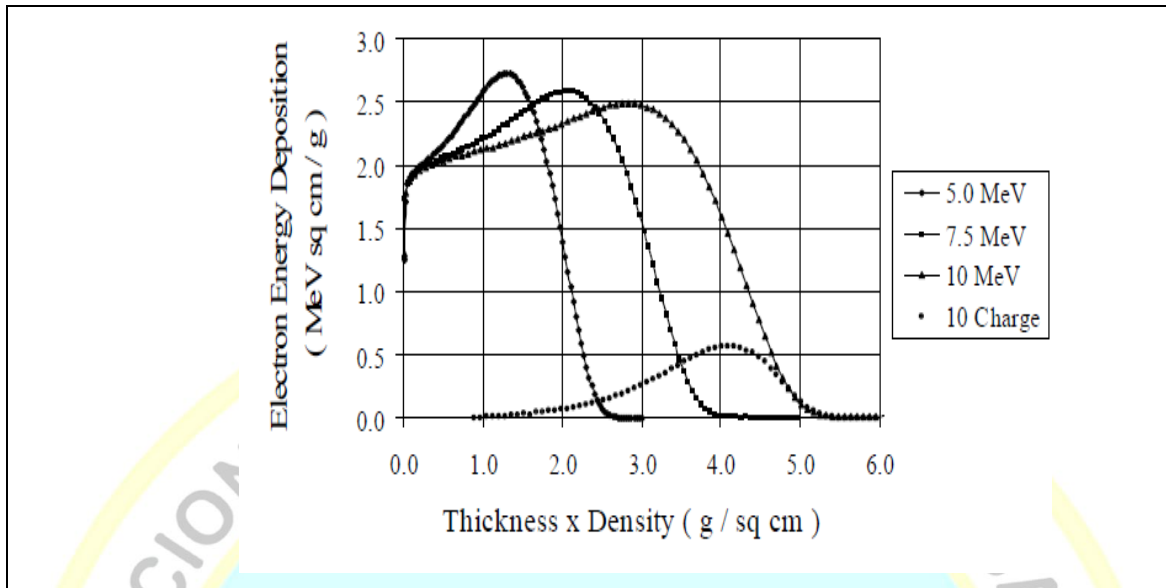
Los aceleradores de bajo rango de energía y potencia son auto blindados muy a menudo, con hierro y plomo y el blindaje para la radiación es parte integral del acelerador. Estos aceleradores pueden ser ubicados directamente en la línea de producción.

### **2.2.1.9 ¿Qué es la penetración del Haz de Electrones?**

La penetración es la máxima distancia que puede ser cubierta por los electrones, que poseen una determinada energía, en el interior de un material irradiado. La penetración de los electrones es aproximadamente proporcional a la energía de los electrones e inversamente proporcional a la densidad del material irradiado.



**Figura 6: Polietileno, en función de la penetración en el material irradiado.**



**Nota:** La gráfica ha sido tomada de la p. 66 de, Cleland, M., R., Fernald, R., A., Malcof, S., R. (2005). Industrial application of Electron Accelerators. Recovered from <http://cas.web.cern.ch/cas/Holland/PDF-lectures/Cleland/School-2.pdf>.

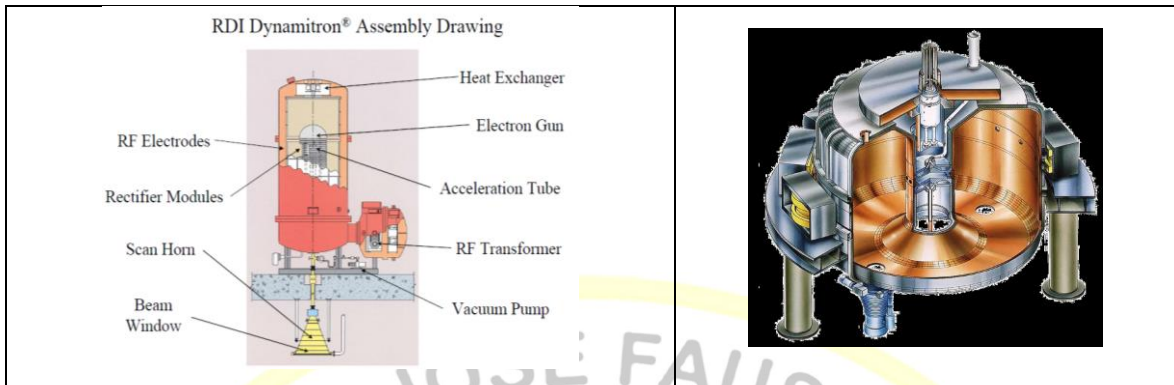
### 2.2.1.10 ¿Qué es un Acelerador de Electrones?

Un acelerador de electrones es un instrumento eléctrico que tiene por finalidad acelerar un haz de electrones hasta energías altas de acuerdo a la aplicación que se le dé.

Un acelerador lineal (LINAC), acelera los electrones a lo largo de una sección de aceleración rectilínea, consta de las partes indicadas en el esquema adjunto. Un acelerador circular, Rhodotron, en cada pasada por el eje central, los electrones se aceleran de 0.8 a 1.66 MeV. Una vez que los electrones han finalizado su proceso de aceleración, el haz es extraído desde la cavidad y escaneado con el fin de generar una “una cortina de electrones para procesar el producto.

Todos los aceleradores de electrones operan bajo el mismo principio, donde partículas cargadas son aceleradas bajo la acción de campos eléctricos los cuales pueden ser creados directamente mediante electrodos de alto voltaje o indirectamente mediante campos magnéticos variables.

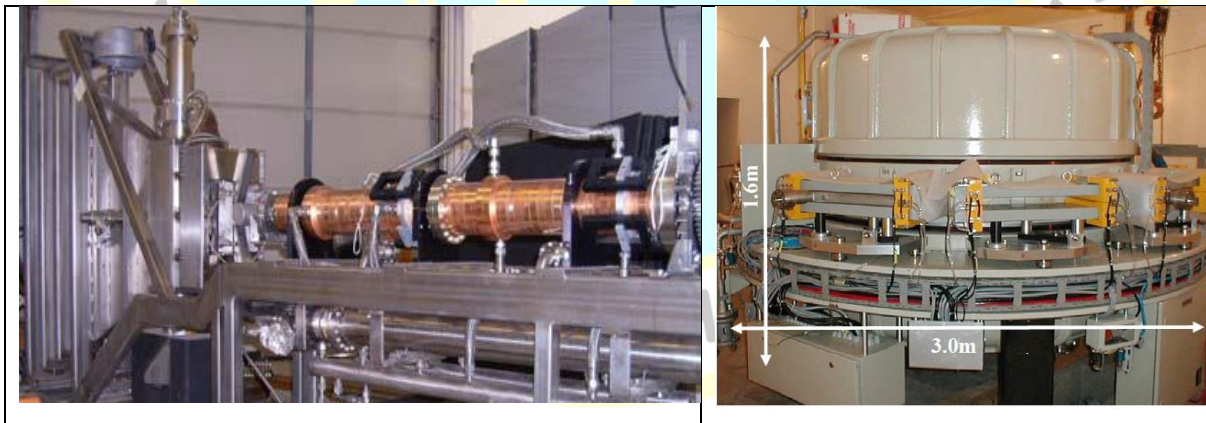
**Figura 7: Esquema mostrando las partes de un acelerador Dinamitron RDI, lado izquierdo (1) y un acelerador Rhodotron, lado derecho (2).**



**Nota:** (1) Tomado de la p.24, (2) tomado de la p. 21 de, International Atomic Energy Agency, Revisión 6 (2011). Recovered from: <http://cirms.org/pdf/Industrial%20Radiation%20Processing%20-%20May%202011%20-%20Revision%206.pdf>

Todos los parámetros del acelerador tales como: energía del electrón, corriente eléctrica del haz electrónico, potencia del haz electrónico, tamaño de la zona irradiada; dependen del diseño y construcción del acelerador. El acelerador de electrones tal como cualquier otro instrumento eléctrico puede ser encendido y apagado. Los aceleradores no emiten radiación cuando el suministro de corriente eléctrica está apagado.

**Figura 8: fotografías de un acelerador Mevex LINAC, 10 MeV, 30 KW, izquierda (1). Un Rhodotrón, 10 MeV, 200 KW, derecha (2).**



**Nota:** (1) Tomado de la p.20, (2) tomado de la p. 21 de, International Atomic Energy Agency, Revisión 6 (2011). Recovered from: <http://cirms.org/pdf/Industrial%20Radiation%20Processing%20-%20May%202011%20-%20Revision%206.pdf>.

### 2.2.1.11 ¿Puede un Acelerador Explotar?

Los aceleradores de electrones se construyen de manera similar a otros sistemas eléctricos o electrónicos. No pueden explotar por sí mismos. Cualquier material de naturaleza explosiva no puede ser tratado por un acelerador de electrones.

### 2.2.1.12 Aplicaciones

Los datos que se presentan a continuación han sido tomados de, (Cleland M. R., 2005)

Etapa final de Esterilización de Materiales y Equipos Médicos

- Productos para el cuidado de heridas.**
- Contenedores de colección de especímenes.**
- Cortinas.**
- Catéteres.**
- Hisopos estériles.**
- Embases asépticos.**
- Guantes.**
- Implantes.**



Irradiación de Alimentos

- Extensión de la vida media.**
- Desinfestación.**
- Control de patógenos, por ejemplo, salmonella.**
- Reducción de Patógenos en Aguas de consumo**



- Desinfección de Desechos Médicos**
- Reducción de Patógenos en desechos sólidos.**
- Reducción de patógenos en desechos líquidos.**



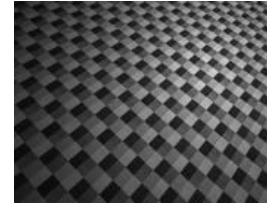
Modificación de Propiedades Físicas

- Coloración de piedras preciosas.**
- Endurecimiento de semiconductores**



Modificación de Propiedades Químicas

- Cura de compuestos.
- Producción de enlaces cruzados en polímeros.
- Degradación de Teflón para lubricantes secos.



### .Tratamiento de aguas y lodos residuales de PTARs.



#### 2.2.2 Efecto de las radiaciones ionizantes sobre los microorganismos

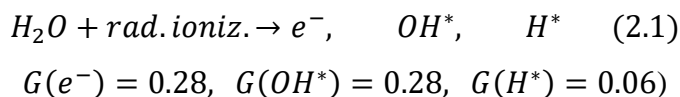
Recientemente, la aplicación de radiación ionizante, radiación de haces de electrones especialmente, la cual se genera desde un acelerador de haz de electrones para tratar las aguas residuales, ha atraído a los ambientalistas.

Según, (Kim, Han, Kim, & Yaacov., Electron beam sludge system, 2009, p. 8), la principal ventaja de esta radiación de haces de electrones sobre otros tratamientos es que inactiva microorganismos dañinos y parásitos, remueve sustancias contaminantes por degradación oxidativa, elimina toxicidad, color y malos olores de las sustancias contaminantes, y adiciona biodegradabilidad por cambio en la estructura química, mejora las propiedades de precipitación y filtración de partículas contaminantes finas.

En agua, así como en las aguas residuales, el componente principal es el agua. Por lo tanto, sería de esperar que el efecto de la radiación ionizante sea causado por la interacción de la radiación y el agua.

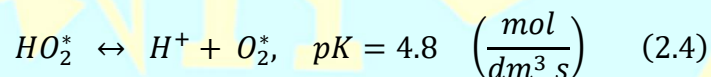
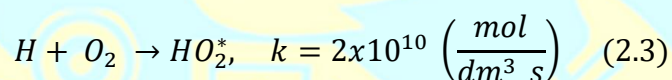
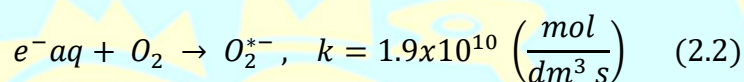
Según (Sampa, y otros, 2007, págs. 138-142). Cuando el agua conteniendo impurezas contaminantes en concentraciones menores a alrededor de 1 (mol/dm<sup>3</sup>) es irradiada,

generalmente es aceptado que la radiólisis del soluto es despreciable y los cambios químicos en el sistema ocurren en la reacción de los reactivos intermedios de la radiólisis del agua.



Los valores de G son los factores de producción de los intermediarios primarios expresados en ( $\mu$  mol/J).

Dado que el agua residual generalmente contiene alrededor de  $10^{-4}$  (mol/dm<sup>3</sup>) de oxígeno,  $e^-$  aq y  $H^*$  son mayormente convertidos en radicales peroxy,



Por lo tanto, los contaminantes halogenados (los cuales reaccionan rápidamente con los electrones hidratados) con concentraciones más bajas tienen menor probabilidad de reaccionar con los electrones acuosos  $e^-$  aq.

Estas sustancias producidas son altamente reactivas haciendo que la radiación ionizante sea bastante efectiva para inactivar microorganismos los cuales están presentes en los efluentes secundarios. Ha sido demostrado que los coliformes y colifagos pueden ser efectivamente inactivados.

Por lo tanto, los efectos de la irradiación de haces de electrones sobre las aguas residuales son la inactivación de microorganismos, principalmente en los patógenos, así como la reducción de la carga orgánica presente en las aguas residuales.

Este efecto es dependiente de la energía de radiación ionizante absorbida por unidad de masa del medio donde se desarrollan los microorganismos y se expresa en (J/Kg), unidad que se denomina Gray (Gy).

La dependencia de la inactivación con la dosis es generalmente sigue una regla logarítmica: el logaritmo del número de microorganismos contenidos en un volumen unitario es linealmente decreciente con la dosis.

Por lo tanto, el efecto de las radiaciones ionizantes sobre los microorganismos puede modelarse mediante una reacción de primer orden, del siguiente modo.

La probabilidad de destrucción de microorganismos  $K$ , por unidad de dosis absorbida, es representada por la siguiente ecuación.

$$K = - \frac{dN}{N dD} \quad (2.5)$$

Donde,

$dN$ : cantidad diferencial de microorganismos destruidos.

$N$ : población inicial de microorganismos.

$dD$ : cantidad diferencial de dosis de radiación ionizante, absorbida por los microorganismos, (Gy).

$K$ : probabilidad de destrucción de microorganismos por unidad de dosis absorbida, (1/Gy).

Resolviendo esta ecuación por el método de separación de variables, considerando condiciones iniciales, para  $t = 0$   $N = N_0$ , resulta.

$$N(D) = N_0 e^{-K D} \quad (2.6)$$

Cuando se caracteriza la dosis de reducción decimal de microorganismos (dosis requerida para reducir la población de un determinado microorganismo al 10% de la población original),  $D_{10}$ , resulta la siguiente expresión.

$$\frac{N(D)}{N_0} = \frac{1}{10} = e^{-K D_{10}} \quad (2.7)$$

$$K = \frac{\ln(10)}{D_{10}} \quad (2.8)$$

Al reemplazar la expresión (2.6) en (2.4) obtenemos.

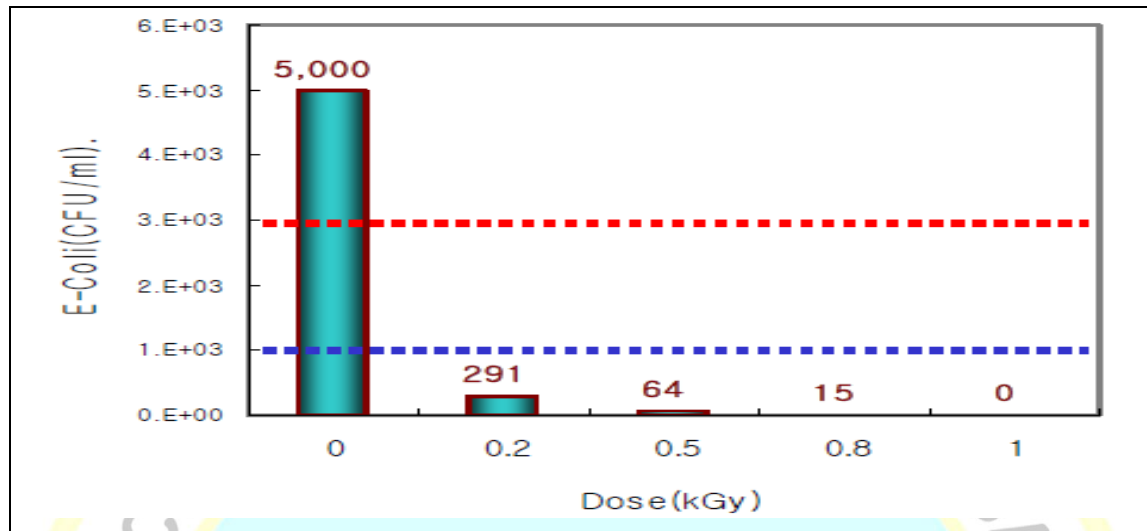
$$N(D) = N_0 e^{-\left(\frac{\ln(10)}{D_{10}}\right)D} \quad (2.9)$$

Se acostumbra a reportar el efecto de las radiaciones ionizantes sobre las poblaciones de microorganismos en forma de dosis decimal, indicando el tipo de microorganismo, tipo de radiación ionizante ( $\gamma$ , X, electrones).

Un reporte experimental muy útil, que usaremos en la presente tesis, es aquel realizado por, (Kim, Han, Kim, & Yaacov, Design of electron beam higienization plant, 2009, p. 6), concluyeron que con una dosis de 3 KGy absorbida por un cake de lodo efluente de un proceso anaeróbico, se redujo la población total de bacterias en 3 a 4 decadas y a 10 (KGy) la eliminación de los agentes patogénicos fue sustancial, por debajo de los riesgos patogénicos.

Consultado de (Kim, Han, & Kim, Wastewater disinfection with electron beams, 2005, p. 4), se obtuvo la gráfica de la Figura 9.

**Figura 9: Desinfección de E-Coli con diferentes dosis de haces electrónicos**



**Nota:** Tomado de la p. 4 de, Kim Y., Han B., Kim J. (2005).

### 2.2.3 Aspectos físicos del proceso de irradiación con haces electrónicos

El proceso de irradiación comprende el tratamiento de materiales y productos con energía ionizante para modificar sus propiedades físicas, químicas y biológicas mejoradas, por lo tanto, su utilidad y valor. La más importante magnitud en cualquier proceso de irradiación es la dosis absorbida, la cual es la cantidad de energía depositada en el material por unidad de masa. En un proceso de tratamiento con haces electrónicos, esta cantidad es determinada por la energía cinética de los electrones, la corriente eléctrica del haz electrónico, la potencia del haz electrónico, el tiempo de tratamiento, y también por el tamaño, forma, densidad y composición del material irradiado. Estos aspectos serán revisados y se establecerán métodos prácticos para definir los requerimientos de procesos de tratamiento típicos.

#### 2.2.3.1 Dosis absorbida

La unidad Internacional para la medida de la dosis es el Gray (Gy), el cual es definido como la energía ionizante de Un (1) Joule (J) absorbida por un kilogramo (kg) de material tratado,  $1 \text{ (Gy)} = 1 \text{ (J/Kg)}$ . En procesos de irradiación, una unidad comúnmente utilizada es el Kilogray (KGy) equivalente a  $1000 \text{ (Gy)} = 1 \text{ (KJ/Kg)} = 1 \text{ (KW.s/Kg)}$ . El KW.s es



fácilmente relacionado con la potencia del haz electrónico, el cual se expresa comúnmente en Kilowatt (KW).

Otra antigua y pequeña unidad de dosis es el rad, el cual es definido como la energía ionizante de 100 (erg) absorbida por cada gramo (g) de material tratado, 1 (rad) = 100 (erg/g), equivale a 0,01 (Gy); así 100 (rad) = 1 (Gy) y 1 (Mrad) = 10 (KGy).

### 2.2.3.2 Incremento de la temperatura

El incremento de temperatura y la dosis absorbida son cantidades análogas porque ambas son proporcionales a la energía absorbida por unidad de masa. Con las altas dosis usadas en algunos procesos de irradiación, el incremento de temperatura puede ser suficiente para ser medido precisamente con un calorímetro. Este procedimiento es usado para calibraciones absolutas de dosímetros de radiación en laboratorios de estándares nacionales.

La relación entre el incremento de temperatura y la dosis puede ser expresada por la siguiente ecuación.

$$\Delta T = \frac{D}{C_e} \quad (2.10)$$

Donde,

$\Delta T$ : elevación de temperatura, ( $^{\circ}\text{C}$ ).

D: dosis absorbida, (Gy).

$C_e$ : calor específico de la sustancia, ( $\text{J/Kg}^{\circ}\text{C}$ ).

Para el agua  $C_e = 4187 \text{ (J/kg}^{\circ}\text{C)} = 4,187 \text{ (J/g}^{\circ}\text{C)} = 1 \text{ (cal/g}^{\circ}\text{C)} = 1 \text{ (kcal/Kg}^{\circ}\text{C)}$ .

El calor específico de algunos plásticos puede ser alrededor de 0,5 ( $\text{cal/g}^{\circ}\text{C}$ ) mientras que algunos metales puede ser alrededor de 0,1 ( $\text{cal/g}^{\circ}\text{C}$ ) de modo tal que la elevación de la temperatura en tales materiales será más grande que en el agua. Para algunas aplicaciones, tales como tratamiento de agua, preservación de alimentos y enlace cruzado de plásticos, los efectos térmicos son usualmente sin importancia, pero con productos que contienen componentes metálicos, tales como alambres para conexión eléctrica y cables multiconductores, la elevación de la temperatura en el cobre puede ser significativa y debe ser considerada en el proceso del tratamiento como una variable limitante.

### 2.2.3.3 Penetración

Según (Cleland M. R., 1997, pp. 1-5), en materiales irradiados con electrones de alta energía, la dosis absorbida aumenta con el incremento del espesor hasta alrededor del punto medio del rango electrónico y luego decae hasta un valor relativamente bajo cerca del final del rango. El máximo rango para electrones es cercanamente proporcional a la energía de los electrones y es alrededor de 5 (cm) en agua para una energía de los electrones igual 10 (MeV). En otros materiales con bajos números atómicos, el máximo rango es inversamente proporcional a la densidad promedio del material.

Para tratamiento por un solo lado, el límite práctico del espesor del material es el espesor donde la dosis de salida iguala a la dosis de entrada. Para el agua este es alrededor de 3,2 (cm) con electrones de 10 (MeV) de energía o alrededor de 2,6 (mm) con electrones de 1 (MeV) de energía.

Para el tratamiento por ambos lados opuestos, el espesor puede ser más que doblado debido a que las regiones de caída de dosis se superponen. Para el caso del agua, el espesor máximo debe ser de 8 (cm) para electrones de 10 (MeV) de energía o alrededor de 6,5 (mm) con electrones de 1 (MeV) de energía.

Para otras sustancias y energías, los espesores máximos pueden ser calculados con las siguientes ecuaciones.

$$e_{max} = \frac{0.33 (E - 0.2)}{\rho}, \text{un lado} \quad (2.11)$$

$$e_{max} = \frac{0.82 (E - 0.2)}{\rho}, \text{lados opuestos} \quad (2.12)$$

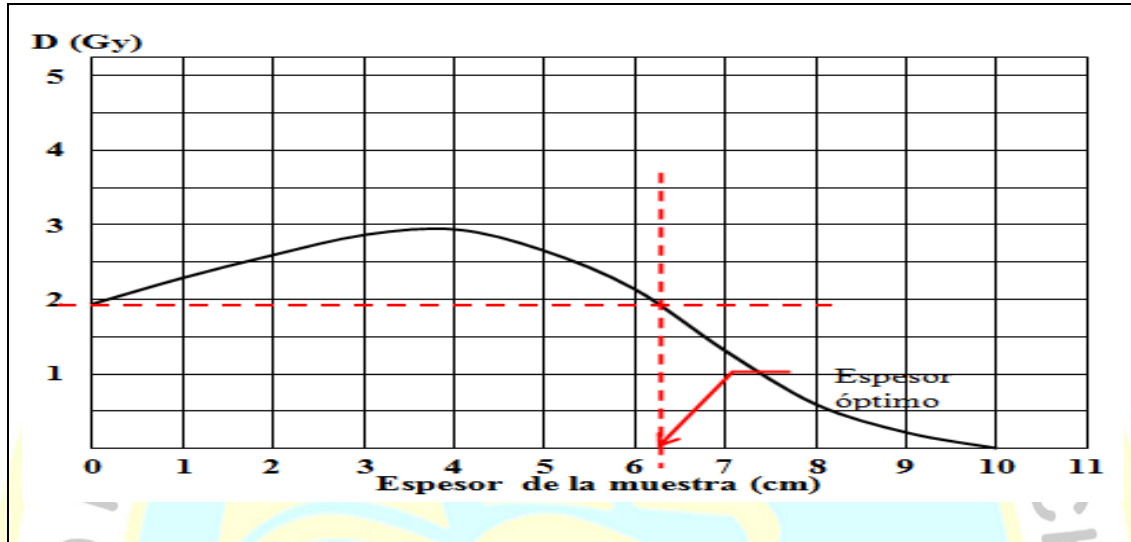
Donde,

$e_{max}$ : espesor máximo óptimo del material, (cm).

E: energía de los electrones que inciden sobre la sustancia irradiada, (MeV).

$\rho$ : densidad de la sustancia irradiada, (g/cm<sup>3</sup>).

**Figura 10: Distribución de dosis en el interior de un material irradiado con haces electrónicos**



**Nota:** Elaboración propia.

El producto  $Z = e_{max} \rho$ , equivale a la masa por unidad de área de la sección transversal al flujo electrónico en la sustancia, el cual se expresa en (g/cm<sup>2</sup>).

Estas ecuaciones lineales no son exactas para electrones con energías menores a 1 (MeV), porque en esos casos se incrementa la retro dispersión electrónica y el poder de detención másica de los materiales, a medida que la energía electrónica disminuye.

#### 2.2.3.4 Fluencia electrónica

La cantidad de electrones que emergen del acelerador,  $dN_e/dt$ , es dada por la expresión

$$\frac{dN_e}{dt} = \frac{I}{e} \quad (2.13)$$

Donde,

I: intensidad de corriente eléctrica del haz electrónico, expresado en (A,)

e: el valor de la carga eléctrica fundamental expresada en coulombs (1.6 E-19 C).

Definimos “Fi”, como la fracción del área del material que encara el haz electrónico, A, respecto a la sección transversal del haz emergente, Ac.

La tasa de fluencia electrónica “TFe” es el número de electrones inyectados al material por unidad de área por unidad de tiempo (elec/m<sup>2</sup>/s), que encara al haz de electrones

$$TFe = \left( \frac{dN_e}{dt} \right) \frac{\left( \frac{A}{Ac} \right)}{A} \quad (2.14)$$

$$TFe = \frac{I Fi}{e A} \quad (2.15)$$

#### 2.2.3.5 Tasa de dosis absorbida por el material irradiado

La cantidad de energía transportada por los electrones, que inciden sobre la superficie del material que encara al haz de electrones “A”, expresada en (J/s), es igual a la tasa de fluencia electrónica multiplicada por el área de la superficie del material, por la energía de cada electrón “Ee”. Expresada en (J).

$$\frac{dEinc}{dt} = TFe A Ee \quad (2.16)$$

$$\frac{dEinc}{dt} = \frac{I Fi Ee}{e} \quad (2.17)$$

La energía depositada en el material irradiado por unidad de masa y por unidad de tiempo, equivale a la tasa de dosis absorbida por la sustancia, y es una fracción “f” de la potencia del haz electrónico que incide sobre el material irradiado.

$$\frac{Do}{T} = \frac{f I Fi Ee}{e M} \quad (2.18)$$

Donde,

T: tiempo de irradiación expresado en (s).

M: masa del material irradiado expresada en (Kg).

Do/T: tasa de dosis absorbida por el material irradiado expresada en (Gy/s).

### 2.2.3.6 Velocidad media de la película de cake irradiado

Para estimar la velocidad promedio del flujo de tratamiento del cake, es necesario considerar el caudal diario  $\langle Q_{cake} \rangle$  ( $m^3/día$ ), el número de turnos diarios  $NT = 1$  (turno/día), el número de horas de irradiación por turno  $HIT = 6$  (h irrad/turno), el área de la sección transversal del flujo de cake  $A = (H)(Rop)$ , donde  $H = 1.2$  (m) y  $Rop$  es el rango óptimo de los electrones en el cake.

$$\langle V \rangle = \frac{\langle Q_{cake} \rangle \left( \frac{m^3}{d} \right) \left( \frac{1 d}{NT \text{ turnos}} \right) \left( \frac{1 \text{ turno}}{HIT h} \right) \left( \frac{1 h}{3600 s} \right)}{H(m) Rop(m)} \quad (2.19)$$

Donde,

$\langle V \rangle$ : velocidad media de la película de efluente, (m/s).

### 2.2.3.7 Tasa de tratamiento másico del cake irradiado

La tasa de tratamiento másico del irradiador es equivalente al gasto de efluente, es dada por la expresión siguiente.

$$TTM = \langle G_{cake} \rangle = \langle Q_{cake} \rangle \left( \frac{m^3}{d} \right) D_{cake} \left( \frac{Kg}{m^3} \right) \quad (2.20)$$

Donde,

$TTM = \langle G_{cake} \rangle$ : tasa de tratamiento másico del cake irradiado, (Kg/d).

$\langle Q_{cake} \rangle$ : caudal del cake, ( $m^3/d$ ).

$D_{cake}$ : densidad del cake, ( $Kg/m^3$ ).

### 2.2.3.8 Dimensionamiento del acelerador de electrones

La potencia del acelerador se refiere a la potencia del haz de electrones necesaria para asegurar que el efluente reciba una dosis equivalente a la dosis solicitada para asegurar que la concentración del E. Coli esté por debajo de los límites permisibles. Según (Kim, Han, Kim, & Yaacov., 2009, p. 38), tomaremos el valor más exigente en el diseño de la planta.

$$POT_{haz} = \frac{TTM \left(\frac{Kg}{d}\right) \left(\frac{1 d}{3600 s}\right) D(Gy) \left(\frac{J}{\frac{Kg}{Gy}}\right)}{Ef} \quad (2.21)$$

Donde,

$POT_{haz}$ : potencia del haz de electrones, (W).

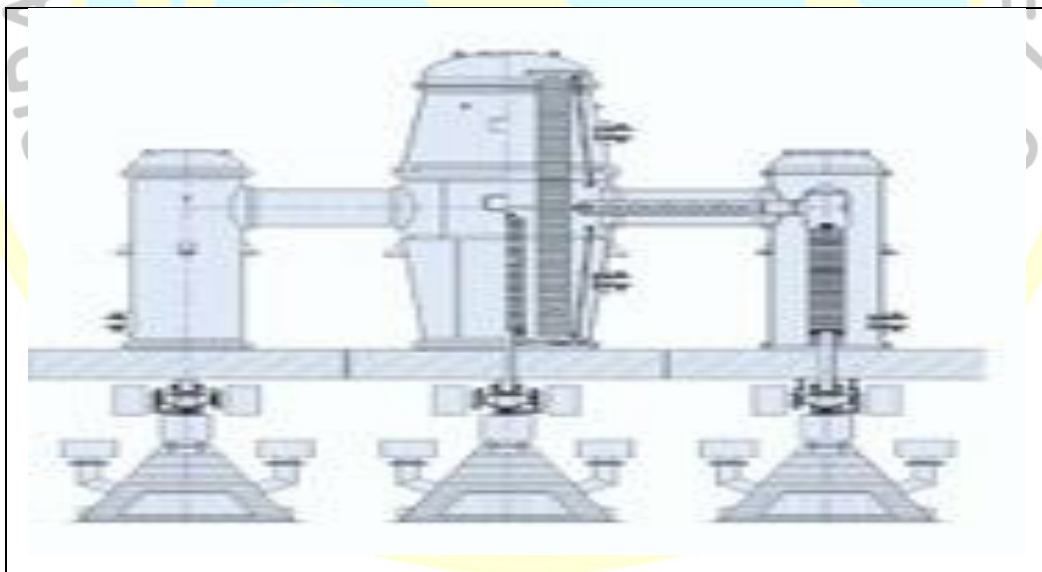
TTM: tasa de tratamiento másico, (Kg/d).

D: dosis de irradiación programada, (Gy).

Ef: eficiencia de irradiación (0.6 – 0.8).

El acelerador seleccionado debe tener la capacidad de irradiar mayores volúmenes de bioabono líquido con menores concentraciones de sólidos, que podrían provenir de otras PTARs. De la pagina web siguiente ([\(http://www.eb-tech.com/?page\\_id=120\)](http://www.eb-tech.com/?page_id=120).(17/Jun/2017).), se tomó el esquema de la Figura 11.

**Figura 11: Diseño de sistemas de irradiación**



**Nota:** Esquema de un acelerador lineal de electrones con tres scanners, tomado de la página Web [\(http://www.eb-tech.com/?page\\_id=120\)](http://www.eb-tech.com/?page_id=120).(17/Jun/2017).

El precio de los aceleradores es como se muestra a continuación, en la Tabla 3, se tomaron de (Han, Kim, & Kim, Accelerators for radiation processing, 2009, p. 30)..

**Tabla 3: Precios de aceleradores de electrones según su potencia.**

POTENCIA DEL HAZ DE ELECTRONES (KW)	PRECIO TOTAL (M\$)	PRECIO UNITARIO (\$/W)
20	0.6	30
40	0.8	20
100	1	10
200	1.5	7.5
400	2	5
1000	2.2	2.2

**Nota:** Datos tomados de la p. 30 de, Han, B., Kim, J., K., Kim, Y. (2009). Cost assessment of electron beam wastewater treatment.

#### 2.2.4 Análisis económico del proyecto

Las fórmulas utilizadas en esta sección fueron tomadas de (Andrade Espinoza, Preparación y evaluación de proyectos., 2002).

##### 2.2.4.1 Inversión inicial

La mayoría de las inversiones de un proyecto se concentran en aquellas que se deben realizar antes del inicio de la operación, aunque es importante considerar también las que deben realizarse durante la operación del proyecto, tanto por la necesidad de reemplazar activos como para enfrentar la ampliación proyectada del nivel de actividad.

##### 2.2.4.2. Costos Fijos

###### A). Costos de amortización anual de la deuda

El capital inicial será financiado a una tasa de interés social  $I$  anual al rebatir y pagado en  $n$  amortizaciones fijas anuales, durante el horizonte del proyecto. La amortización anual según (Andrade Espinoza, 2002, pág. 405), será.

$$A_{an} = \frac{I_{in} \left(1 + \frac{I}{100\%}\right)^n \left(\frac{I}{100\%}\right)}{\left(1 + \frac{I}{100\%}\right)^n - 1} \quad (2.22)$$

Donde,

$A_{an}$ : amortización fija anual, (S/./año).

$I_{in}$ : inversión inicial, (S/).

$I$ : tasa de interés anual, (%)

### B). Costos de interés de la deuda

La amortización anual del interés de la deuda, será dada por la amortización anual, menos la amortización a interés cero, resultando la expresión.

$$AIn = \frac{I_{in} \left(1 + \frac{I}{100\%}\right)^n \left(\frac{I}{100\%}\right)}{\left(1 + \frac{I}{100\%}\right)^n - 1} - \frac{I_{in}}{n} \quad (2.23)$$

Donde,

$AIn$ : es la amortización anual del interés de la deuda, (S./año).

### C). Depreciación

Consideramos que los bienes materiales de la planta de irradiación se deprecia totalmente en un periodo de  $n$  años, que denominamos horizonte del proyecto. La depreciación anual de los bienes materiales adquiridos es dada por la expresión.

$$Dep = \frac{(I_{in} - I_{est})}{HPr} \quad (2.24)$$

Donde,

$I_{in}$ : inversión inicial, (S/).

$I_{est}$ : inversión en estudios, (S/).

$HPr$ : horizonte del proyecto, (años).

#### 2.2.4.3. Costos operacionales variables

Consideraremos como costos variables a aquellas inversiones necesarias para operar la planta y que varían con el volumen de producción.

A). **Energía, servicios de agua y desagüe.**

B). **Administración y laborales.**

C). **Mantenimiento.** Es un porcentaje de la inversión inicial para un régimen de producción dado, lo reporta el fabricante del sistema de producción.



**D). Costos anuales totales.** Para evaluar los costos anuales en el horizonte del proyecto, tenemos que tener en cuenta la producción anual y el porcentaje de los costos variables y los costos fijos en la estructura de costos anuales totales.

La fracción de costos fijos es constante en el horizonte, la fracción de costos variables es proporcional a la fracción volumétrica de producción en el año  $n$ , respecto al año uno. El costo anual total es la suma del costo anual fijo más el costo anual variable

$$CAT_n = CAF_1 + \left( \frac{CAV_1 n}{PV_1} \right) PV_n \quad (2.25)$$

Donde,

$CAT_n$ : costo anual total en el  $n$ -ésimo año, (S./año).

$CAF_1$ : costo anual fijo en el año 1, (S./año).

$CAV_1$ : costo anual variable en el año 1, (S./año).

$PV_1$ : producción volumétrica en el año 1, (L/año).

$PV_n$ : producción volumétrica en el año  $n$ , (L/año).

**E). Costo Unitario.** Es el costo de la una unidad de producción.

#### 2.2.4.4. Valor actual neto (VAN)

El valor actual neto (VAN) en el horizonte del proyecto es igual a la suma de las utilidades netas actualizadas, para cada año del horizonte del proyecto, considerando una tasa de interés financiera (TIF). Se calcula utilizando la ecuación (2.24), según (Andrade Espinoza, Preparación y evaluación de proyectos., 2002, pág. 304).

$$VAN = \left[ \sum_{i=1}^n \frac{UN_i}{\left(1 + \frac{TIF}{100\%}\right)^i} \right] - I_{in} \quad (2.26)$$

Donde,

$VAN$ : valor actual neto del proyecto, (S/).

$I_{in}$ : Inversión inicial, (S/).

*TIF: tasa de interés financiera, (% anual).*

*UN<sub>i</sub>: utilidad neta en el i-ésimo año, (S/).*

Cuando el VAN es positivo y mayor que la inversión inicial podemos afirmar que el proyecto es viable.

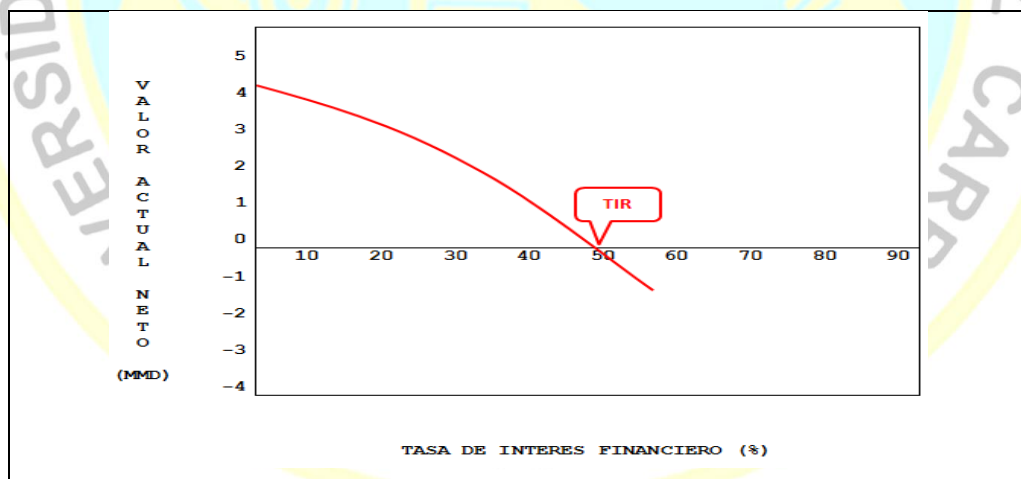
#### 2.2.4.5. Tasa interna de retorno (TIR)

Según (Andrade Espinoza, 2002, págs. 312-318), la tasa interna de retorno (TIR), es aquella tasa de interés financiero para la cual el valor actual neto (VAN) del proyecto se hace nulo.

$$\left[ \sum_{i=1}^n \frac{UN_i}{\left(1 + \frac{TIR}{100\%}\right)^i} \right] - I_{in} = 0 \quad (2.27)$$

Cuando la tasa interna de retorno es mayor que la tasa de interés financiera podemos decir que el proyecto es viable.

**Figura 12: Representa el concepto de la tasa interna de retorno (TIR).**



**Nota:** Elaboración propia

#### 2.2.5. Análisis del impacto social del proyecto

Se ha utilizado los conceptos y fórmulas recomendadas en, la *Guía Metodológica General de Identificación, Formulación y Evaluación Social de Proyectos de Inversión Pública* a nivel de Perfil, publicada por el Ministerio de Economía y Finanzas en febrero 2015.

### 2.2.5.1. Ratio costo/efectividad ó costo/eficacia

Cuando los beneficios del proyecto no son monetarios y están vinculados con aspectos cualitativos, como el bienestar de la familia o la vida humana, se justifica el uso alternativo de la metodología costo efectividad. Esta metodología se basa en identificar los beneficios del proyecto y expresarlos en unidades no monetarias, para luego calcular el costo promedio por unidad de beneficio, ratio costo/efectividad. La “unidad de beneficio” puede ser medida en número de personas, atenciones, casos resueltos, o en cualquier otra unidad de medida que el servicio vaya a ofrecer en el proyecto.

Cabe resaltar que esta metodología permite comparar y priorizar las alternativas de inversión en términos de los costos que implica alcanzar los resultados establecidos. No obstante, hay que tener en cuenta que, dada la forma como se define el efecto o los beneficios del proyecto, esta metodología sólo permite la comparación de alternativas de un mismo proyecto o de proyectos diferentes con resultados o metas muy similares. Por ejemplo, sería muy difícil tratar de comparar un programa de capacitación en salud reproductiva con uno de alfabetización de mujeres adultas si el indicador utilizado para medir los resultados del proyecto es el número de personas que reciben los respectivos cursos, ya que el objetivo de ambas actividades es bastante diferente y los alumnos de los dos grupos alcanzan resultados muy distintos.

Según los concepto vertidos en, (Perú, Ministerio de Economía y Finanzas, 2011, págs. 104-105), planteamos que para llevar a cabo un análisis costo-eficacia es necesario realizar los siguientes pasos:

Elaborar los flujos de costos incrementales a precios sociales, tanto de inversión, como de operación y mantenimiento. A partir de estos flujos se calcula el Valor Actual de Costos Sociales (VACS), aplicando la tasa social de descuento.

La definición y cuantificación del indicador de eficacia.

La estimación del ratio costo eficacia y la selección del mejor proyecto alternativo.

$$\left( \text{costo/eficacia} \right)_i = \frac{CSA_i}{IE_i} \quad (2.28)$$

$$\langle \text{costo/eficacia} \rangle = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{Costo/eficacia})_i}{n} \quad (2.29)$$

Donde,

(Costo/eficacia)<sub>i</sub>: indicador costo eficacia, correspondiente al i-ésimo año (S./unidad beneficiaria).

<Costo/eficacia>: ratio costo eficacia promediado en el horizonte del proyecto, (S./unidad beneficiaria).

CSA<sub>i</sub>: costos sociales actualizados correspondientes al i-ésimo año, (S/.)

IE<sub>i</sub>: indicador de eficacia correspondiente al i-ésimo año, (unidad beneficiaria).

n: número de años del horizonte del proyecto.

### 2.2.5.2. costos sociales totales anuales

En vista que el dinero invertido no se devuelve al estado, no se consideran los intereses correspondientes a la amortización de la deuda. Por lo tanto, no se considera en los costos operativos fijos la amortización anual de la inversión inicial. Calcularemos los costos sociales anuales totales actualizados para cada año dentro del horizonte del proyecto.

$$CSA_i = \frac{CS_i}{\left(1 + \frac{TIF}{100}\right)^i} \quad (2.30)$$

Donde,

CSA<sub>i</sub>: costo social actualizado en el i-ésimo año del horizonte del proyecto, (S/.)

TIF: tasa de interés financiero, (%).

CS<sub>i</sub>: costo social en el i-ésimo año, (S/.)

### 2.2.5.3. El indicador de eficacia (IE)

El indicador de eficacia debe expresar los objetivos y metas del proyecto como indicadores de impacto inmediato. Un indicador de efectividad generalmente está relacionado con los efectos de las acciones del proyecto a largo plazo, por ejemplo, un indicador de efectividad de un programa de vacunación infantil sería el cambio en la tasa de prevalencia de la enfermedad que se quiere controlar en los grupos de edad relevantes; en cambio, un indicador de eficacia para este mismo ejemplo sería el número de niños y niñas vacunados en un año.

**A). Indicador de eficacia habitante beneficiado**

Vamos a trabajar con un indicador de eficacia, el cual lo definiremos como la cantidad de habitantes beneficiados, o la población en cada año del horizonte del proyecto. Por lo tanto la cantidad de habitantes beneficiados en el año 13 será hab. ben. = 275062 (ha).

**B). Indicador de eficacia potencial de fertilización de cultivos.**

Un indicador de eficacia podría ser el área del terreno fertilizado durante un tiempo determinado (1 año), por la aplicación del bio11 como fertilizante, se expresa en (Ha año).

**2.3 Bases filosóficas**

El presente estudio está enmarcado en los nuevos conceptos ecológicos y medioambientales de sostenibilidad y sustentabilidad, que han sido adoptados por las diferentes sociedades del mundo. Para para nuestro país específicamente se precisan en la En (Premierato Consejo de Ministros, 2004), se presenta la Ley General de Residuos sólidos, Ley N° 27314, y su Reglamento promulgados el 24/JUL/2004, la cual se promulgó con el fin de asegurar que la gestión y el manejo de residuos sólidos sea apropiado para prevenir riesgos sanitarios, proteger y promover la calidad ambiental, la salud y el bienestar del ser humano.

En el Art. 27, inc. 3, del Reglamento General de Residuos Sólidos, se tipifica “Se considera también como residuos peligrosos a los lodos de los sistemas de tratamiento de aguas para consumo humano o de aguas residuales; u otros que tengan las condiciones establecidas en el artículo anterior, salvo que el generador demuestre lo contrario con los respectivos estudios que lo sustenten”.

Asimismo en su Art.28, establece “Toda EPS-RS de recolección, transporte, tratamiento o disposición final de residuos peligrosos del ámbito de la gestión no municipal, deberá cumplir los siguientes aspectos técnico-formales, cuando corresponda:

1. Registrarse en la DIGESA;
2. Aprobación sanitaria del proyecto de tratamiento y disposición final por la DIGESA;
3. Autorización del servicio de transporte en la red vial nacional y la infraestructura de transporte vial de alcance regional, otorgada por el Ministerio de Transportes y comunicaciones y los gobiernos regionales respectivamente; y,

4. Autorización para operar los servicios indicados en el presente artículo, otorgada por la municipalidad correspondiente, con excepción de lo señalado en el numeral

Por otro lado, de estudios reportados en el presente estudio se ha obtenido la información que los lodos residuales municipales, tienen un alto contenido de nitrógeno, fósforo, potasio, y fitohormonas. Esto los hace altamente útiles como abono para las plantas y si se desinfectan serían el mejor de los abonos orgánicos.

## 2.4 Definición de términos básicos

### Términos físicos

**ATOMO:** Es la porción más pequeña de una sustancia simple que puede intervenir en la formación de una molécula y que permanece inalterable en las transformaciones químicas.

**CARGA:** Cantidad de electricidad, representada generalmente por la letra Q, que posee un cuerpo (conductor, condensador, etc.). La cantidad elemental de electricidad es la del electrón  $1.6021\text{E}-19$  culombios.

**CULOMBIO:** Unidad de cantidad de electricidad en el sistema internacional de unidades y en el sistema MKSC. Es la cantidad de electricidad transportada en un segundo por una corriente de un amperio. Por el efecto químico, se define como la cantidad de electricidad que en la electrólisis de una sal de plata hace que se depositen en el cátodo 1.118 miligramos de plata.

**ELECTRONVOLTIO:** Unidad de energía empleada en física atómica y cuyo símbolo es "eV". Es la energía cinética que adquiere un electrón cuando por atracción o repulsión pasa de un polo eléctrico negativo a otro positivo entre los que existe una diferencia de potencial de 1 voltio.  $1\text{ eV} = 1.6021\text{E}-19$  julios.

**ERGIO:** unidad de energía del sistema de unidades CGS, equivale a  $1\text{e}-7$  julios.

**GRAY:** Unidad de medida de la dosis de radiación absorbida por una sustancia, equivalente a la energía de un julio absorbida por cada kilogramo de sustancia, o equivalente a 100 rads, un múltiplo de esta unidad es el kilogray, el cual equivale a 1000 gray (KGy).

**ION:** Átomo o grupo de átomos en movimiento, cargados de electricidad. El ión puede ser negativo, por tener electrones en exceso, y se llama anión, o positivo, por tener electrones en defecto, y se llama catión.

**IRRADIACION:** Emisión de radiaciones y exposición de un cuerpo a los rayos de luz o radiaciones emitidas.

**JULIO:** Unidad física de trabajo en el sistema práctico; es el trabajo realizado por una fuerza de un newton, cuando sin punto de aplicación se desplaza un metro en su dirección. Esta unidad también pertenece al sistema internacional.

**KILOGRAMO:** Masa de un bloque cilíndrico de platino iridiado que se conserva juntamente con el metro en la Oficina Internacional de Pesas y Medidas en París, equivalente a la masa de  $5.019167E25$  átomos de C-12 o a la masa de un litro de agua destilada en condiciones normales de presión y temperatura. Es la unidad de masa en el sistema internacional.

**KILOGRAY:** Unidad de dosis de radiación absorbida por una sustancia, equivalente a 1000 gray, o equivalente 100 000 rads.

**KILORAD:** Unidad de dosis de radiación absorbida por una sustancia, equivalente a 1000 rad, o equivalente 10 Grays (ver RAD).

**KILOVATIO:** Unidad física de potencia, equivalente al trabajo de 1000 julios realizados cada segundo.

**MEGA:** Prefijo que, antepuesto a la unidad, indica un millón.

**METRO:** Unidad de longitud, adoptada como base del sistema métrico decimal, en 1971. El metro patrón es la distancia a  $0^{\circ}\text{C}$  comprendida entre dos trazos finos situados cerca de los extremos de una barra, de sección en forma de X, de platino e Iridio (10%), que se conserva en la Oficina Internacional de Pesas y Medidas de París.

RAD: Unidad de medida de la dosis de radiación absorbida por una sustancia, equivalente a la energía de 100 ergios absorbida por cada gramo de sustancia, o equivalente a  $1E-02$  Grays, un múltiplo de esta unidad es el kilorad, el cual equivale a 1000 rads (Krad).

RADIACION-X: Radiación electromagnética penetrante que tiene su origen en la parte extra nuclear del átomo o por el frenado brusco de partículas cargadas de alta energía, de longitud de onda mucho más corta que aquella de la luz visible.

RADIOLISIS: Descomposición química de los líquidos y las soluciones bajo el efecto de las radiaciones ionizantes.

RADIOMETRIA: Medición de la intensidad de las radiaciones.

### **Términos biológicos**

AEROBIO, microorganismo: Bacteria que requiere aire u oxígeno para vivir.

ANAEROBIO-estricto, microorganismo: Bacteria cuya respiración es anaerobia en todas las etapas de su evolución, toman oxígeno de las sustancias químicas del medio que las rodea.

ANAEROBIO-facultativo, microorganismo: Bacteria cuya respiración es anaerobia solamente en alguna etapa de su evolución, convirtiéndose posteriormente en aerobia.

BACTERIA: Organismos procarióticos, unicelulares, de formas diversas: cocos, bacilos, espirilos y bivriones, del género de esquizomicetos, familia bacteriácea. Su clasificación es muy variada de acuerdo al hábitat en el que se encuentren.

CANCERIGENO: Que provoca el desarrollo de un cáncer.

CELULA: Elemento fundamental de los tejidos organizados, el más simple libre, dotado de vida propia, compuesto por una masa circunscrita de protoplasma que contiene un núcleo.



**CISTICERCUS:** Género de helmintos cuyas especies *C. cellulosa* y *C. bovis* (fases larvarias respectivas de la *Taenia solium* y *T. saginata*) producen cisticercosis.

**COLIFAGOS:** Los bacteriófagos (fagos) son virus que sólo utilizan bacterias como hospedadores para la replicación. Los colifagos utilizan *E. coli* y otras especies emparentadas próximamente con ella como hospedadores y, por lo tanto, pueden ser liberados por estos hospedadores bacterianos a las heces humanas y de otros animales de sangre caliente. Los colifagos que se utilizan en la evaluación de la calidad del agua se dividen en dos grupos principales: colifagos somáticos y colifagos de ARN F-específicos (específicos para *E. Coli* F+).

**CYSTICERCUS:** Forma larvaria o escolex de la tenia.

**DURHAN,** medio de cultivo: Caldo en el que se ha desarrollado *Escherichia coli*, libre por tanto de toda clase de azúcar, que luego se clarifica y esteriliza.

**ESCHERICHIA COLI:** También conocida por la abreviación de su nombre, *E. coli*, es quizás el organismo procarionta más estudiado por el ser humano. Se trata de una enterobacteria que se encuentra generalmente en los intestinos de los animales y por ende en las aguas negras. Es una bacteria utilizada frecuentemente en experimentos de genética y biología molecular.

**ESPORA:** Elemento reproductor de las criptógamas y de los bacilos.

**EUCARIOTA,** célula: Se llama célula eucariota —del griego eu, ‘bien’ o ‘normal’, y karyon, ‘nuez’ o ‘núcleo’— a todas las células con un núcleo celular delimitado dentro de una doble capa lipídica: la envoltura nuclear, la cual es porosa y contiene su material hereditario, fundamentalmente su información genética fragmentado en cromosomas formados por ADN y proteínas.

**FLORA-microbiana:** Conjunto de bacterias que suelen residir en un órgano o parte de él.

**MICROBIO:** Organismos animales o vegetales diminutos, visibles únicamente con el auxilio del microscopio, bacterias, protozoos, hongos.

MICROFLORA: Flora microbiana.

MUTAGENICO: Inductor de mutaciones.

PROCARIOTA, célula: ADN localizado en una región: Nucleoide, no rodeada por una membrana.

SALMONELLA: Género de bacterias cuyas especies *S. typhi*, *S. paratyphi*, *S. sendai*, *S. typhi murium*, *S. enteritidis*, *S. cholerae suis* y *S. newport*, son las más conocidas y producen respectivamente la fiebre tifoidea, las fiebres paratifoidea, las salmonelosis y gastroenteritis.

VIRUS: Cualquiera de los agentes infecciosos, más pequeños que las formas corrientes de bacterias, algunos apenas visibles y otros invisibles por medio de un microscopio ordinario, que pasan a través de filtros, de un tamaño de 0,2 a 0.01  $\mu$ . Se multiplican en el cuerpo animal pero no pueden ser cultivados en medios inertes, sino que requieren células vivas. Algunas especies son Papovavirus, Adenovirus, Herpevirus, Piconavirus, Enterovirus, Rinovirus, Coxakie, Echo, Reovirus, Myxovirus, Paramyxovirus, Rabdovirus, Leukemiavirus.

## 2.5 Hipótesis de investigación

### 2.5.1 Hipótesis general

Problema general: ¿En qué medida es factible evaluar técnica y económicamente la instalación de una planta de tratamiento de lodos residuales de una planta de tratamiento de aguas residuales municipales de la ciudad de Huacho, con haces electrónicos de mediana energía (1 – 5 MeV)?

**Hipótesis alterna:** Es factible evaluar técnica y económicamente la instalación de una planta de tratamiento lodos residuales de una planta de tratamiento de aguas residuales municipales de la ciudad de Huacho, con haces electrónicos de mediana energía (1 – 5 MeV).

**Hipótesis nula:** No es factible evaluar técnica y económicamente la instalación de una planta de tratamiento de lodos residuales de una planta de tratamiento de aguas residuales municipales de la ciudad de Huacho, con haces electrónicos de mediana energía (1 – 5 MeV).

### 2.5.2 Hipótesis específicas

**Problema específico 1:** ¿En qué medida es factible evaluar técnicamente la instalación de una planta de tratamiento de lodos de una planta de tratamiento de aguas residuales municipales de la ciudad de Huacho, con haces electrónicos de mediana energía (1 – 5 MeV).

**Hipótesis alterna 1:** Es factible evaluar técnicamente la instalación de una planta de tratamiento de lodos de una planta de tratamiento de aguas residuales municipales de la ciudad de Huacho, con haces electrónicos de mediana energía (1 – 5 MeV).

**Hipótesis nula 1:** No es factible evaluar técnicamente la instalación de una planta de tratamiento de lodos de una planta de tratamiento de aguas residuales municipales de la ciudad de Huacho, con haces electrónicos de mediana energía (1 – 5 MeV).

**Problema específico 2:** ¿En qué medida es factible evaluar económicamente la instalación de una planta de tratamiento de lodos residuales de una planta de tratamiento de aguas residuales municipales de la ciudad de Huacho, con haces electrónicos de mediana energía (1 – 5 MeV)?

**Hipótesis alterna 2:** Es factible evaluar económicamente la instalación de una planta de tratamiento de lodos residuales de una planta de tratamiento de aguas residuales municipales de la ciudad de Huacho, con haces electrónicos de mediana energía (1 – 5 MeV).

**Hipótesis nula 2:** No es factible evaluar económicamente la instalación de una planta de tratamiento de lodos residuales de una planta de tratamiento de aguas residuales municipales de la ciudad de Huacho, con haces electrónicos de mediana energía (1 – 5 MeV).

## 2.6 Operacionalización de las variables

### 2.6.1 Definición de variables de la hipótesis 1

En el tratamiento de la hipótesis 1, definimos las siguientes variables.

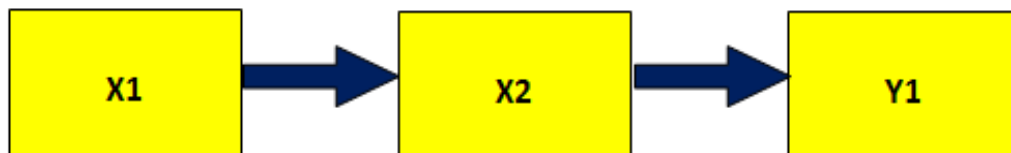
Y1: factibilidad tecnológica, la cual es la variable dependiente, su valor es el ratio entre el precio de la tecnología usada y la potencia del haz de electrones.

X1: material irradiado, variable independiente cuya cantidad y propiedades dimensiona la tecnología que se requiere.

X2: Tecnología de irradiación, variable independiente de segundo nivel, cuyo precio y propiedades técnicas definen la variable Y1.

A continuación representamos el diagrama de causa efecto entre las variables.

**Figura 13: Diagrama de flujo de las variables correspondientes a la primera hipótesis**



**Nota: Elaboración propia.**

### 2.6.2 Definición de variables de la hipótesis 2

En el tratamiento de la hipótesis 2, definimos las siguientes variables.

Z1: factibilidad económica, la cual es la variable dependiente.

Tiene dos componentes:

- Valor actual neto en el horizonte del proyecto.
- Ratio Beneficio/costo, en el horizonte del proyecto.

Las variables independientes intermedias son:

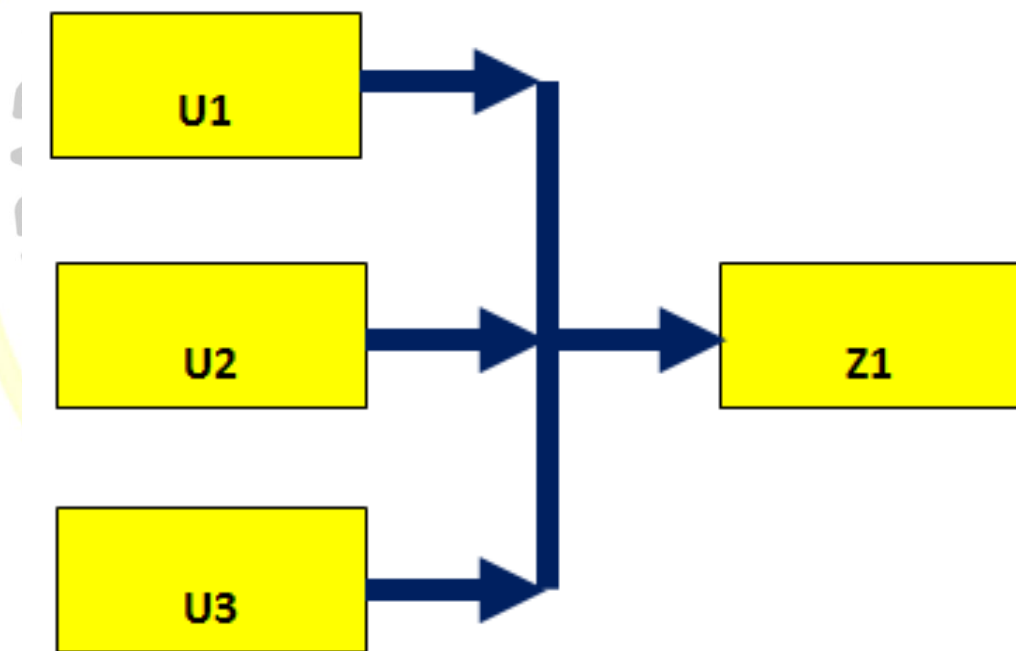
U1: inversión inicial de la planta de irradiación, independiente de tercer nivel.

U2: Costos operacionales anuales totales de la planta de irradiación, en el horizonte del proyecto, independiente de tercer nivel.

U3: ingresos brutos, en el horizonte del proyecto, independiente de segundo nivel.

A continuación representamos el diagrama de causa efecto entre las variables.

**Figura 14: Diagrama de flujo de las variables correspondientes a la segunda hipótesis.**

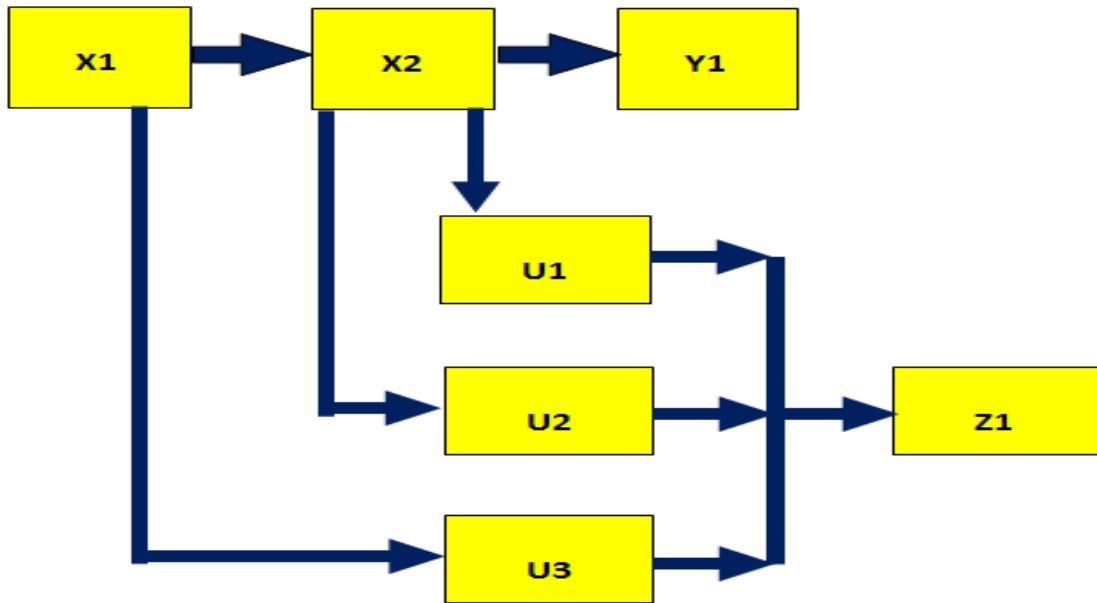


**Nota: Elaboración propia.**

### 2.6.3 Interacción de las variables

Diagrama de interacción entre las variables, se muestra en el esquema que continúa.

Figura 15: Diagrama de flujo correspondiente a la interacción de las variables.



Nota: Elaboración propia.



<b>Matriz de operacionalización de variables para la hipótesis 1</b>				
<b>VARIABLE</b>	<b>TIPO</b>	<b>OPERACIONALIZACION</b>	<b>CATEGORIAS O DIMENSIONES</b>	<b>DEFINICION</b>
Y1: Factibilidad tecnológica. (Dependiente).	Cuantitativa	Oferta en el mercado internacional de la tecnología necesaria para irradiar los lodos residuales	Aprovechamiento de los recursos financieros	Inversión realizada en la tecnología para obtener una potencia determinada del haz de electrones.
X1: Material irradiado. (Independiente, primer nivel).	Cuantitativa	Cantidad y calidad de lodos residuales producidos por la PTAR Huacho	-Evaluación de la intensidad del tratamiento. -Evaluación del impacto ambiental negativo (contaminación). -Evaluación del impacto ambiental positivo (nutrientes para las plantas).	El material de irradiación tiene tres propiedades cuantitativas: - Gasto de lodos residuales producidos por la PTAR Huacho. - composición de microorganismos patógenos. - composición de nutrientes para las plantas (N, P, K).
X2: Tecnología de irradiación. (Independiente, segundo nivel).	Cuantitativa	Eficiencia de la facilidad de irradiación	Comprende tres aspectos: -Energía del haz de electrones. -Energía por unidad de tiempo que entrega el haz de electrones. -Cantidad de dinero necesaria para iniciar la operación de la planta.	-Energía cinética de los electrones del haz. -Potencia mecánica que transporta el haz de electrones. -Inversión inicial.

INDICADOR	NIVEL DIMENSIONES DE MEDICION	UNIDAD DE MEDIDA	INDICE	VALOR
Ratio de la inversión inicial y costos totales de la planta de irradiación a la potencia del haz de electrones	De razón	(USA \$/KW)	Índice de costo/eficacia	Se elegirá la oferta tecnológica de menor valor.
-Gasto de lodos residuales. -Ratio: cantidad de microorganismos/volumen del lodo residual. -Ratio: cantidad de nutriente/volumen del lodo residual.	De razón o proporción.	- (Kg/día). - (ufc/ml) - (mg/L)	-Índice de intensidad del tratamiento. -Índice del impacto ambiental negativo. -Índice del impacto ambiental positivo.	-Los tres indicadores son igualmente importantes en el dimensionamiento de la tecnología.
-Nivel de la inversión inicial. -Tamaño de la facilidad de irradiación. -Poder de penetración del haz de electrones.	De razón o proporción	- (USA \$). - (KW) - (MeV)	-Índice del nivel de la inversión. -Índice del tamaño de la facilidad de irradiación. -Índice del poder penetrante del haz de electrones.	Los tres valores son igualmente importantes para elegir la tecnología de irradiación.



### Matriz de operacionalización de variables para la hipótesis 2

VARIABLE	TIPO	OPERACIONALIZACION	CATEGORIAS O DIMENSIONES	DEFINICION
Z1: Factibilidad económica. (Dependiente).	Cuantitativa	Permite definir si un proyecto de inversión es auto sostenible.	-Valor actual de los beneficios en el horizonte -Valor actual de los costos totales en el horizonte.	Es la comparación de los beneficios monetarios a los costos totales, actualizados al tiempo cero, evaluados en el horizonte del proyecto.
U1: Inversión inicial de la planta de irradiación (Intermedia).	Cuantitativa	Establece el nivel de la inversión necesaria para arrancar el proyecto.	Inversión en: -Estudios. -Edificaciones. -Tecnología de soporte. -Facilidad de irradiación. -Taller de producción de bioabono.	Es el nivel de la inversión necesaria para iniciar el proyecto, antes de que este empiece a producir.
U2: Costo operacional anuales total (Intermedia)	Cuantitativa	Establece la cantidad de dinero que es necesario invertir para que el proyecto funcione	-Costos operativos fijos. -Costos operativos variables	Es lo que le cuesta a la empresa hacer negocios: los salarios, electricidad, renta, etc. implicados en atender los asuntos del negocio.
U3: Ingreso anual total (Intermedia).	Cuantitativa	Establece los ingresos monetarios por la realización de los negocios de la empresa, en un año de operación.	Ingresos monetarios por comercialización del bioabono producido, durante un año de operación..	Valor de las ventas de los productos de la empresa, en un año de operación.

<b>INDICADOR</b>	<b>NIVEL DIMENSIONES DE MEDICION</b>	<b>UNIDAD DE MEDIDA</b>	<b>INDICE</b>	<b>VALOR</b>
Ratio de los beneficios a los costos totales, actualizados al tiempo cero, evaluados en el horizonte del proyecto.	De razón	(USA \$/USA \$)	Índice del rendimiento económico de un proyecto	Los proyectos se declaran factibles para valores mayores que la unidad.
Valor del nivel de la inversión del proyecto antes que este empiece a producir.	De razón o proporción.	- (USA \$).	Índice del nivel de la inversión de arranque del proyecto.	Este valor será necesario para obtener los parámetros de factibilidad económica.
Cantidad de dinero invertida anualmente para mantener los negocios de la empresa	De razón o proporción	- (USA \$).	Índice del nivel de inversión para mantener los negocios de la empresa.	Este valor debidamente actualizado, será necesario para obtener los parámetros de factibilidad económica.
Cantidad de dinero, que gana la empresa como resultado de su operación anual.	De razón o proporción	- (USA \$)	Índice del nivel de retorno de la inversión.	Este valor debidamente actualizado, será necesario para obtener los parámetros de factibilidad económica.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 Diseño metodológico**

##### **3.1.1 Tipo de estudio**

El presente estudio de Investigación se realizará según un Diseño Cuasi Experimental, dado que se basará en el uso de datos de la población de la Provincia de Huacho y poblaciones aledañas según informes reportados por el censo realizado por el INEI en el año 2007. Se usará también datos experimentales reportados en publicaciones científicas.

El estudio será de tipo longitudinal, dado que la data que sustenta los resultados es la población de Huacho y poblaciones aledañas en el horizonte del proyecto, estimada por la tasa de crecimiento poblacional recomendada por el INEI en el censo realizado el año 2007.

##### **3.1.2. Estrategias para el cumplimiento de objetivos**

La caracterización de las aguas residuales municipales de la ciudad de Huacho, el contenido de nutrientes NPK, y contenido microbiológico, se tomará de los datos recomendados por la NORMA OS.090 acerca de PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

Las características de los lodos residuales se tomarán de los datos reportados por informes científicos.

#### **3.2 Población y muestra**

##### **3.2.1 Población**

La población será la cantidad de habitantes en el horizonte del proyecto, el cual será de 25 años a partir del año de inicio del proyecto (2016). De acuerdo al Instituto Nacional de

Estadística e Informática, la ciudad de Huacho se forma con cinco distritos administrativos los cuales son: Distrito de Huacho, Distrito de Santa María, Distrito de Hualmay, Distrito de Carquín y Distrito de Huaura.

Según (Wikipedia, Huacho, 2017) extraído de <https://es.wikipedia.org/wiki/Huacho>, proyecciones oficiales de población publicadas por el Instituto Nacional de Estadística e Informática, en el año 2012, Huacho es la decimonovena ciudad más poblada del país, alcanzando una población estimada de 173.585 habitantes, la cual se distribuye como se muestra en la Tabla 4.

**Tabla 4: Población de los Distritos que conforma la ciudad de Huacho para el año 2012.**

Distrito	Población
Cercado de Huacho*	39303
Santa María	32747
Hualmay	30777
Carquín	7465
Huaura	37403
Cono Sur de Huacho*	25890
Total área urbana	173585

**Nota:** Forma parte del Distrito de Huacho. Datos recuperados de (Wikipedia, Huacho, 2017).

La población de Huacho considerada en el presente proyecto será estimada en cada año del horizonte del proyecto, con la tasa anual de crecimiento poblacional promedio, recomendada por el INEI TACP = 1.6%.

En la Tabla 5, se muestra las estimaciones de la población en el horizonte del proyecto.

**Tabla 5: Población de la ciudad de Huacho y distritos aledaños en el horizonte del proyecto**

Año	Cercado De Huacho	Santa María	Hualmay	Carquín	Huaura	Cono Sur De Huacho	Población total
0 (2016)	41879	34894	32795	7954	39855	27587	184964
1	42549	35452	33320	8081	40493	28028	187923
2	43230	36020	33853	8211	41141	28477	190930
3	43922	36596	34394	8342	41799	28932	193985
4	44624	37181	34945	8475	42468	29395	197089
5	45338	37776	35504	8611	43147	29866	200242
6	46064	38381	36072	8749	43837	30344	203446
7	46801	38995	36649	8889	44539	30829	206701
8	47550	39619	37236	9031	45251	31322	210008
9	48310	40253	37831	9175	45975	31823	213369
10	49083	40897	38437	9322	46711	32333	216783
11	49869	41551	39052	9471	47458	32850	220251
12	50666	42216	39676	9623	48218	33376	223775
13	51477	42891	40311	9777	48989	33910	227355
14	52301	43578	40956	9933	49773	34452	230993
15	53138	44275	41611	10092	50569	35003	234689
16	53988	44983	42277	10254	51379	35563	238444
17	54852	45703	42954	10418	52201	36132	242259
18	55729	46434	43641	10585	53036	36711	246135
19	56621	47177	44339	10754	53884	37298	250073
20	57527	47932	45049	10926	54747	37895	254075
21	58447	48699	45769	11101	55623	38501	258140
22	59382	49478	46502	11278	56512	39117	262270
23	60333	50270	47246	11459	57417	39743	266466
24	61298	51074	48002	11642	58335	40379	270730
25	62279	51891	48770	11828	59269	41025	275062

Nota: Elaboración propia

### 3.2.2 Muestra

Por tratarse de un estudio longitudinal, la muestra en el presente estudio será la cantidad de lodos producidos por la población de la ciudad de Huacho y distritos aledaños en cada año del horizonte del proyecto, el cual será 25 años a partir del año de inicio del proyecto (2016). Las características permanecerán constantes según lo recomienda la Norma OS-090.

Consideraremos una producción per cápita de lodos secos, disuelto en las aguas residuales municipales de Huacho igual a 250 (g/hab/día).

La cantidad de lodos secos (sin considerar biomasa), producidos en un año, será dada por la siguiente expresión.

$$MLseco(Kg) = 0.250 \left( \frac{Kg}{hab \text{ día}} \right) 365.25(días) Población(hab) \quad (3.1)$$

Con estos datos podemos estimar la muestra de lodos residuales de la PTAR de Huacho, en cada año del horizonte del proyecto, como se presenta en la Tabla 3.3.

**Tabla 6: Tamaño de la muestra de lodos secos en cada año del horizonte del proyecto**

Año	Población total	Masa de lodo seco producido
	(hab)	(Kg)
0 (2016)	184964	16889525.3
1	187923	17159757.7
2	190930	17434313.8
3	193985	17713262.8
4	197089	17996675.0
5	200242	18284621.8
6	203446	18577175.8
7	206701	18874410.6
8	210008	19176401.1
9	213369	19483223.5
10	216783	19794955.1
11	220251	20111674.4
12	223775	20433461.2
13	227355	20760396.6
14	230993	21092562.9
15	234689	21430043.9
16	238444	21772924.6
17	242259	22121291.4
18	246135	22475232.1
19	250073	22834835.8
20	254075	23200193.2
21	258140	23571396.3
22	262270	23948538.6
23	266466	24331715.2
24	270730	24721022.7
25	275062	25116559.0

**Nota:** Elaboración propia.

### **3.3 Técnicas de recolección de datos**

La información a recabar tiene que ser confiable y válida, para lo cual se requiere cuidado y dedicación.

- Se empleará la experimentación, cuando no existan datos de ciertas propiedades de las aguas residuales municipales, necesarios para analizar y evaluar variables tales como densidad, viscosidad.
- Se emplearán métodos matemáticos y estadísticos para obtener curvas de regresión entre dos o más variables.
- Se tomarán datos reportados por el INEI para obtener características poblacionales de la ciudad de Huacho y poblaciones aledañas.
- Se tomarán datos de la norma OS.090 para caracterizar las aguas residuales municipales, en su composición de sólidos y microorganismos.
- Se recurrirá a la información tecnológica reportada por las Organización de las Naciones Unidas, en lo que respecta a la descripción de tecnologías de irradiación con haces electrónicos, que se comercializan en el mundo actualmente.
- Se emplearán métodos para dimensionar tecnologías de irradiación, reportados por los fabricantes de aceleradores de electrones para aplicaciones de irradiar aguas residuales municipales.
- Se usarán métodos de elaboración y evaluación de proyectos de inversión privada y social, para determinar la rentabilidad o viabilidad económica del proyecto.

### **3.4 Técnicas para el procesamiento de la información**

En forma genérica se usarán las aplicaciones, procesador de textos WORD y Hoja de cálculo EXCEL.

Las técnicas para el procesamiento de la información son:

Para la prueba de la hipótesis 1, que trata sobre la factibilidad tecnológica del proyecto planteado es necesario seguir el procedimiento de cálculo para dimensionar la planta de tratamiento de lodos residuales (eficacia) y la estimación de los costos totales (costo). La tecnología se seleccionará entre las que ofrezcan menor ratio Costo/eficacia.

Para la prueba de la hipótesis 2, que trata sobre la factibilidad económica, se usarán parámetros de evaluación económica que permitan obtener el ratio Beneficio/costo. Se escogerá la oferta tecnológica entre las que posean valor de este ratio mayor de la unidad.





## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS**

#### **4.1 Análisis de resultados**

##### **4.1.1. Estimación de la carga y caracterización de las aguas residuales municipales**

###### **4.1.1.1. Normas para la estimación de la carga de aguas residuales municipales**

Las normas para estimar el consumo de agua, las hemos tomado del Reglamento Nacional de Edificaciones, según (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006, págs. 320575-320576).

Art. 1.4. la dotación de agua para programas de vivienda es:

- a) 120 (L/ha/día) días fríos.
- b) 150 (L/ha/día) días calurosos.

Art. 1.5. la variación del consumo de agua, en abastecimiento de agua por conexiones domiciliarias, será, en base a factores que actúan sobre la demanda diaria.

- a) Máximo anual de la demanda diaria: 1.3.
- b) Máximo anual de la demanda horaria: 1.8-2.5.

Art. 1.8. Se considera que el 80% de la demanda de agua ingresa al alcantarillado.

###### **4.1.1.2. Estimación de la población en el horizonte del proyecto**

En el capítulo 1, se estableció que la población de Huacho beneficiaria de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, es 173585 (ha) en el año 2012, basado en el censo de población 2007, considerando una tasa anual de crecimiento poblacional del 1.6%..

Se considera una vigencia del proyecto de 25 años, a partir del año 2016. La población en el horizonte del proyecto, año 2041, se estimará considerando una tasa anual de crecimiento poblacional del 1.6%.

$$P_{2041} = P_{2012} \left(1 + \frac{TACP}{100}\right)^n \quad (4.1)$$

$$P_{2041} = 173585 \left(1 + \frac{1.6}{100}\right)^{29} = 275061 \text{ (ha)}$$

#### 4.1.1.3. Estimación de la dotación de agua en el horizonte del proyecto

Para este tipo de poblaciones, y según las Normas OS.100, la dotación de agua en el inicio del proyecto, año 2016, será  $D_{2016} = 150$  (l/ha/día).

Por otro lado, según (Colectores, Xerais, 2005, pág. 2), es habitual considerar una tasa anual de crecimiento de la dotación de agua del 1%, por lo que en el año horizonte (2041), la dotación de agua será.

$$D_{2041} = D_{2016} \left(1 + \frac{TACDA}{100\%}\right)^n \quad (4.2)$$

$$D_{2041} = 150 \left(\frac{L}{\text{ha día}}\right) \left(1 + \frac{1\%}{100\%}\right)^{25} = 192.36 \left(\frac{L}{\text{ha día}}\right)$$

#### 4.1.1.4. Estimación del caudal de aguas residuales municipales

Estimaremos el caudal de aguas residuales municipales que tratará la PTAR Huacho, en diferentes épocas, desde el año inicial 2016, hasta el año horizonte 2041. Utilizaremos la expresión siguiente.

$$C_{\text{año}} = \frac{D_{\text{año}} \left(\frac{l}{\text{ha día}}\right) P_{\text{año}}(\text{ha}) PIA(\%)}{100 (\%)} \quad (4.3)$$

Donde,

D<sub>año</sub>: dotación de agua, en el año, dentro del horizonte del proyecto, (L/ha/día).

P<sub>año</sub>: población en el año, dentro del horizonte del proyecto, (ha).

PIA: porcentaje de la dotación de agua que ingresa al alcantarillado, (%).

Los resultados se muestran en la Tabla 7

**Tabla 7: Evolución de la población, dotación de agua y caudal de las aguas residuales municipales, en el ámbito del horizonte del proyecto.**

AÑO	POBLACION (ha)	DOTACION DE AGUA (L/ha/día)	CAUDAL DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES	
			(L/día)	(m <sup>3</sup> /día)
0 (2016)	184964	150.00	27'744600	27744.60
1	187923	151.50	28470334.50	28470.33
2	190930	153.02	29'216108.60	29216.11
3	193985	154.55	29'980381.75	29980.38
4	197089	156.09	30'763622.01	30763.62
5	200242	157.65	31'568151.30	31568.15
6	203446	159.23	32'394706.58	32394.71
7	206701	160.82	33'241654.82	33241.65
8	210008	162.43	34'111599.44	34111.60
9	213369	164.05	35'003184.45	35003.18
10	216782	165.69	35'918609.58	35918.61
11	220251	167.35	36'859004.85	36859.00
12	223775	169.02	37'822450.50	37822.45
13	227355	170.71	38'811772.05	38811.77
14	230993	172.42	39'827813.06	39827.81
15	234689	174.15	40'871089.35	40871.09
16	238444	175.89	41'939915.16	41939.92
17	242259	177.65	43'037311.35	43037.31
18	246135	179.42	44'161541.70	44161.54
19	250073	181.22	45'318229.06	45318.23
20	254075	183.03	47'235467.25	47235.47
21	258140	184.86	47'719760.40	47719.76
22	262270	186.71	48'968431.70	48968.43
23	266466	188.57	50'247493.62	50247.49
24	270730	190.46	51'563235.80	51563.24
25 (2041)	275061	192.36	52'910733.96	52910.73

Nota: Elaboración propia

#### 4.1.1.5. Caracterización de las aguas residuales municipales de la PTAR

##### Huacho

Las aguas residuales municipales son muy variables debido a los diversos factores que las afectan. El consumo promedio de agua por habitante y por día afecta la concentración de sus componentes (cantidad) y los hábitos alimenticios de la población caracterizan la

composición química (calidad) de los mismos. Las aguas residuales contienen aproximadamente un 99.9% de agua y el resto está constituido por materia sólida. Los residuos sólidos están conformados por materia mineral y materia orgánica. La materia mineral proviene de los subproductos desechados durante la vida cotidiana y de la calidad de las aguas de abastecimiento. La materia orgánica proviene exclusivamente de la actividad humana y está compuesta por materia carbonácea, proteínas y grasas.

Según (Rojas, Curso Internacional: Gestión integral de tratamiento de aguas residuales, 2002, págs. 5-6), las proteínas constituyen del 40 al 50% de la materia orgánica y están representadas por los complejos de amino ácidos y proporcionan la mayor parte de los nutrientes bacterianos. Aproximadamente un 50-60% de las proteínas se encuentran disueltas en las aguas residuales y un 20-30% en la fracción sedimentable. La materia carbonácea está representada por los hidratos de carbono que a su vez están constituidos por los almidones, los azúcares y la celulosa. De esta materia carbonácea, los dos primeros son fácilmente degradables. Los porcentajes de hidratos de carbono que se encuentran en forma disuelta y sedimentable son semejantes a las proteínas. Las grasas incluidas en los ácidos grasos no suelen ser solubles y se degradan más lentamente.

En líneas generales, se considera que la composición de los residuos secos de las aguas residuales en sus diversos constituyentes tienen los siguientes porcentajes:

Materia orgánica 50%, mineral 50%.

Materia sedimentable 20%, no sedimentable 80%.

Materia sedimentable orgánica 67%, mineral 33%.

Materia no sedimentable orgánica 50%, mineral 50%.

De otra parte, las aguas residuales, estén o no diluidas con aguas de lluvia, contienen elementos contaminantes que al ser descargados al curso receptor pueden causar impacto ambiental y poner en riesgo la salud del hombre. Los principales contaminantes que contiene el agua residual y que pueden estar disueltos o suspendidos, son:

Materia orgánica con grado variable de biodegradabilidad.

Compuestos nitrogenados de origen orgánico y/o mineral.

Compuestos fosforados de origen mineral.

Microorganismos compuestos por organismos saprofitos y patógenos tales como helmintos, protozoos, bacterias y virus.

Este conjunto de características confiere al agua las propiedades siguientes:

- (a) Pestilente: Causados por la descomposición anaeróbica de la materia putrescible.
- (b) Tóxico: Muchos compuestos orgánicos e inorgánicos tienen efectos negativos sobre la flora y fauna.
- (c) Infeccioso: La presencia de microorganismos patógenos confiere al agua la propiedad de transmitir enfermedades de origen hídrico.
- (d) Estético: Modificación de la apariencia física.

Adicionalmente, las descargas domésticas e industriales, pueden causar la polución térmica y la eutrofización de las masas de agua receptoras.

En la Tabla 8, se presenta las principales características de las aguas residuales y la principal fuente de origen de los cambios de la calidad.

**Tabla 8: Características de las aguas residuales y fuentes de origen**

<b>Características físicas</b>	
<b>Sólidos</b>	<b>Suministro de agua, residuos industriales y domésticos</b>
<b>Temperatura</b>	<b>Residuos industriales y domésticos</b>
<b>Color</b>	<b>Residuos industriales y domésticos</b>
<b>Olor</b>	<b>Descomposición de residuos líquidos</b>
<b>Características químicas</b>	
<b>Orgánicos</b>	
<b>Proteínas</b>	Residuos comerciales y domésticos
<b>Carbohidratos</b>	Residuos comerciales y domésticos
<b>Aceites y grasas</b>	Residuos comerciales, industriales y domésticos
Tenso activos	Residuos industriales y domésticos
<b>Fenoles</b>	Residuos industriales
<b>Pesticidas</b>	Residuos agrícolas
<b>Inorgánicos</b>	
<b>pH</b>	Residuos industriales
<b>Cloruros</b>	Suministro de agua, residuos industriales e infiltraciones
<b>Nitrógeno</b>	Residuos agrícolas y domésticos
<b>Fósforo</b>	Residuos agrícolas, industriales y domésticos
<b>Azufre</b>	Suministro de agua y residuos industriales
<b>Tóxicos</b>	Residuos industriales
<b>Metales pesados</b>	
<b>Gases</b>	
<b>Oxígeno</b>	Residuos industriales
<b>Hidrógeno sulfurado</b>	Suministro de agua e infiltraciones
<b>Metano</b>	Residuos domésticos
<b>Características biológicas</b>	
<b>Virus</b>	

<b>Bacterias</b>	Residuos domésticos
<b>Protozoarios</b>	Residuos domésticos
Nemátodos	Residuos domésticos
	Residuos domésticos

**Nota:** Estos datos sea tomado dela p. 7 de, Rojas, Ricardo (2002).

Según (Barrenechea Martel, s. f.), las características importantes de los sólidos totales contenidos en las aguas residuales, importantes para su evaluación fisicoquímica y tratamiento, son:

**A). Sólidos totales.** Corresponden al residuo remanente después de secar una muestra de agua. Equivalen a la suma del residuo disuelto y suspendido. El residuo total del agua se determina en el rango de temperatura 103–105 °C.

Equivalencias:

$$\text{Sólidos totales} = \text{sólidos suspendidos} + \text{sólidos disueltos}$$

**B). Sólidos Suspendidos Totales (SST):** Están compuestos por partículas orgánicas o inorgánicas fácilmente separables del líquido por sedimentación, filtración o centrifugación, tienen un tamaño mayor a 1e-6 m.

**C). Sólidos Disueltos Totales (SDT):** Están compuestos por sustancias orgánicas e inorgánicas difíciles de separar, no reaccionan con el agua, están compuestos por sustancias en solución verdadera (1e-12 m – 1e-9m) responsables del color y olor del agua, y partículas coloidales (1e-9 m – 1e-6 m), son responsables de la turbidez del agua. Los sólidos disueltos son separables solamente por métodos químicos

**D). Sólidos volátiles (SV):** Son aquellos sólidos que se volatilizan cuando los sólidos totales son sometidos a una temperatura de 550 (°C), son de naturaleza orgánica.

$$\text{Sólidos totales} = \text{sólidos fijos} + \text{sólidos volátiles}$$

**E). Sólidos Fijos (SF):** Son aquellos sólidos que no se volatilizan cuando los sólidos totales son sometidos a una temperatura de 550 (°C), son de naturaleza inorgánica.

**F). Demanda Química de Oxígeno (DQO):** Es la cantidad de oxígeno necesaria para la oxidación química (destrucción) de la materia orgánica. Esta prueba proporciona un medio indirecto de la concentración de materia orgánica en el agua residual.

**G). Demanda Bioquímica de Oxígeno en cinco días (DBO5):** Es la cantidad de materia orgánica fácilmente biodegradable durante cinco días y a 20°C y corresponde a la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar biológicamente la materia orgánica. La relación DQO/DBO5 proporciona una indicación de la biodegradabilidad de las aguas residuales.

**H). Contenido de nutrientes (nitrógeno [N], fósforo [P] y potasio [K]):** Estos compuestos, conjuntamente con la materia carbonácea o DBO5 indican si las aguas residuales tienen la adecuada proporción de nutrientes como para facilitar la degradación de la materia orgánica presente en las aguas residuales.

**I). Contenido de gérmenes:** Está conformado por Estreptococos, Coliformes fecales, Salmonellas, Áscaris, Trichuris, Amebas, etc. Su presencia permite evaluar el peligro a la salud debido a la contaminación biológica.

**J). Metales pesados:** La presencia en las aguas residuales de metales pesados tales como plomo, cadmio, selenio, cromo, cobre, etc. Pueden ser contraproducentes para su adecuado tratamiento, al afectar a la biomasa encargada de la estabilización de la materia orgánica, por este motivo su contenido debe ser controlado en la fuente.

#### 4.1.1.6. Aporte per cápita de sólidos a las aguas residuales municipales

En la Tabla 9 se indica la composición típica de las aguas residuales municipales.

**Tabla 9: Composición típica de tres clases de aguas residuales domésticas**

Constituyente	Concentración mg/l		
	Alto	Medio	Bajo
Sólidos totales	1200	700	350
Disuelto	850	500	250
Fijos	525	300	145
Volátiles	325	200	105
En suspensión	350	200	100
Fijos	75	50	30
Volátiles	275	150	70
Sólidos sedimentables (ml/l-h)	20	10	5
DBO (5 días, 20°C)	300	200	100
DQO	570	380	190
Nitrógeno total (como N)	85	40	20
Orgánico (como N)	35	15	8
Amoniaco (como N)	50	25	12
Fósforo total (como P)	20	10	6
Cloruros (Cl)	100	50	30
Alcalinidad (como CaCO <sub>3</sub> )	200	100	50
Grasas	150	100	50

Calcio (como Ca)	110	50	10
Magnesio (como Mg)	10	9	8
Sodio (como Na)	100	50	23

**Nota:** Tomado de (Rojas, Curso Internacional: Gestión integral de tratamiento de aguas residuales, 2002, pág. 8).

#### 4.1.1.7. Estimación del aporte per cápita de sólidos a las aguas residuales municipales

Los habitantes de las localidades del mundo aportan a la conformación de los sólidos de las aguas residuales municipales a través de los desechos que se originan de sus distintas actividades humanas domésticas, tales como preparar los alimentos, lavado de vajillas, lavado de ropas, aseo personal, etc.

**Tabla 10: Aporte per cápita de diferentes constituyentes de las aguas residuales municipales (g/hab/día)**

CONSTITUYENTE	ESTADO			DB	DQ
	Mineral	Orgánico	Total		
Sólidos Suspendedos	25	65	90	42	41
Sedimentables	15	39	54	19	1
No sedimentables	10	26	36	23	25
Sólidos disueltos	80	80	160	12	16
Sólidos totales	105	145	250	54	57
Nitrógeno amoniacal			3.0 a 10.0		
Nitrógeno total			6.0 a 12.0		
Fósforo total			1.0 a 8.0		
Detergente			7.0 a 12.0		
Cloruros			5.0 a 10.0		
Potasio			2.0 a 6.0		
Microorganismos			m.o./hab/día		
Bacterias totales		10E11	– 10E11 – 10E12		
		10E12			
Coliformes termotolerantes		10E08	– 10E08 – 10E11		
		10E11			
Coliformes totales		10E09	– 10E09 – 10E11		
		10E11			
Streptococo fecal		10E07	– 10E07 – 10E10		
		10E10			
Salmonella typhosa		10E01	– 10E01 – 10E04		
		10E04			
Clostridium		10E03	– 10E03 – 10E09		
		10E09			
Pseudomona auruginosa		10E05	– 10E05 – 10E07		
		10E07			
Bífido bacterium		10E10	– 10E10 – 10E13		
		10E13			
Bacteroides spp		10E10	– 10E10 – 10E13		
		10E13			
Quistes de protozoarios		10E01	– 10E01 – 10E03		
		10E03			



Huevos de helmintos	10E01 – 10E03
	10E03
Virus (UFP)	10E02 – 10E04
	10E04

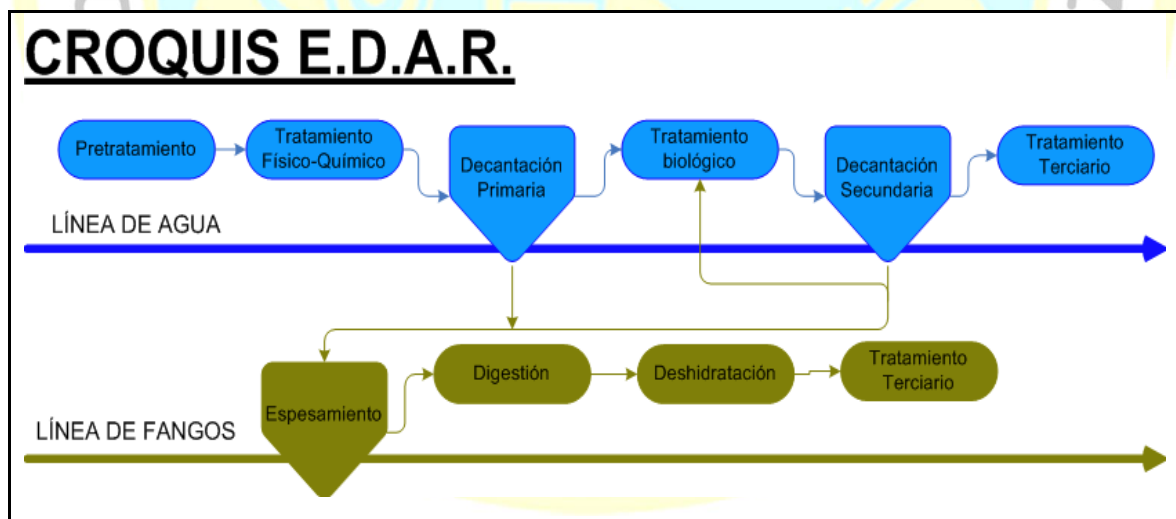
**Nota:** Los datos de la presente tabla há sido tomados de (Rojas, Curso Internacional: Gestión integral de tratamiento de aguas residuales, 2002, págs. 8-9).

#### 4.1.2. Estimación de la cantidad y caracterización de los lodos producidos por una PTAR TIPICA

##### 4.1.2.1. Descripción de una PTAR TIPICA

La planta de tratamiento de aguas residuales municipales que describiremos, consta de las siguientes etapas: Pretratamiento, Tratamiento de sedimentación primaria, tratamiento secundario aerobio con tanques aireados de mezcla completa, con sedimentador secundario. Para la estimación de los lodos producidos tomaremos la etapa de sedimentación primaria y la etapa secundaria de zanjas aireadas de mezcla completa con sedimentador secundario, en vista que en estas etapas es donde se producen los lodos residuales.

**Figura 16: Esquema general de un sistema para el tratamiento de aguas residuales municipales, con tratamiento biológico aerobio en tanques aireados de mezcla completa.**



**Nota:** Esquema recuperado de.

[https://es.wikipedia.org/wiki/Estaci%C3%B3n\\_depuradora\\_de\\_aguas\\_residuales](https://es.wikipedia.org/wiki/Estaci%C3%B3n_depuradora_de_aguas_residuales), consultada el 2017.

#### 4.1.2.2. Estimación de la producción per cápita de sólidos en los lodos y efluente del sedimentador primario

El aporte per cápita de sólidos totales a los lodos es de 250 (g/hab/día), de los cuales 90 (g/hab/día) son sedimentables 160 (g/hab/día) son no sedimentables. En el sedimentador primario se sedimentan por gravedad los lodos sedimentables con una fracción de remoción de  $R_p = 0.5 - 0.9$ , esta fracción depende de la tecnología utilizada.

Es el proceso o conjunto de procesos que a través de medios físicos tienen por función separar las partículas en suspensión y diversos componentes no retenidos en el pretratamiento. Consigue un rendimiento de eficiencia de eliminación variado desde el 50% al 95%, según que el proceso utilice o no utilice un medio químico para la sedimentación.

Según (Grupo de Investigación de Ingeniería Ambiental y energética (GIAYE), 2008, pág. 8)

- Sedimentación (50-70 %)
- Floculación (70-80 %)
- Filtración (70-90%)
- Flotación (80%)
- Separación de grasas y aceites (90-95%).

Con fines de diseño, tomaremos los siguientes datos. El aporte per cápita de sólidos totales a los lodos es de 250 (g/hab/día), de los cuales 90 (g/hab/día) son sedimentables 160 (g/hab/día) son no sedimentables. En el sedimentador primario se sedimentan por gravedad los lodos sedimentables con una fracción de remoción de  $R_p = 0.6$ . Con estos datos estimamos los parámetros representados en la Tabla 10.

**Tabla 11: Estimación del aporte per cápita a los sólidos de los lodos residuales en el sedimento primario**

<b>Tipo de lodo</b>	<b>Afluente sedimentador primario</b>	<b>Remoción sedimentador primario</b>	<b>Lodo residual primario</b>	<b>Efluente sedimentador primario</b>
	<b>(g/hab/día)</b>		<b>(g/hab/día)</b>	<b>(g/hab/día)</b>

<b>Sólidos Suspendidos</b>	90	0.6	54	36
<b>Sólidos disueltos</b>	160	0	0	160
<b>Sólidos Totales</b>	250		54	196

**Nota:** Elaboración propia

#### 4.1.2.3. Estimación de la producción per cápita de sólidos en los lodos y efluente en la etapa de tratamiento secundario

Este tratamiento disminuye la demanda bioquímica de oxígeno (D.B.O.) de las aguas residuales, al emplear procesos de oxidación biológica. Se refieren a este tratamiento secundario como tratamiento biológico.

Elimina el contaminante de materia biodegradable con rendimientos variables desde el 30% al 95%, según el proceso.

Todo el lodo removido en esta etapa pasa a ser lodo suspendido el cual forma parte del efluente de esta etapa, que pasa a un sedimentador secundario que separa los lodos. Una parte de ellos, entre 25% a 75 % (Collazos, 2008, pág. 38), vuelve al estanque de aireación para mantener la población bacteriana a nivel elevado.

Según (Grupo de Investigación de Ingeniería Ambiental y energética (GIAYE), 2008, pág. 9), los tipos de procesos biológicos y sus rendimientos de remoción son:

- Balsas de estabilización (30-40%)
- Lagunas de aireación (40-60%)
- Filtros biológicos (50-60%)
- Lodos activos (70-90%)

Según la Norma legal OS-90, sección 5.5.3.1, publicada en (Perú, Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006, pág. 320568), se establece que se debe considerar un

rendimiento de remoción para tanques aireados entre 85 a 95 % del DBO<sub>5</sub>. Consideraremos con fines de diseño, los siguientes datos que nos conducen a aquella situación en la que se producen el promedio de lodos.

El aporte de sólidos totales efluentes del sedimentador primario al tratamiento secundario es EPs = 196 (g/hab/día). La fracción de remoción de sólidos en el tratamiento secundario es Rss = 0.9028. La fracción de recirculación de los lodos producidos que estamos considerando es Fc = 0.25. El factor de reproducción de biomasa en el secundario considerado es FB = 0.8, respecto a los lodos no digeridos presentes en el tanque aireado. Con estos datos podemos estimar los siguientes parámetros.

**Producción de lodo secundario (Ls):**

$$Ls = \frac{EPs * Rss * (1 + FB)}{1 - Fc * Rss} \quad (4.4)$$

$$= \frac{196 \left(\frac{g}{hab \text{ día}}\right) 0.9028 * 1.8}{1 - 0.25 * 0.9028} = 411.35 \left(\frac{g}{hab \text{ día}}\right)$$

**Lodo recirculado (LSc):**

$$LSc = Fc * Ls \quad (4.5)$$

$$= 0.25 * 411.35 \left(\frac{g}{hab \text{ día}}\right) = 102.84 \left(\frac{g}{hab \text{ día}}\right)$$

**Lodo secundario desechado:**

$$Lsd = (1 - Fc) Ls \quad (4.6)$$

$$= (1 - 0.25) 411.35 \left(\frac{g}{hab \text{ día}}\right) = 308.51 \left(\frac{g}{hab \text{ día}}\right)$$

**Afluente de lodos totales al sedimentador secundario:**

$$\begin{aligned}
 ASS &= EPs * (1 + FB) + Fc * Ls \quad (4.7) \\
 &= 196 \left( \frac{g}{hab \text{ día}} \right) 1.8 + 0.25 * 411.35 \left( \frac{g}{hab \text{ día}} \right) = 455.64 \left( \frac{g}{hab \text{ día}} \right)
 \end{aligned}$$

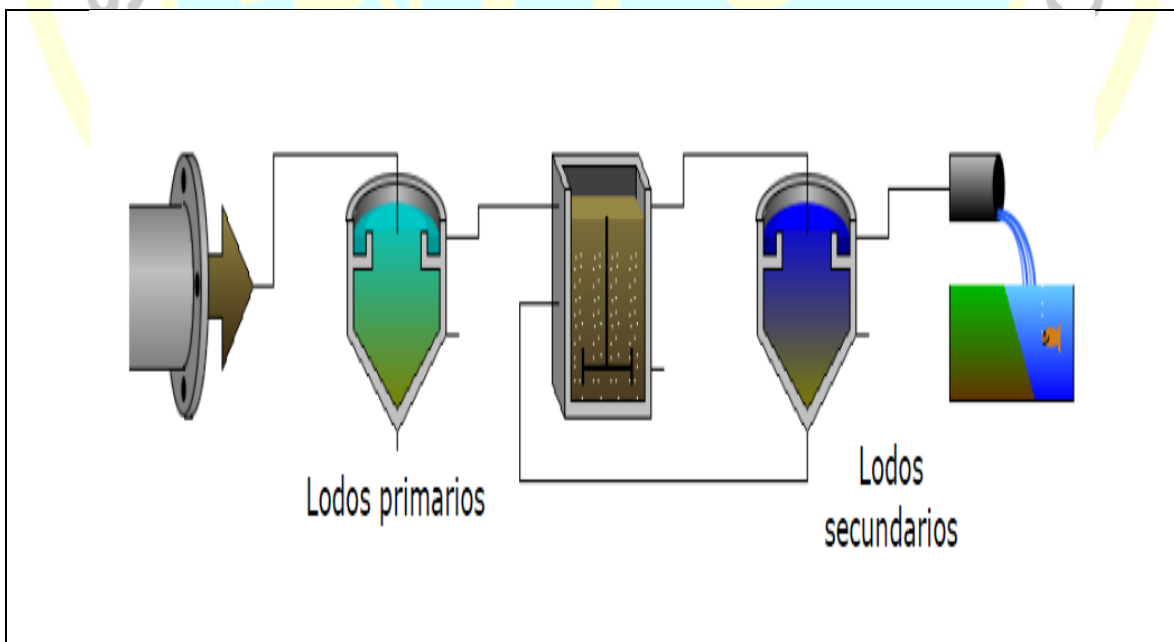
**Efluente del sedimentador secundario:**

$$\begin{aligned}
 ESS &= ASS (1 - Rss) \quad (4.8) \\
 &= 455.64 \left( \frac{g}{hab \text{ día}} \right) (1 - 0.9028) = 44.29 \left( \frac{g}{hab \text{ día}} \right)
 \end{aligned}$$

**Lodos totales desechados:**

$$\begin{aligned}
 LTd &= Lp + LSd \quad (4.9) \\
 &= 54 \left( \frac{g}{hab \text{ día}} \right) + 308.51 \left( \frac{g}{hab \text{ día}} \right) = 362.51 \left( \frac{g}{hab \text{ día}} \right)
 \end{aligned}$$

**Figura 17: Esquema simplificado de un proceso de tratamiento secundario aerobio con lodos activados**



**Nota:** Esquema ha sido obtenido de (Limón Macías, 2013, pág. 11) .

#### 4.1.2.4. Estimación de la producción anual de sólidos de los lodos de la PTAR HUACHO

Con los datos obtenidos en las dos secciones anteriores, se estima la producción de lodos en el horizonte del proyecto en la Tabla 12.

**Tabla 12: Estimación de sólidos secos producidos en los lodos de la PTAR Huacho**

<b>Año cero = 2016</b>					
<b>Población año cero = 184964 (hab)</b>					
<b>Tasa de crecimiento poblacional = 1.6 (%)</b>					
<b>AÑO</b>	<b>P O B L A C I Ó N</b>	<b>PRODUCCION SOLIDOS PRIMARIOS (SECOS)</b>	<b>PRODUCCION SOLIDOS SECUNDARIOS (SECOS)</b>	<b>PRODUCCION SOLIDOS PRIMARIOS + SECUNDARIOS (SECOS)</b>	
					<b>(T/año)</b>
0	184964	3648.137	20842.519	24490.656	
1	187923	3706.508	21175.999	24882.507	
2	190930	3765.812	21514.815	25280.627	
3	193985	3826.063	21859.043	25685.106	
4	197089	3887.285	22208.814	26096.099	
5	200242	3949.473	22564.108	26513.581	
6	203446	4012.667	22925.148	26937.815	
7	206701	4076.867	23291.935	27368.802	
8	210008	4142.093	23664.582	27806.674	
9	213369	4208.383	24043.313	28251.697	
10	216782	4275.700	24427.904	28703.604	
11	220251	4344.121	24818.806	29162.926	
12	223775	4413.626	25215.905	29629.531	
13	227355	4484.236	25619.314	30103.551	
14	230993	4555.990	26029.259	30585.250	
15	234689	4628.888	26445.740	31074.629	
16	238444	4702.950	26868.869	31571.819	
17	242259	4778.195	27298.759	32076.955	
18	246135	4854.644	27735.523	32590.167	
19	250073	4932.315	28179.274	33111.588	
20	254075	5011.248	28630.236	33641.484	
21	258140	5091.424	29088.297	34179.721	

22	262270	5172.882	29553.683	34726.565
23	266466	5255.642	30026.506	35282.148
24	270730	5339.743	30506.991	35846.734
25	275061	5425.166	30995.026	36420.192

**Nota:** Elaboración propia.

Para estimar la producción de masa sólida de los lodos residuales en la PTAR Huacho, consideraremos los datos de aporte de sólidos per cápita La, un año de 365.25 días y la población que corresponde a cada año dentro del horizonte del proyecto.

Usamos la siguiente ecuación.

$$Msi = 365.25 \left( \frac{\text{días}}{\text{año}} \right) La \left( \frac{g}{\text{hab día}} \right) \left( \frac{1 T}{1000000 g} \right) Pi(\text{hab}) \quad (4.10)$$

#### 4.1.2.5. Estimación de la composición característica de los lodos residuales de la PTAR Huacho.

##### A) Estimación de la composición de sólidos

(Limón Macías, 2013, págs. 11-12), en su estudio titulado “Los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, ¿problema o recurso? Tipifica la composición fundamental de nutrientes de los lodos residuales primarios y secundarios de las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales de México, haciendo referencia a, Metcalf & Eddy, (2003).

Su objetivo es valorar los lodos residuales de las PTAR, proponiendo su uso como Bioabono en agricultura. En la Tabla 13 se muestran dichas características.

Como puede notarse, los lodos residuales primarios y secundarios contienen Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K), elementos muy apreciados en agricultura por servir como abono para las plantas.

También contienen sólidos volátiles, los cuales pueden ser digeridos por las bacterias anaerobias para producir metano, que es un gas usado como combustible de alta calidad.

**Tabla 13: Composición química típica de los lodos producidos y tratados (Metcalf & Eddy, 2003).**

Concepto	Unidades	Lodo primario	Lodo primario digerido	Lodo secundario
Concentración de	%	5-9	2-5	0.8-1.2

sólidos				
Sólidos volátiles	% de ST <sup>1</sup>	60-80	30-60	59-88
Proteína	% de ST	20-30	15-20	32-41
Nitrógeno (N)	% de ST	1.5-4	1.6-3	2.4-5
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	% de ST	0.8-2.8	1.5-4	2.8-11
Óxido de potasio (K <sub>2</sub> O)	% de ST	0-1	0-3	0.5-0.7
Celulosa	% de ST	8-15	8-15	
Hierro	% de ST	2-4	3-8	-
Oxido de Si (SiO <sub>2</sub> )	% de ST	15-20	10-20	-
pH	U de pH	5-8	6.5-7.5	6.5-8
Alcalinidad	mg de CaCo <sub>3</sub> /L	500-1500	2500-3500	580-1100
Acidos orgánicos	mg HAc/L	200-2000	100-600	1100-1700
Contenido energético	KJ / KG ST	23000-29000	9000-14000	19000-23000

1: sólidos totales

**Nota:** Datos tomados de las pp. 11-12 de, Limón Macías, J., G. (2013). Los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, ¿problema o recurso? Guadalajara, Jalisco, México..

### B) Estimación de la composición de microorganismos

Los lodos residuales de las PTAR, también contienen elementos negativos que impiden su libre uso en agricultura, estos son los microorganismos patógenos que contienen y producen muchas enfermedades contagiosas.

(Kim, Han, Kim, & Yaacov, Design of electron beam higienization plant, 2009, p. 5) manifiesta que existe un riesgo potencial para la salud pública, debido a la disposición indiscriminada de los lodos de las PTAR conteniendo microorganismos patógenos, capaces de causar enfermedades como el cólera, tifoidea, disentería, hepatitis, etc. Este riesgo ha sido probado que es real y serio.

En la Tabla 14, se muestra el contenido de microorganismos patógenos en los lodos residuales de las PTAR, expresado (NMP/g sólido seco).

**Tabla 14: Contenido de microorganismos patógenos en los lodos residuales de las PTAR**

Microorganismo	Concentración (NMP/g sólido seco)
Coliformes totales	8e6
Fecal Coliformes fecales	1e5
E. coli	8e4
Salmonella	2.5e5
Esporas que forman bacterias anaeróbicas	



**Nota:** Datos tomados de la p. 5 de, Kim, Y., Han, B., Kim, J., K., Yaacov, N., B. (2009).

Consultado en la Norma Legal OS.090, numeral 4.3.6, publicada en el Reglamento Nacional de edificaciones-2006, (Perú, Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006, pág. 320560), tomamos los datos para el aporte per cápita de parámetros para aguas residuales domésticas, el cual se muestra en la Tabla 15

**Tabla 15: Aporte diario per cápita para aguas residuales domésticas**

Parámetro	Valor
DBO 5 días, 20°C, (g/hab/día)	50
Sólidos en suspensión, (g/hab/día)	90
NH <sub>3</sub> -N como N, (g/hab/día)	8
N Kjeldahl total como N, (g/hab/día)	12
Fósforo total, (g/hab/día)	3
Coliformes fecales, (N° de bacterias/hab/día)	2e11
Salmonella Sp., (N° de bacterias/hab/día)	1e8
Nemátodos intestinalis, (N° de huevos/hab/día)	4e5

**Nota:** Tomado de la p. 320560 del Reglamento Nacional de Edificaciones-2006.

Según (Perú, Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006, pág. 320561), para la selección de los procesos de tratamiento de las aguas residuales se usará como guía los valores de la Tabla 16

**Tabla 16: Características de remoción de los diferentes procesos de tratamiento de aguas residuales municipales**

Proceso de tratamiento	Remoción (%)		Remoción (ciclos log <sub>10</sub> )	
	DBO	Sólidos suspendidos	Bacterias	Helmintos
Sedimentación primaria	25-30	40-70	0-1	0-1
Lodos activados (a)	70-95	70-95	0-2	0-1
Filtros percoladores (a)	50-90	70-90	0-2	0-1
Lagunas aireadas (b)	80-90	(c)	1-2	1-2
Zanjas de oxidación (d)	70-95	80-95	1-2	0-1
Lagunas de estabilización (e)	70-85	(c)	1-6	1-4

(a): precedidos y seguidos de sedimentación.

(b): incluye laguna secundaria.

(c): dependiente del tipo de lagunas.

(d): seguidas de sedimentación.

(e): dependiendo del número de lagunas y de otros factores como: temperatura, período de retención, y forma de las lagunas.

**Nota:** Tomado de la p. 320561 de, Reglamento Nacional de Edificaciones-2006.

Combinando los datos de aportes per cápita de microorganismos y huevos de nematodos intestinales, dados en la Tabla 15, con los porcentajes de remoción recomendados para

cada tipo de tratamiento dados en la tabla 16; podemos obtener la composición de microorganismos y huevos de nemátodos intestinales, para los lodos residuales del tipo de planta de tratamiento de aguas residuales que hemos elegido.

El tipo de planta que hemos elegido consta de una etapa de sedimentación primaria y una etapa secundaria que consta de zanjas aireadas con sedimentador secundario. Escogeremos los datos de modo tal que nos conduzca a la mayor composición de microorganismos, que es la situación más extrema. Usaremos las siguientes expresiones para estimar la composición de microorganismos y huevos de nemátodos.

**En el sedimentador primario:**

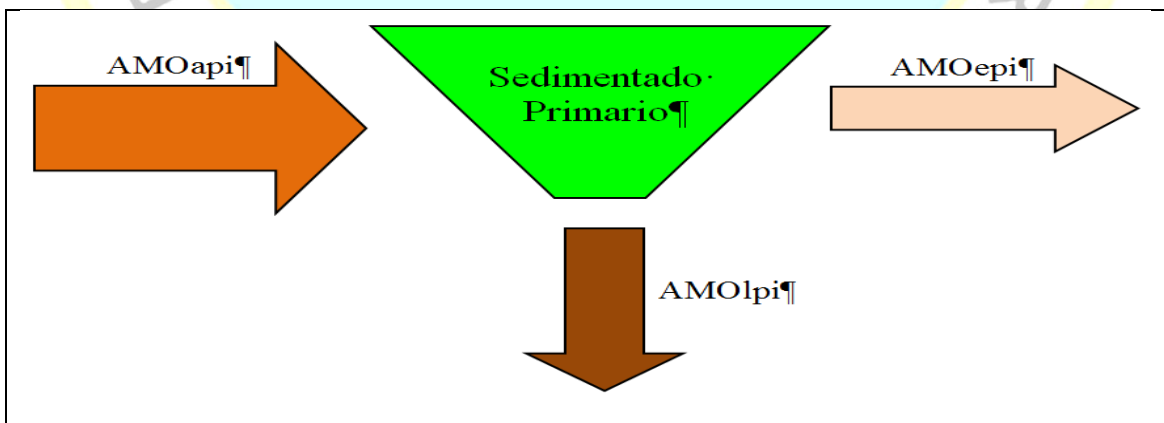
$AMO_{api}$ : aporte per cápita del i-ésimo microorganismo en el afluente primario, (NMP/hab/día).

$AMO_{epi}$ : aporte per cápita del i-ésimo microorganismo en el efluente primario, (NMP/hab/día).

$AMO_{lpi}$ : aporte per cápita del i-ésimo microorganismo en los lodos primarios, (NMP/hab/día).

$R_{tpi}$ : remoción del i-ésimo microorganismo en el tratamiento primario, expresado en ciclos logarítmicos, ( $10^{R_{tpi}}$ ).

**Figura 18: Esquema de la remoción de microorganismos en el sedimentador primario**



**Nota:** Elaboración propia.

$$\text{Log}_{10} \left( \frac{AMO_{api}}{AMO_{epi}} \right) = R_{tpi} \quad (4.11)$$

$$AMO_{lpi} = \left(1 - \frac{1}{10^{R_{lpi}}}\right) AMO_{api} \quad (4.12)$$

$$AMO_{epi} = \left(\frac{1}{10^{R_{lpi}}}\right) AMO_{api} \quad (4.13)$$

**En las zanjas aireadas con sedimentador secundario:**

$AMO_{asi}$ : aporte per cápita del i-ésimo microorganismo en el afluente secundario, (NMP/hab/día).

$AMO_{esi}$ : aporte per cápita del i-ésimo microorganismo en el efluente secundario, (NMP/hab/día).

$AMO_{lsi}$ : aporte per cápita del i-ésimo microorganismo en los lodos secundarios, (NMP/hab/día).

$R_{tsi}$ : Remoción del i-ésimo microorganismo en el tratamiento, secundario expresado en ciclos logarítmicos, ( $10^{R_{tsi}}$ ).

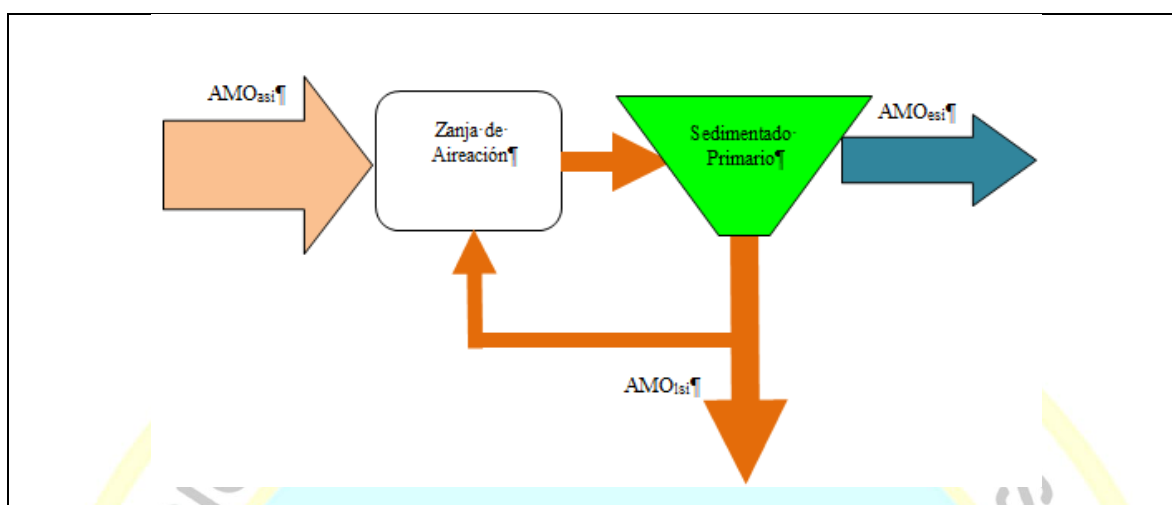
$$AMO_{asi} = AMO_{epi} \quad (4.14)$$

$$\text{Log}_{10}\left(\frac{AMO_{asi}}{AMO_{esi}}\right) = R_{tsi} \quad (4.15)$$

$$AMO_{lsi} = \left(1 - \frac{1}{10^{R_{tsi}}}\right) AMO_{asi} \quad (4.16)$$

$$AMO_{esi} = \left(\frac{1}{10^{R_{tsi}}}\right) AMO_{asi} \quad (4.17)$$

**Figura 19: Esquema de la remoción de microorganismos en el sedimentador secundario**



**Nota:** Elaboración propia.

Aplicando estas relaciones, obtenemos el aporte per cápita de microorganismos y huevos de helmintos, datos que se muestran en la Tabla 17.

**Tabla 17: Aportes de microorganismos y huevos de nemátodos intestinalis a los lodos de un sedimentador primario y los lodos de un tratamiento de zanjas aireadas con sedimentador secundario.**

Microorganismo	Afluente Primario <sup>(a)</sup> (NMP/hab/día)	Rtp <sup>(b)</sup> (ciclos Log <sub>10</sub> )	Lodo Primario (NMP/hab/día)	Rts <sup>(b)</sup> (ciclos Log <sub>10</sub> )	Lodo Secundario (NMP/hab/día)
Coliformes fecales.	2e11	1	1.8e11	2	1.98e10
Salmonella Sp.	1e8	1	9.0e7	2	9.9e6
Nematodos intestinalis	4e5	1	3.6e5	2	3.96e4

**Nota:** tomado del Reglamento Nacional de Edificaciones, (a) p. 320560, (b) 320561.

4.1.2.6. Otras tablas de información sobre caracterización química y microbiológica de los lodos residuales de las PTAR.

Tabla 18: Quality of sewage-sludge from Modling WWTP, 1993 – 1996.

PARAMETRO	UNID.	n	MED.	DESV. EST.	MIN.	MAX.
Materia seca	%	24	28.2	4.5	20.8	43.2
C total	% MS	22	28.5	3.9	21.2	37.4
Pérdidas de ignición	% MS	22	55.4	9.1	34.5	67.1
N total	% MS	22	4.01	1.11	0.84	5.6
Ca (CaO)	% MS	22	6.7	5.5	3.4	23.5
Mg (mg O)	% MS	22	0.917	0.239	0.51	1.35
P total (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	% MS	22	5.30	0.73	3.67	6.58
K total (K <sub>2</sub> O)	% MS	22	0.537	0.121	0.316	0.72
Razón C/N	---	15	7	1	6	9
	mg/kg MS	24	1056	180	804	1450
Zn						
Cu	mg/kg MS	24	253	37	161	324
Cr	mg/Kg MS	24	72	17	37.3	106
PB	mg/kg MS	24	121	26	73	185
Ni	mg/kg MS	24	35.3	8.1	23.3	53.0
Co	mg/kg MS	24	4.3	0.9	2.3	6.2
Cd	mg/kg MS	24	4.6	3.3	2.2	16.9
Hg	mg/kg MS	24	2.1	0.7	1.0	4.2
Enterobacteriaceae	1/g MF	14	>260100	>295235	<200	>1000000
Salmonella	1/g MF	15	0	0	0	Positivo
Ascaris	1/g MF	15	0	0	0	0

Nota: Datos tomados de la p. 19 de, Koch, F., Gerzabek, M., H., Peev, M. (2002).

Tabla 19: Analysis of normal (NSS) and irradiated (ISS) sludge

Property	NSS	ISS
pH	6.2-7.0	6.5-7.1
Organic C (%)	6.1-10.3	7.8-11.1
Water-holding capacity (%)	127-150	102-125
CEC (mEq 100 g <sup>-1</sup> )	22.0-25.6	24.4-40.0
Total N (%)	2.2-3.0	2.7-3.0
Available P (mg kg <sup>-1</sup> )	200-262	205-325
Total K (mg kg <sup>-1</sup> )	2050-2500	1600-2450
C:N ratio	2.1-4.2	2.9-3.8
Metals (mg kg <sup>-1</sup> ) <sup>a</sup>		
Cu	277-328	383-478
Zn	53-73	95-133
Mn	204-233	276-319
Cd	4-5	6-7
Co	11-12	12-16
Ni	77-82	97-129
Pb	143-146	201-207
Cr	181-260	186-283
Faecal coliform (MPN g <sup>-1</sup> )	561-1600	11-116

**a: Aqua-regia extract**

**Nota:** Datos tomados de la p.129 de, Athalye, V., V., Ramachandran, V., Patel, D., U., D'souza, T., J. (October 2002).

**Tabla 20: Physical and chemical characteristics of the sewage sludge**

Parameter	Sludge sample	EC limits [8]	Portuguese limits
pH (H <sub>2</sub> O)	6.25		
OM (%)	47.9		
Total N (%)	2.67		
Total P (%)	3.55		
K (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>a</sup>	1.01		
Na (g kg <sup>-1</sup> )	2.0		
Ca (g kg <sup>-1</sup> )	80.0		
Mg (g kg <sup>-1</sup> )	6.6		
Al (g kg <sup>-1</sup> )	13.5		
Fe (g kg <sup>-1</sup> )	107		
Co (mg kg <sup>-1</sup> )	13.0		
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	110		
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	1780	2500-4000	2500
Cr (mg kg <sup>-1</sup> )	64.0	1500-2500	1000
Ni (mg kg <sup>-1</sup> )	36.0	300-400	300
Pb (mg kg <sup>-1</sup> )	132	750-1200	750-1200
Cd (mg kg <sup>-1</sup> )	1.8	20-40	20-40
Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	302	1000-1750	1000-1750

**a: All metals extracted with aqua regia.**

**Nota:** Datos tomados de la p. 162 de, Ferreira, E., M., Castro, I., V. (October 2002)

**Tabla 21: Characteristics of the sewage sludge**

Characteristic	UNITE	1996		1997		1998	
		Range	Average	Range	Average	Range	Average
pH (1:2.5 H <sub>2</sub> O)		7.12–	7.44	5.84–	6.80	5.90–	6.85
		8.03		7.90		7.27	
Moisture <sup>8</sup>	(%)	39-82	60	61-75	70	43-80	58
Organic matter	(%)			73-89	82	37-50	44
N	(mg/Kg)	1.51-	2.17	1.80-	2.39	1.60-	1.81
		2.74		2.70		2.20	
P	(mg/Kg)	0.24-	0.69	0.21-	0.34	0.52-	0.67
		0.96		0.41		0.75	
K	(mg/Kg)	0.30-	0.48	0.29-	0.35	0.54-	0.72
		0.75		0.41		0.86	
Na	(mg/Kg)	0.15-	0.23	0.34-	0.48	0.30-	0.34
		0.29		0.54		0.38	
Ca	(mg/Kg)	0.10-	0.14	0.57-	1.19	0.09-	0.38
		0.19		1.88		0.83	
Mg	(mg/Kg)	0.05-	0.06	0.31-	0.35	0.35-	0.36
		0.07		0.40		0.38	

<b>Cu</b>	(mg/Kg)	36-93	69	95-165	141	65-129	94
<b>Zn</b>	(mg/Kg)	387-603	548	726-1070	979	534-1099	700
<b>Pb</b>	(mg/Kg)	83-145	125	150-217	177	96-261	141
<b>Co</b>	(mg/Kg)	7-10	8	12-17	14	10-24	20
<b>Ni</b>	(mg/Kg)	22-29	26	32-47	41	19-49	34
<b>Mn</b>	(mg/Kg)	315-529	396	262-443	321	229-535	439
<b>Cr</b>	(mg/Kg)	160-370	280	330-534	462	156-348	286
<b>Cd</b>	(mg/Kg)	5-11	9	7-14	11	6-15	9

**Nota:** Datos tomados de la p. 173 de, Dumitru, M., Motelica, D., M., Prodăn, I., et al. (October 2002).

## 4.2. Valorización del bioabono ingresos y beneficios sociales

Para obtener el valor del bioabono sólido debemos, primeramente, determinar los atributos que posee y luego compararlos con los atributos de bioabonos que se comercializan en el mercado nacional. Los atributos que tomaremos en cuenta son el contenido de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), elementos minerales esenciales para abonar los terrenos de cultivo, el contenido de fitohormonas, y el hecho de estar libre de bacterias, huevos de helmintos y cisticercos.

### 4.2.1. Composición del bioabono sólido

Hemos escogido los valores reportados en la Tabla 13 para caracterizar la composición del bioabono sólido, que se producirá en la planta de tratamiento de los lodos generados en la PTAR Huacho. Como los valores están reportados en rangos, tomaremos el valor promedio del rango.

A partir de los valores de los parámetros característicos estimados en las sección 4.1.2.3 podemos concluir que la producción de sólidos primarios secos y de sólidos secundarios digeridos secos es, de 14.896% y 85.104%, respectivamente, respecto a la producción total de lodos digeridos secos.

Con los datos previos confeccionamos la Tabla 22 que reporta la composición promedio de la mezcla de los lodos producidos secos primarios + secundarios.

**Tabla 22: Composición promedio del bioabono sólido seco producido en la planta de tratamiento de lodos generados en la PTAR Huacho.**

Componente	Unidad	Lodo primario digerido	Lodo secundario	Mezcla <sup>(1)</sup> lodo Primario + secundario
Sólidos volátiles	g/g sólido total	0.45	0.7350	0.6925
Proteína	g/g sólido total	0.1750	0.3650	0.3367
Nitrógeno (N)	g/g sólido total	0.0230	0.0370	0.0349
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	g/g sólido total	0.0275	0.0690	0.0628
Óxido de potasio (K <sub>2</sub> O)	g/g sólido total	0.0150	0.0060	0.0073
Celulosa	g/g sólido total	0.1150		0.0171
Hierro	g/g sólido total	0.0550		0.0082
Oxido de Si (SiO <sub>2</sub> )	g/g sólido total	0.1500		0.0223
Contenido energético	J / g sólido total	11500.00	21000	19584.88

(1): porcentaje de lodo primario seco en la mezcla = 14.896%.  
 Porcentaje de lodo secundario seco en la mezcla = 85.104%.

**Nota:** Elaboración propia.

Para estimar la composición de la mezcla de lodo primario + secundario, utilizamos la siguiente ecuación.

$$CMEZ_i = \left( \frac{PPRI}{100\%} \right) \times CPRI_i + \left( \frac{PSEC}{100\%} \right) \times CSEC_i \quad (4 - 18)$$

Donde,

CMEZ<sub>i</sub>: composición del i-ésimo componente de la mezcla.

PPRI: porcentaje de lodos primarios secos, en la mezcla, (%).

CPRI<sub>i</sub>: composición del i-ésimo componente en el lodo primario seco, (g/g sólido total).

PSEC: porcentaje de lodos secundarios secos digeridos, en la mezcla, (%).

CSEC<sub>i</sub>: composición del i-ésimo componente en el lodo secundario digerido seco, (g/g sólido total).

#### 4.2.2. Características del biol preparado en la planta

La aplicación agrícola más común de lodos residuales, es la fabricación de bioles, compost, etc.

Un biol es un efluente líquido proveniente de la descomposición en condiciones anaeróbicas de la materia orgánica, que se realiza en depósitos cerrados o biodigestores.



Para valorizar el bioabono, realizaremos la comparación con el biol 1, que es una solución cuya composición de sólidos totales es 13.5 (g/L).

Tomamos como base la operación de fabricación del biol a partir del bioabono sólido seco. Esta operación consistirá en colocar una masa  $M_s = 13.5$  (g) de bioabono sólido seco en un recipiente de capacidad 1 (L), luego agregar agua confeccionando una mezcla, hasta enrazar al volumen de mezcla  $V_m = 1$  (L). Es necesario tomar en cuenta que la densidad del agua es  $D_a = 1000$  (g/L), la densidad del bioabono sólido seco es  $D_s = 1600$  (g/L). La expresión (a2-4), se ha deducido en base a este procedimiento. En el Anexo A2, se demuestra con detalle la deducción.

$$1 = \frac{\left(\frac{M_s}{V_m}\right)}{D_s} + \frac{\left(\frac{M_a}{V_m}\right)}{D_a} \quad (a2 - 11)$$

De esta expresión despejamos la masa de agua que es necesario agregar a la mezcla.

$$M_a = D_a V_m - \left(\frac{D_a}{D_s}\right) M_s$$

$$M_a = 1000 \left(\frac{g}{L}\right) 1 (L) - \left(\frac{1000 \left(\frac{g}{L}\right)}{1600 \left(\frac{g}{L}\right)}\right) 13.5 (g) = 991.5625 (g)$$

La densidad de la mezcla será.

$$D_m = \left(\frac{M_a + M_s}{V_m}\right) \quad (a2 - 12)$$

$$D_m = \left(\frac{991.5625 (g) + 13.5 (g)}{1 (L)}\right) = 1005.0625 \left(\frac{g}{L}\right)$$

La composición de sustancias componentes características del biol preparado en la planta de tratamiento de lodos, se obtiene multiplicando la composición del i-ésimo componente en el sólido seco por la composición total de sólidos secos en el biol.

$$CB_i = CMEZ_i CSTB \quad (4 - 19)$$

Aplicando la fórmula (4-19), obtenemos la siguiente composición del biol preparado en la planta de tratamiento de lodos.

**Tabla 23: Composición de sustancias características del biol preparado en la planta de tratamiento de lodos residuales**

Componente	Mezcla <sup>(1)</sup> lodo Primario + secundario (g/g ST <sup>(a)</sup> )	Biol 1 (g/L biol)	Biol 2 (g/L biol)	Biol 3 (g/L biol)
Agua	0	991.5625	987.50000	981.2500
Sólidos totales	1.0000	13.5000	20	30
Sólidos volátiles	0.6925	9.3488	13.8500	20.7750
Proteína	0.3367	4.5455	6.7340	10.1010
Nitrógeno (N)	0.0349	0.4712	0.6980	1.0470
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0.0628	0.8478	1.2560	1.8840
Fósforo (P)	0.0274	0.3699	0.5480	0.8220
Óxido de potasio (K <sub>2</sub> O)	0.0073	0.0986	0.1460	0.2190
Potasio (K)	0.0061	0.0824	0.1220	0.1830
Celulosa	0.0171	0.2309	0.3420	0.5130
Hierro	0.0082	0.1107	0.1640	0.2460
Oxido de Si (SiO <sub>2</sub> )	0.0223	0.3011	0.4460	0.6690
Contenido energético	19584.88 <sup>(b)</sup>	264395.88 <sup>(c)</sup>	391697.60	587546.40
Densidad del biosol	-----	1005.0625	1007.5000	1011.2500

(a): sólidos totales. (b): unidad (J/ g ST). (c): unidad (J/L biol).

**Nota:** Elaboración propia.

### 4.2.3. Características de bioles

Un biol es la fracción líquida resultante del fango proveniente de un fermentador o biodigestor. Este “fango” es decantado o sedimentado obteniéndose una parte líquida a la cual se le llama “biol”. Aproximadamente el 90% del material que ingresa al biodigestor se transforma en “biol”. Esto depende del tipo de material a fermentar y de las condiciones de fermentación. Para aplicarlo como bioabono, es necesario diluirlo y adaptarlo en las proporciones de NPK, preparando una biosolución adecuada para las plantas que se desea abonar. La parte sólida proveniente de la decantación del fango se denomina biosol y tiene una textura semejante al compost. En la Tabla 24, se presentan las composiciones de algunos tipos de biol. Bioles 1 y 2 tomados de (Aparcana Robles & Jansen, 2008, pág. 3)

**Tabla 24: Comparación de la composición de algunos tipos de biol con el biol producido por la PTAR, “Biol 1”**

Componente	Biol 1 <sup>(1)</sup>	Solución hidropónica La Molina <sup>(2)</sup>		Solución 1 <sup>(3)</sup> D=1.01592 (Kg/L)		Solución 2 <sup>(3)</sup> D= 1.016 (Kg/L)	
	(g/L)	(mg/L)	(g/L)	(g/Kg)	(g/L)	(g/Kg)	(g/L)
Materia seca	13.5	-----	-----	4.18%		4.2%	
N	0.4712	190	0.190	2.63	2.67	2.4	2.44
P	0.3699	35	0.035	0.43	0.4368	1.01	1.03
K	0.0824	210	0.210	2.66	2.7023	2.94	2.99
Fe	0.1107	1.00	0.001	---	---	---	

**Nota:** Elaboración propia.

### 4.2.4. Aplicación de la solución hidropónica La Molina

#### 4.2.4.1. Preparación de la solución nutritiva La Molina

El procedimiento ha sido descrito conforme al procedimiento indicado en (Mineral, Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición;, 2015, págs. 7-10)

El biol como fertilizante líquido es muy útil para ser aplicado a través de los sistemas de irrigación. En hidroponía es común la utilización de dos soluciones A y B. La solución “A”, se prepara agregando 5 (L) de agua al conjunto de sales correspondiente, en un recipiente con tapa.

La solución “B”, se prepara agregando 2 (L) de agua al conjunto de sales correspondiente, en un recipiente con tapa.

Para preparar la solución nutritiva para su aplicación tomar 5 volúmenes de la solución “A” y 2 volúmenes de la solución “B”, para disolverlos en 1000 volúmenes de solución foliar.

Esto significa que los 7 (L) de ambas soluciones producen 1000 (L) solución nutritiva (bioabono foliar).

#### 4.2.4.2. Presentación y precios de la solución hidropónica La Molina

La soluciones “A” y “B” preparadas en las mismas proporciones, y sus precios correspondientes se muestran en la tabla siguiente, la cual ha sido extraída de (Mineral, Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición;, 2015, pág. 3)

**Tabla 25: Presentación y precios de la solución foliar La Molina**

Presentación	Volumen de solución nutritiva (L)	Peso (Kg)	Precio (S/.)	Precio unitario (S/./L)
Juego simple: 1 (L) solución “A”. 0.4 (L) solución “B”.	200 (L)	1.5	15.00	0.075
Juego en galóneras: 8.0 (L) solución “A”. 3.2 (L) solución “B”.	1600 (L)	120	85.00	0.053
Para preparar: 5 (L) solución “A”. 2 (L) solución “B”.	1000 (L)	1.5	45.00	0.045

**Nota:** La última columna ha sido agregada a la tabla original con fines de establecer comparaciones futuras.

#### 4.2.4.3. Rendimiento de la solución hidropónica nutritiva La Molina, para diferentes cultivos

El uso del Biol permite un mejor intercambio catiónico en el suelo. Con ello se amplía la disponibilidad de nutrientes del suelo. También ayuda a mantener la humedad del suelo y a la creación de un microclima adecuado para las plantas.

El biol se puede utilizar como fertilizante líquido, es decir para aplicación por rociado. También se puede aplicar junto con las aguas de riego en sistemas automáticos de irrigación.

Siendo el Biol una fuente orgánica de fitoreguladores en pequeñas cantidades es capaz de promover actividades fisiológicas y estimular el desarrollo de las plantas, sirviendo para: enraizamiento (aumenta y fortalece la base radicular), acción sobre el follaje (amplía la base foliar), mejora la floración y activa el vigor y poder germinativo de la semilla, traduciéndose todo esto en un aumento significativo de las cosechas.

Para aplicar la solución nutritiva a diferentes cultivos, se ha tomado las recomendaciones dadas en (Aparcana Robles & Jansen, 2008, pág. 5) donde se toman algunos ejemplos de aplicación del biol en ciertos tipos de cultivo que presentamos en la Tabla 4.20.

**Tabla 26: Aplicación general del Biol según tipos de cultivo.**

CULTIVO	RENDIMIENTO DE APLICACION
Papa	300 litros de Biol/Ha en 3 aplicaciones foliares. Cada aplicación en una dilución al 50% (100 litros de Biol en 200 litros de agua)
Algodón	160 litros de Biol/Ha en 4 aplicaciones foliares. Cada aplicación en una dilución al 20% (40 litros de Biol en 200 litros de agua)
Uva	320 litros de Biol/Ha en 4 aplicaciones foliares. Cada aplicación en una dilución al 20% (40 litros de Biol en 200 litros de agua)
Maíz	160 litros de Biol/Ha en 4 aplicaciones foliares. Cada aplicación en una dilución al 20% (40 litros de Biol en 200 litros de agua)
Espárrago	320 litros de Biol/Ha en 4 aplicaciones foliares. Cada aplicación en una dilución al 20% (40 litros de Biol en 200 litros de agua)
Fresa	480 litros de Biol/Ha en 12 aplicaciones foliares (cada semana durante los tres primeros meses). Cada aplicación en una dilución al 20% (40 litros de Biol en 200 litros de agua)

**Nota:** Estos datos son de suma importancia para dosificar la aplicación del biol obteniendo un óptimo resultado.

#### 4.2.5. Valoración del bioabono “biol 1”

##### 4.2.5.1. Producción de biol 1

Para evaluar la producción de “biol 1” que produciría la planta de tratamiento de lodos de la PTAR Huacho, partimos del hecho que un litro de biol 1, contiene  $C_{ss} = 13.5$  (g/L) de sólidos secos y 991.5625 (g/L) de agua.

Apartir de la Tabla 26, la producción de bioabono sólido seco, en el año 25 del horizonte del proyecto es,  $P_{ss} = 36420.192 \text{ (T/año)} = 99713.10 \text{ (Kg/día)}$ .

La producción de agua irradiada es de  $P_{ag} = 16890 \text{ (L/día)} = 16890 \text{ (Kg/día)}$ .

La producción diaria del bioabono, será dada mediante la siguiente expresión.

$$PB = \frac{P_{ss} \left( \frac{Kg}{día} \right)}{C_{ss} \left( \frac{g}{L \text{ biol}} \right) \left( \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} \right)} \quad (4 - 20)$$

La cantidad de agua que contiene el biol será dada por la expresión.

$$PAB = PB * Cab \quad (4 - 21)$$

Donde,

PB: producción total de biol, (L biol/día).

PAB: Producción de agua irradiada, (L agua/día).

Pss: producción diaria de bioabono sólido seco, (Kg/día).

Css: composición de sólidos secos en el biol, (g/L biol).

Cab: composición de agua del biol, (g/L biol).

$$PB = \frac{99713.10 \left( \frac{Kg}{día} \right)}{13.5 \left( \frac{g}{L \text{ biol}} \right) \left( \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} \right)} = 7'386155.556 \left( \frac{L}{día} \right)$$

$$PAB = 7'386155.556 \left( \frac{L}{día} \right) 991.5625 \left( \frac{g}{L} \right) \left( \frac{1 \text{ L agua}}{1000 \text{ g}} \right) = 7'323834.868 \left( \frac{L \text{ agua}}{día} \right)$$

#### 4.2.5.2. Valoración monetaria del biol 1

Como podemos ver en la Tabla 26 la solución fabricada en la planta de tratamiento de lodos residuales de la PTAR Huacho, tiene características similares a las de la solución hidropónica La Molina.

Comparando el “biol 1” producido por la planta de tratamiento de lodos de la PTAR Huacho, con la solución hidropónica La Molina, se observa:

El biol 1, posee 2.48 veces la composición de nitrógeno.

El biol 1, posee 10.57 veces la composición de fósforo.

El biol 1, posee 0.39 veces (aproximadamente la mitad) de la composición de fósforo.

El biol 1, posee 110 veces la composición de hierro.

El biol 1, es esterilizado, y puede ser aplicado para abonar las plantas cultivadas en el interior de los hogares y en jardinería doméstica.

Dadas todas estas características, del mismo orden de magnitud que la solución hidropónica nutritiva La Molina, con la excepción de la característica de esterilidad microbiana. El biol 1, no puede tener un precio menor de 0.075 (S./L).

#### 4.2.6. Estimación de ingresos y beneficios sociales

##### 4.2.6.1. Ingresos en el horizonte del proyecto

En la Tabla 27, presentamos los precios estimados para el “biol 1” y el “biol 2” producidos en la planta de tratamiento de lodos de la PTAR Huacho, y los ingresos diarios que generarían, en el año 25 del horizonte del proyecto.

**Tabla 27: Valorización monetaria del biol producido en la Planta de tratamiento de lodos de la PTAR Huacho.**

Tipode biol	Producción (L biol/día)	Precio (S./L)	Ingreso bruto (S./día)
Biol 1 Fabricado con agua esterilizada	7'386155.556	0.075	553961.667

**Nota: Elaboración propia.**

En la Tabla 28 presentamos los ingresos anuales que generaría la comercialización del biol irradiado.

**Tabla 28: Ingresos por comercialización del “Biol 1”, en el horizonte del proyecto**

Tasa anual de crecimiento poblacional = 1.60 (%).

Población en el año cero = 184964 (hab).

Producción per cápita de sólidos = 362.51 (g/hab/día).

Composición de sólidos secos del biol = 13.5.(g/L).

Precio del biol = 0.075 (S./L).

Año cero = 2016.

Año	Población	Producción anual de sólidos (g/año)	Producción de biol (13.5 g s/L) (L/año)	Ingreso bruto (S./año)
0	184964	-----	-----	-----
1	187923	24882334988.61	1843135925.08	138'235194.38
2	190930	25280452348.42	1872626099.88	140'446957.49
3	193985	25684939586.00	1902588117.48	142'694108.81
4	197089	26095898619.37	1933029527.36	144'977214.55
5	200242	26513432997.28	1963957999.80	147'296849.98
6	203446	26937647925.24	1995381327.80	149'653599.58
7	206701	27368650292.05	2027307429.04	152'048057.18
8	210008	27806548696.72	2059744347.91	154'480826.09
9	213369	28251453475.87	2092700257.47	156'952519.31
10	216783	28703476731.48	2126183461.59	159'463759.62
11	220251	29162732359.18	2160202396.98	162'015179.77
12	223775	29629336076.93	2194765635.33	164'607422.65
13	227355	30103405454.16	2229881885.49	167'241141.41
14	230993	30585059941.43	2265559995.66	169'916999.67
15	234689	31074420900.49	2301808955.59	172'635671.67
16	238444	31571611634.90	2338637898.88	175'397842.42
17	242259	32076757421.06	2376056105.26	178'204207.89
18	246135	32589985539.79	2414073002.95	181'055475.22
19	250073	33111425308.43	2452698170.99	183'952362.82
20	254075	33641208113.36	2491941341.73	186'895600.63
21	258140	34179467443.18	2531812403.20	189'885930.24
22	262270	34726338922.27	2572321401.65	192'924105.12
23	266466	35281960345.03	2613478544.08	196'010890.81
24	270730	35846471710.55	2655294200.78	199'147065.06
25	275062	36420015257.91	2697778907.99	202'333418.10

**Nota:** Elaboración propia.



- En la primera columna se indican los años del horizonte del proyecto.
- En la segunda columna, se ha obtenido la masa de sólidos producidos cada año, multiplicando la población por la la producción per cápita de sólidos.
- En la columna 3, se ha obtenido el volumen de fertilizante producido anualmente, se calcula empleando la ecuación (4-22).

$$VB (L \text{ biol}) = \frac{M_{ss} (g)}{C_{ss} \left( \frac{g}{L \text{ biol}} \right)} \quad (4 - 22)$$

Donde,

VB: volumen de biol producido en el año, (L biol).

M<sub>ss</sub>: masa de sólidos secos producidos en el año, (T).

C<sub>ss</sub>: composición de sólidos secos del biol, (g/L biol), para el biol que estamos considerando el valor es 13.5 (g/L biol).

En la columna 4, se ha calculado el ingreso anual por la comercialización del los bioles 1, expresado en (S./año). Se calcula usando la ecuación (4-23).

$$IA = PRB1 * VB \quad (4 - 23)$$

Donde,

IA: ingreso anual por la comercialización de los bioles 1 y 2, (S./año).

VB: volumen de biol producido en el año, (L biol/año).

PRB1: precios del biol 1 (13.5 g/L biol), (S./L biol).

#### 4.2.6.2. Beneficio social en agricultura (potencial de fertilización del biol)

El beneficio social que originaría el biol, en la actividad agrícola de la provincia, lo cuantificaremos calculando la cantidad de area cultivable que se puede atender para su fertilización durante cada año en el horizonte del proyecto.

El potencial de fertilización es el parámetro que se debe calcular para evaluar el beneficio agrícola que hemos establecido previamente. Lo estimaremos a partir de la cantidad de (Ha año) que se pueden fertilizar en el horizonte del proyecto.

Un volumen de fertilizante V(L), con un rendimiento de fertilización para un cierto cultivo R(L/Ha/semana), puede fertilizar un área de cultivo A(Ha), durante un tiempo T(años).

Estas magnitudes se relacionan según la siguiente expresión.

$$V(L) = R \left( \frac{L}{Ha \text{ sem}} \right) A(Ha) T(año) \left( \frac{52 \text{ sem}}{1 \text{ año}} \right) \quad (4 - 24)$$

Para estimar el potencial de fertilización, Area de cultivo fertilizado – tiempo (Ha año), dividimos el volumen promedio de fertilizante producido en el año V(L biol) y lo dividimos entre el rendimiento del fertilizante R (L biol/Ha/año).

Para obtener este parámetro tomaremos como referencia al cultivo de fresa, presentado en la Tabla 26, porque es el más exigente en rendimiento de fertilizantes, por ser el más alto, R = 480 (L/Ha/sem).

En la Tabla 29, se presentan los datos obtenidos para cada año en el horizonte del proyecto.

En la columna 4, se ha obtenido, el parámetro de potencial de fertilización, que determina la cantidad de área fertilizada durante un año. Se calcula mediante la ecuación (4-25).

$$PFer = \frac{V (L)}{R \left( \frac{L}{Ha \text{ sem}} \right) \left( \frac{52 \text{ sem}}{1 \text{ año}} \right)} \quad (4 - 25)$$

Donde,

PFer: parámetro de impacto socioeconómico del biol, (Ha año).

V: volumen de biol producido en el año indicado, (L).

R: rendimiento del biol para fertilizar el cultivo elegido, (L biol/Ha/sem), para la fresa que hemos escogido como referencia, R = 480 (L biol/Ha/sem).

**Tabla 29: Estimación del parámetro potencial de fertilización del biol producido en la planta de tratamiento de lodos de la PTAR Huacho**

Año cero = 2016		
Cultivo de referencia: fresa		
Rendimiento de fertilización del biol: 480 (L/Ha/sem).		
AÑO	Volumen de biol producido (L biol)	Potencial de fertilización (Ha año)
0	-----	-----
1	1843135925.08	73844
2	1872626099.88	75025
3	1902588117.48	76225
4	1933029527.36	77445
5	1963957999.80	78684
6	1995381327.80	79943
7	2027307429.04	81222
8	2059744347.91	82522
9	2092700257.47	83842
10	2126183461.59	85184
11	2160202396.98	86547
12	2194765635.33	87931
13	2229881885.49	89338
14	2265559995.66	90768
15	2301808955.59	92220
16	2338637898.88	93695
17	2376056105.26	95195
18	2414073002.95	96718
19	2452698170.99	98265
20	2491941341.73	99837
21	2531812403.20	101435
22	2572321401.65	103058

23	2613478544.08	104707
24	2655294200.78	106382
25	2697778907.99	108084
PROMEDIO		89925


**Nota: Elaboración propia.**

#### 4.2.6.3. Impacto en la agricultura de la provincia

Extraído de la sección de Economía de (Wikipedia, Actividad Económica Huaura, 2017)

La principal actividad productiva en el valle es la agricultura; de los 7357 productores en la zona, 57% se dedican a dicha actividad productiva, mientras que el 43% realiza al menos una práctica pecuaria. Los distritos de Huacho, Carquín y Hualmay congregan al 11% de los productores del valle, mientras que Santa María registra la mayor concentración con el 33%. Para la campaña 2007-2008, se registró oficialmente un aproximado de 30 cultivos de las 10183 (Ha) cosechadas. Los más importantes por su contribución al valor bruto de la producción agrícola del valle fueron la caña de azúcar, la naranja, el espárrago, la alfalfa, el tomate y el maíz amarillo duro.

**Tabla 30: Lomas de Lachay en Primavera**

	<p>A lo largo de la costa de la provincia de Huaura se puede ampliar la frontera agrícola, utilizando aguas subterráneas, y como fertilizante el biol producido en la planta de tratamiento de lodos.</p>
---	---

**Nota:** Fotografía tomada de, Wikipedia, Provincia de Huaura, Junio, 2017.

En los últimos cinco años, el crecimiento de la producción de los principales cultivos agrícolas del valle ha sido importante. A los cultivos tradicionales como caña de azúcar y maíz amarillo duro, se unen frutales como el naranjo y la mandarina, además del maíz choclo. Modificada la Tenencia de la tierra por la aplicación de la ley de la Reforma

Agraria N° 17716 el 24 de junio de 1969, dio nacimiento a las Cooperativas Agrarias de Producción que liquidaron el Sistema de Producción de las haciendas, llevando a cabo un proceso que buscaba liquidar las relaciones de trabajo antagónico.

Esta forma empresarial, tuvo una corta existencia de vida porque las empresas asociativas fueron parceladas en su mayoría en el Valle Huaura Sayán. Quedan actualmente solo 4 Cooperativas trabajando de manera integral: Cooperativa de Producción Camay, Cooperativa Agraria de Producción Manco Cápac, Cooperativa de Producción Andahuasi, y Cooperativa de Producción Ingenio, la primera dedicada a la producción de lácteos, la Segunda a la producción de pan llevar y las 2 últimas a la producción de azúcar, con sus respectivos trapiches.

Hacemos notar que, la planta de tratamiento de lodos de la PTAR Huacho, tendría capacidad suficiente para atender aproximadamente 9 veces, la fertilización de los 30 cultivos realizados en 10183 (Ha año) de la provincia de Huaura.

Por lo tanto, la producción a gran escala del biol fortalece la posibilidad de ampliar las fronteras agrícolas de la provincia de Huaura.

#### **4.3. Diseño de la planta**

##### **4.3.1. Localización de la planta**

No es necesario que la planta de tratamiento de lodos residuales esté colindante con la PTAR Huacho, dado que los lodos se pueden transportar mediante cisternas. Además, se prevé un desarrollo urbanístico futuro por el sur de Huacho, el cual amerita la construcción de una PTAR Sur de Huacho, y la planta debe estar ubicada entre ambas. También debemos tener en cuenta que debe haber un adecuado suministro de agua potable y energía eléctrica.

Por estas razones sugiero que su ubicación de la planta de tratamiento de lodos residuales esté en la Campiña de Huacho.

### 4.3.2. Desinfección de los lodos residuales

#### 4.3.2.1. Composición de los lodos tratados

Según los cálculos mostrados en la Tabla 31, el aporte per cápita de lodos es 54 (g/hab/día) de lodos secos primarios y 308.51 (g/hab/día) de lodos secundarios secos, haciendo un aporte per cápita total de lodos de 362.51 (g/hab/día).

De los datos obtenidos en la Tabla 31, podemos obtener el aporte per cápita de microorganismos a los lodos primarios y secundarios producidos en la PTAR.

Mostramos el aporte per cápita de microorganismos a la mezcla de lodos primario + secundario, para lo cual hemos utilizado el promedio ponderado, tomando como factor de peso el aporte per cápita de lodos primario y secundario.

$$AMOMi = \left( \frac{ALp}{ALp + ALs} \right) AMOpi + \left( \frac{ALs}{ALp + ALs} \right) AMOsi \quad (4.26)$$

Donde,

AMOMi: aporte per cápita a la mezcla de lodos primario y secundario, del i-ésimo microorganismo, (NMP/hab/día).

MOpi: aporte per cápita al lodo primario, del i-ésimo microorganismo, (NMP/hab/día).

AMOSi: aporte per cápita al lodo secundario, del i-ésimo microorganismo, (NMP/hab/día).

ALp: aporte per cápita, de lodos primarios secos, (g/hab/día)

ALs: aporte per cápita, de lodos secundarios secos, (g/hab/día).

**Tabla 31: Aportes de microorganismos y huevos de nemátodos intestinales a los lodos de un sedimentador primario y los lodos de un tratamiento de zanjas aireadas con sedimentador secundario.**

Componente	Lodo Primario seco	Lodo Secundario seco	Lodo primario+ secundario
Lodos (g/hab/día)	54	308.51	362.51

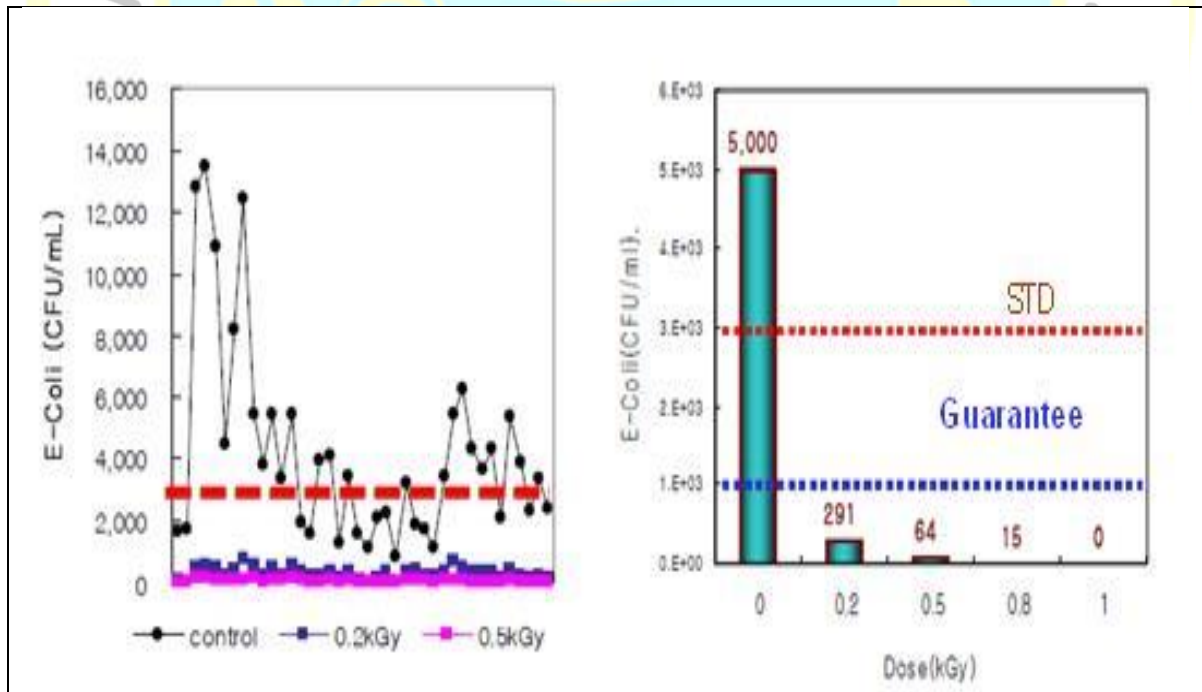
Coliformes fecales (NMP/hab/día)	1.80e11	1.98e10	4.37e10
Salmonella Sp. (NMP/hab/día).	9.00e7	9.90e6	2.18e7
Nematodes intestinalis (NMP/hab/día).	3.60e5	3.96e4	8.73e4

**Nota:** Elaboración propia.

#### 4.3.2.2. Nivel de dosis requerida

Un efluente secundario de una planta de tratamiento de aguas residuales municipales en la República de Corea del Sur, se irradió con haces electrónicos. En la Figura 4.6 y tabla 4.25 se muestran los resultados de la evolución de microorganismos después de ser irradiados con diferentes dosis de radiación con haces electrónicos de mediana energía, el resultado experimental fue reportado en (Kim, Han, & Kim, Wastewater disinfection with electron beams, 2005, p. 5) . Luego de irradiar con haces electrónicos se observó que casi el 100% de E-Coli. y coli-formes totales fueron inactivados con una dosis de 0.8kGy. Incluso con la dosis más baja de 0.2 (kGy), la E-Coli y coli-formes totales fueron inactivados con éxito al nivel de la norma de límites de tolerancia para la descarga de efluentes (menos de 3000 números en 1 mililitro).

**Figura 20:** Gráfica del efecto sobre la población de microorganismos de un efluente secundario al ser irradiado con haces electrónicos



**Nota:** Documento IAEA-CN-115-38

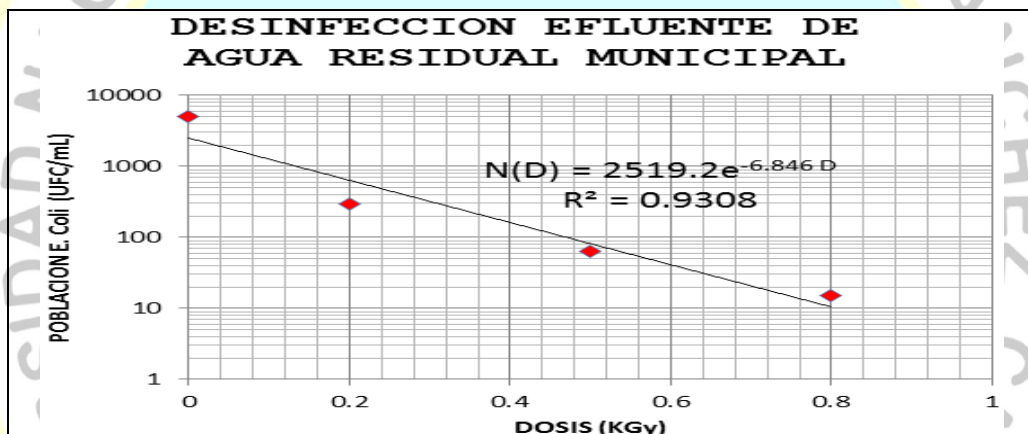
Con el fin de obtener la dosis decimal, a partir de los datos de las gráficas, construimos la Tabla 32

**Tabla 32: Desinfección de e. coli en efluentes secundarios de aguas municipales residuales**

DOSIS (KGy)	POBLACION INICIAL (UFC/mL)
0	5000
0.2	291
0.5	64
0.8	15

**Nota:** Elaboración propia.

**Figura 21: Gráfica del modelo ajustado y datos experimentales de la irradiación de muestras de efluentes de aguas municipales**



**Nota:** Elaboración propia

La población microbiana ante el efecto de la dosis absorbida, evoluciona según la ecuación.

$$N(D) = N_0 \exp(-K D) \quad (4.27)$$

Donde,

$N_0$ : población de microorganismos antes de la irradiación, (UFC/mL).

$N(D)$ : población residual de microorganismos después que la población original recibiera una dosis de radiación ionizante (electrones de mediana energía) igual  $D$ , (UFC/mL).

$D$ : dosis de radiación ionizante (electrones de mediana energía), (KGy).



K: constante de reducción de la población de microorganismos, (KGy<sup>-1</sup>).

Del ajuste de la ecuación antes descrita, a los datos experimentales, resulta la constante K = 6.846 (KGy<sup>-1</sup>).

La dosis decimal, que es la dosis de radiación ionizante necesaria para reducir la población microbiana en un factor de 10, se obtiene del siguiente modo.

$$D_{10} = - \frac{\ln\left(\frac{1}{10}\right)}{K} \quad (4.28)$$

$$D_{10} = \frac{\ln(10)}{6.846(\text{KGy}^{-1})} = 0.3363$$

La dosis de inactivación es aquella que produce la reducción de la población microbiana en 12 décadas (10<sup>12</sup>), equivale a doce veces la dosis decimal. Para el *E. Coli es*.

$$D_{\text{inac}} = 12 D_{10} = 12 \times 0.33634 (\text{KGy}) = 4.036 (\text{KGy})$$

Esta es la dosis necesaria para inactivar el *E. Coli*, que es el microorganismo más radio resistente. Si aseguramos que éste se ha inactivado los demás también se han inactivado.

#### 4.3.2.3.Sistema de irradiación

Consideramos un acelerador de electrones, cuya energía del haz de electrones puede variar entre, E = 2 a 5 (MeV). Según (Kim, Han, Kim, & Yaacov., Electron beam sludge system, 2009, p. 2), el lodo es un residuo generado en los locales domésticos y consiste principalmente de residuos humanos. Este típicamente contiene 99.9% de agua y 0.1% de sólidos.

Según (Kim, Han, Kim, & Yaacov, Design of electron beam higienization plant, 2009, pp. 25-26), los sólidos secos poseen una densidad promedio  $D_{\text{sólidos}} = 1600 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$ . Cuando la solución es llevada a una concentración de sólidos de 18% en volumen, para su adecuación antes de ser irradiado, la mezcla resultante posee las características siguientes.

**A). Densidad:**

$$D_{\text{mezcla}} = FV_{\text{sólido}} D_{\text{sólido}} + (1 - FV_{\text{sólido}}) D_{\text{agua}} \quad (4.29)$$

$$D_{\text{mezcla}} = 0.18 \times 1600 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) + (1 - 0.18) 1000 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) = 1108 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right)$$

**B). Porosidad: 30%.**

Después de algún tiempo la mezcla se estabiliza formando un cake cuya porosidad es del 30% ( $\phi = 0.3$ ). Bajo estas circunstancias la densidad del cake es.

$$D_{\text{cake}} = \frac{D_{\text{mezcla}}}{(1 + \phi)} \quad (4.30)$$

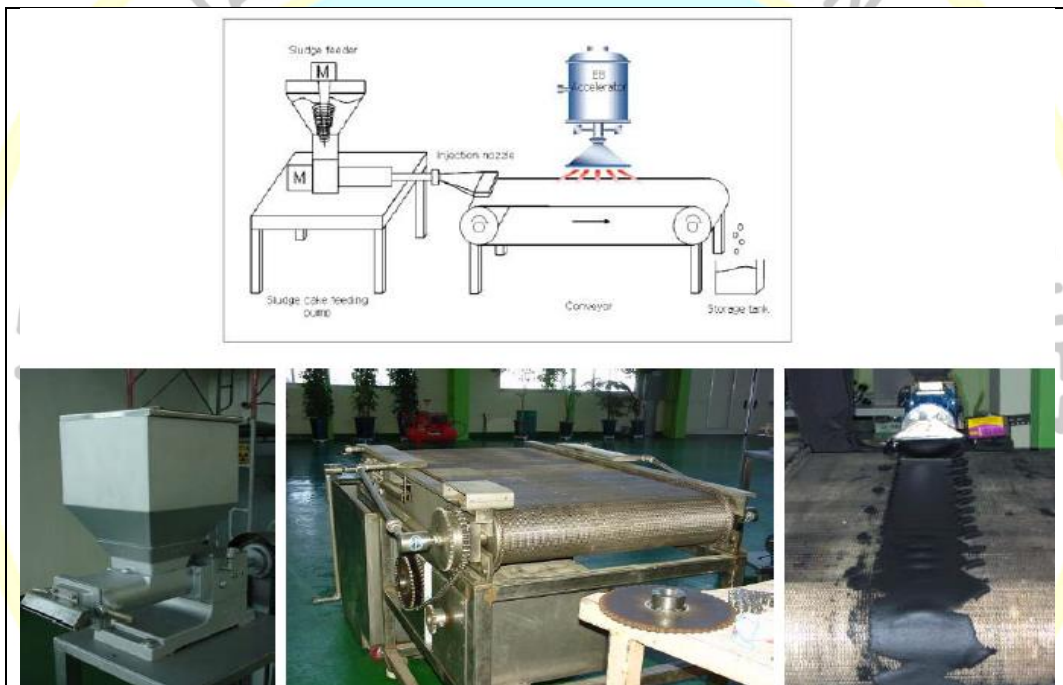
$$D_{\text{cake}} = \frac{1108 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right)}{(1 + 0.3)} = 852.3077 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right)$$

Este cake tendrá una densidad relativa.

$$DR_{cake} = \frac{D_{cake}}{D_{agua}} = \frac{852.3077 \left(\frac{Kg}{m^3}\right)}{1000 \left(\frac{Kg}{m^3}\right)} = 0.8523077$$

El esquema y fotos mostradas en la Figura 22 han sido tomados de (Kim, Han, Kim, & Yaacov., Electron beam sludge system, 2009, p. 19)

**Figura 22: Esquema y vista fotográfica del sistema de transporte del cake para ser irradiado.**



#### 4.3.2.4. Espesor óptimo de la película de efluente

El espesor óptimo lo elegimos de modo tal que la dosis absorbida a una profundidad igual al del espesor óptimo es igual a la dosis en la superficie de incidencia.

El espesor óptimo se obtiene utilizando la siguiente correlación.

$$R_{op} = \frac{0.33 \left( \frac{g}{MeV \text{ cm}^2} \right) (E (MeV) - 0.2 (MeV))}{D \left( \frac{g}{cm^3} \right)} \quad (4.31)$$

A continuación mostramos en una tabla los valores correspondientes a diferentes energías del haz de electrones.

**Tabla 33: Espesor óptimo de un cake de densidad  $D = 0.8523077 \text{ (g/cm}^3\text{)}$  para diferentes energías del haz de electrones (2 – 5 MeV)**

ENERGIA DEL HAZ, E (MeV)	ESPESOR EFECTIVO OPTIMO, Re (cm)
2.0	0.6969
2.5	0.8905
3.0	1.0841
3.5	1.2777
4.0	1.4713
4.5	1.6649
5.0	1.8585

**Nota:** Elaboración propia

#### 4.3.2.5. Distribución de la energía en el interior del cake

Para construir la distribución de energía en función de la profundidad, calcularemos algunos rangos y energías características, para un haz de electrones de energía nominal  $E_n$  (MeV). En el anexo A1, se demuestran las correlaciones mostradas en la Tabla 34. Los datos para obtener las correlaciones fueron obtenidas de (Strydom, Parker, & Olivarez, 2012, pág. 35)

**Tabla 34: Correlaciones para estimar rangos y energías características en la distribución de absorción de energía electrónica por el mecanismo de ionización, en función del rango en el interior de una solución acuosa**

Correlación	Medio	
	Agua	Solución acuosa
Rango 90%	$R90_{ag} = 0.3181E_n + 0.1414$	$R90_{sol} = \frac{0.3181 E_n + 0.1414}{DR_{sol}}$

Rango 80%	$R80_{ag} = 0.3382 En + 0.1881$	$R80_{sol} = \frac{0.3382 En + 0.1881}{DR_{sol}}$
Rango 50%	$R50_{ag} = 0.4296 En - 0.391$	$R50_{sol} = \frac{0.4296 En - 0.391}{DR_{sol}}$
Rango óptimo	$ROP_{ag} = 0.33 En - 0.066$	$ROP_{sol} = \frac{0.33 En - 0.066}{DR_{sol}}$
Rango práctico	$RP_{ag} = 0.5151 En - 0.2067$	$RP_{sol} = \frac{0.5151 En - 0.2067}{DR_{sol}}$
Energía superficial	$ES_{ag} = 0.9844 En - 0.5375$	$ES_{sol} = DR_{sol} (0.9844 En - 0.5375)$
Energía más probable	$EP_{ag} = 0.9339 En + 1.2913$	$EP_{sol} = DR_{sol} (0.9239 En + 1.2913)$
En: energía nominal del haz electrónico, (MeV).		
R: rango de los electrones en el interior del medio, (cm).		

**Nota:** Elaboración propia.

Haciendo uso de las correlaciones dadas en la Tabla 34, se ha elaborado la Tabla 35 que muestra los rangos y energías características de un haz electrones de energía nominal 5 (MeV) cuando inciden sobre agua y cake.

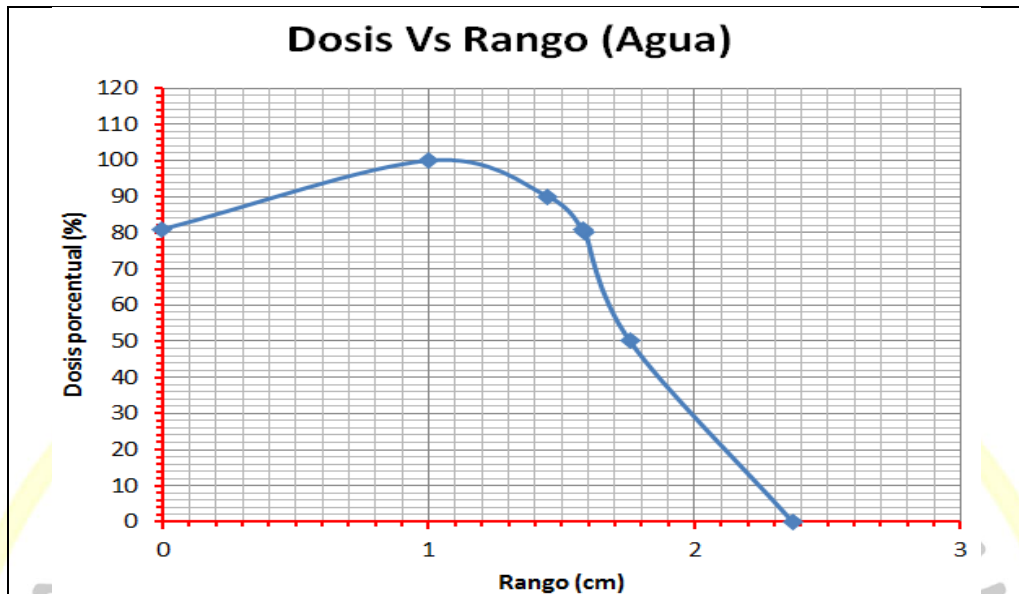
**Tabla 35: Rangos y energías características de electrones de energía nominal 5 (MeV) al incidir sobre medios agua y cake de densidad  $D_{sol} = 0.8523077$  (g/cm<sup>3</sup>).**

Nominación	Agua		Cake	
	Rango (cm)	Dosis (%)	Rango (cm)	Dosis (%)
Superficial	0.0000	81	0.0000	81
Zmax (1)	1.0000	100	1.1733	100
R90	1.4491	90	1.7002	90
R80	1.5529	80	1.8220	80
Rop	1.584	81	1.8585	81
R50	1.757	50	2.0615	50
Rp	2.3688	0	2.7793	0

**Nota:** Elaboración propia.

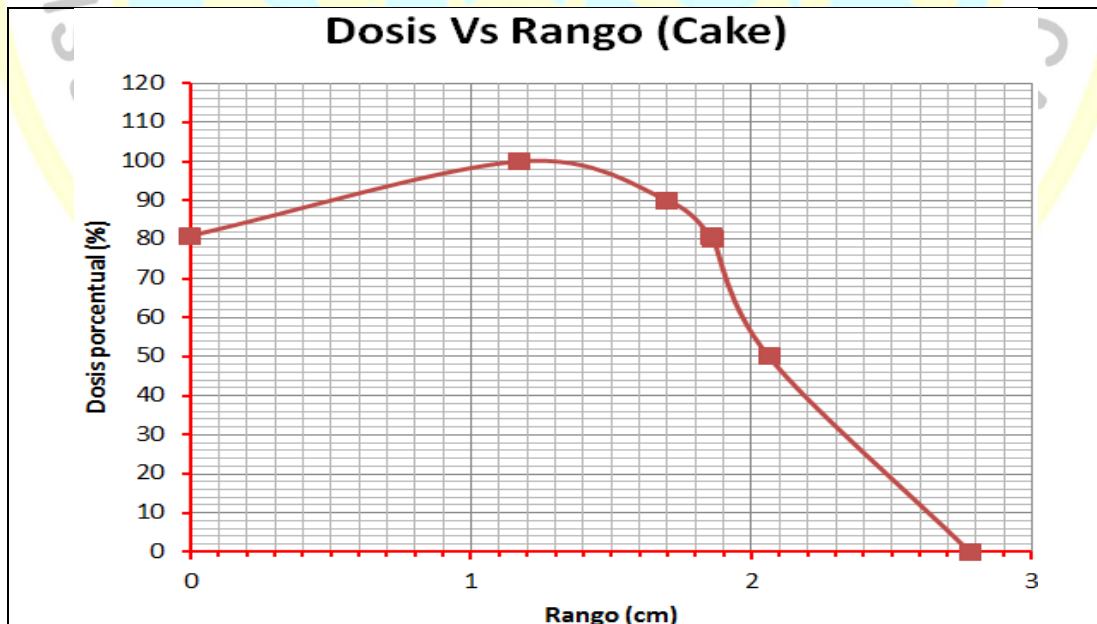
En las Figuras 23 y 24, se muestran las gráficas de las distribuciones de dosis porcentual en el interior de los medios agua y cake de densidad  $D_{sol} = 0.8523077$  (g/cm<sup>3</sup>).

**Figura 23:** Curva de distribución de dosis porcentual en función de la penetración (R), en el interior de un medio acuoso de densidad 1 (g/cm<sup>3</sup>).



Nota: Elaboración propia.

**Figura 24:** Curva de distribución de dosis electrónica en función de la penetración (R), en el interior de un solución acuosa de densidad 0.8523077 (g/cm<sup>3</sup>).



Nota: Elaboración propia.

### 4.3.3. Dimensionamiento del sistema de irradiación

#### 4.3.3.1 Producción y tratamiento de lodos residuales

El caudal diario de tratamiento se estimará a partir de la producción anual de lodos residuales secos en el año 25 del horizonte del proyecto, mostrado en la Tabla 35 del capítulo 3, cuyo valor es 36420.192 (T lodo seco/año).

La masa de lodo seco producida en un año será.

$$M_{ls} = 36'420192 \text{ (Kg)}$$

Este lodo seco posee una densidad  $D_{ls} = 1.6 \text{ (g/cm}^3\text{)} = 1600 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$ , ocupa un volumen  $V_{ls}$  estimado en.

$$V_{ls} = \frac{M_{ls}}{D_{ls}} \quad (4.32)$$

$$V_{ls} = \frac{36'420192 \text{ (Kg)}}{1600 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right)} = 22762.62 \text{ (m}^3\text{)}$$

#### Para cake (18% ss):

El volumen de lodo seco que es mezclado con agua al 18% en volumen, con una porosidad aproximada del 30%. Posee una densidad de la mezcla de 1108 (Kg/m<sup>3</sup>) y una densidad promedio del cake poroso de 852.3077 (Kg/m<sup>3</sup>)

La estimación del volumen total de agua será.

$$V_{agua} = V_{ls} \left( \frac{1 - FV_{ls}}{FV_{ls}} \right) \quad (4.33)$$

$$V_{agua} = 22762.62 \text{ (m}^3\text{)} \left( \frac{1 - 0.18}{0.18} \right) = 103696.38 \text{ (m}^3\text{)}$$

La masa de agua en la mezcla será.

$$M_{agua} = D_{agua} V_{agua} \quad (4.34)$$

$$M_{agua} = 1000 \left( \frac{Kg}{m^3} \right) 103696.38 \text{ (m}^3\text{)} = 103'696380 \text{ (Kg)}$$

La masa total de la mezcla y del cake será la misma.

$$M_{mezcla} = M_{ls} + M_{agua} \quad (4.35)$$

$$M_{mezcla} = 36'420192 \text{ (Kg)} + 103'696380 \text{ (Kg)} = 140'116572 \text{ (Kg)}$$

$$M_{cake} = M_{mezcla} = 140'116572 \text{ (Kg)}$$

El volumen total de la mezcla será.

$$V_{mezcla} = \frac{M_{mezcla}}{D_{mezcla}} \quad (4.36)$$



$$V_{mezcla} = \frac{140'116572 (Kg)}{1108 \left(\frac{Kg}{m^3}\right)} = 126459 (m^3)$$

El volumen total del cake será.

$$V_{m\text{cake}} = \frac{M_{\text{cake}}}{D_{\text{cake}}} \quad (4.37)$$

$$V_{\text{cake}} = \frac{140'116572 (Kg)}{852.3077 \left(\frac{Kg}{m^3}\right)} = 164396.70 (m^3)$$

Los volúmenes y masas de tratamiento diario de cake lo hemos estimado considerando que la planta labora 52 semanas al año y 6 días a la semana.

$$VT_{\text{diario}} = \frac{VT_{\text{anual}} \left(\frac{m^3}{\text{año}}\right)}{NSA \left(\frac{\text{sem}}{\text{año}}\right) NDS \left(\frac{\text{días}}{\text{sem}}\right)} \quad (4.38)$$

$$MT_{\text{diario}} = \frac{MT_{\text{anual}} \left(\frac{m^3}{\text{año}}\right)}{NSA \left(\frac{\text{sem}}{\text{año}}\right) NDS \left(\frac{\text{días}}{\text{sem}}\right)} \quad (4.39)$$

$$\langle Q_{\text{cake}} \rangle = \frac{164396.70 \left(\frac{m^3}{\text{año}}\right)}{52 \left(\frac{\text{sem}}{\text{año}}\right) 6 \left(\frac{\text{días}}{\text{sem}}\right)} = 526.91 \left(\frac{m^3}{\text{día}}\right)$$

Con estos datos construimos la Tabla 36, de datos característicos de la producción de lodos.

**Tabla 36: Resumen de la producción de lodos residuales**

Producto		Producción anual	Producción diaria	tratamiento diaria
Masa de lodos secos (Mls), (Kg).		36'420192	99713.05	116731.38
Volumen de lodos secos (Vls), (m <sup>3</sup> ).		22762.62	62.32	72.96
Volumen de agua (Vagua), 18% ss (m <sup>3</sup> ).		103696.38	283.91	332.36
Masa de agua (Magua), (Kg).	18% ss	103'696380	283905.22	332360.19
Masa de la mezcla (Mmezcla), (Kg).	18% ss	140'116572	383618.27	4401.58
Volumen de la mezcla (Vmezcla), (m <sup>3</sup> ).	18% ss	126459	346.23	405.32
Masa del cake , Mcake, (Kg).	18% ss	140'116572	383618.27	449091.58
Volumen del cake (Vcake), (m <sup>3</sup> ).	18% ss	164396.70	450.09	526.91

**Nota:** Elaboración propia.

#### 4.3.3.2. Velocidad media de la película de cake

Para calcular la velocidad promedio del flujo de tratamiento del cake, es necesario considerar el caudal diario QR (m<sup>3</sup>/día), el número de turnos diarios NT = 2 (turno/día), el número de horas de irradiación por turno HIT = 7 (h irrad/turno), el área de la sección transversal del flujo de cake A = H x Rop, donde H = 1.2 (m).

La velocidad media de la película de cake efluente (18% ss) en el centro del área escaneada por los haces de electrones, debe ser.

$$\langle V \rangle = \frac{\langle Q_{cake} \rangle}{H Rop} \quad (4.40)$$

$$\langle V \rangle = \frac{526.1 \left( \frac{m^3}{día} \right) \left( \frac{1 \text{ día}}{2 \text{ turno}} \right) \left( \frac{1 \text{ turno}}{7 \text{ h}} \right) \left( \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \right)}{1,2 \text{ (m)} 0.018585 \text{ (m)}}$$

$$\langle V \rangle = 0.4681 \left( \frac{m}{s} \right)$$

$$\langle V \rangle = 0.4681 \left( \frac{m}{s} \right) \left( \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} \right) = 46.81 \left( \frac{cm}{s} \right)$$

#### 4.3.3.3. Tasa de tratamiento másico del cake irradiado

La tasa de tratamiento másico del irradiador es equivalente al gasto del cake y es,

$$\langle G_{\text{cake}} \rangle = \langle Q_{\text{cake}} \rangle \left( \frac{1 \text{ día}}{NT \text{ turnos}} \right) \left( \frac{1 \text{ turno}}{HIT \text{ h}} \right) \left( \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} \right) D_{\text{cake}} \quad (4.41)$$

Para el cake (18% ss):

$$\begin{aligned} \langle G_{\text{cake}} \rangle &= 526.91 \left( \frac{m^3}{día} \right) \left( \frac{1 \text{ día}}{2 \text{ turnos}} \right) \left( \frac{1 \text{ turno}}{7 \text{ h}} \right) \left( \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} \right) 852.077 \left( \frac{Kg}{m^3} \right) \\ &= 769659.24 \left( \frac{Kg}{día} \right) \end{aligned}$$

$$\langle G_{\text{cake}} \rangle = 769659.24 \left( \frac{Kg}{día} \right) \left( \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} \right) = 32069.14 \left( \frac{Kg}{h} \right)$$

#### 4.3.3.4. Dimensionamiento del acelerador de electrones

La potencia del acelerador se refiere a la potencia del haz de electrones necesaria para asegurar que el efluente reciba una dosis equivalente a la dosis de inactivación del E. Coli. Esta potencia ha sido evaluada para el acelerador trabajando a una energía del haz  $E = 5$  (MeV), y considerando una dosis de inactivación del E. Coli  $D_{inac} = 4.036$  (KGy). Según (Kim, Han, Kim, & Yaacov, Design of electron beam higienization plant, 2009, pp. 25-26) el factor de eficiencia de transferencia de energía está en el rango  $Ef = 0.6 - 0.8$ , tomaremos el valor más exigente en el diseño de la planta.

Para el cake (18% ss):

$$POT_{haz} = \frac{\langle G_{cake} \rangle D}{Ef} \quad (4.42)$$

$$POT_{haz} = \frac{32069.14 \left(\frac{Kg}{h}\right) \left(\frac{1 h}{3600 s}\right) 4.036 (KGy) \left(\frac{1000 \frac{J}{Kg}}{1 KGy}\right)}{0.6}$$

$$POT_{haz} = 59921.78 (W)$$

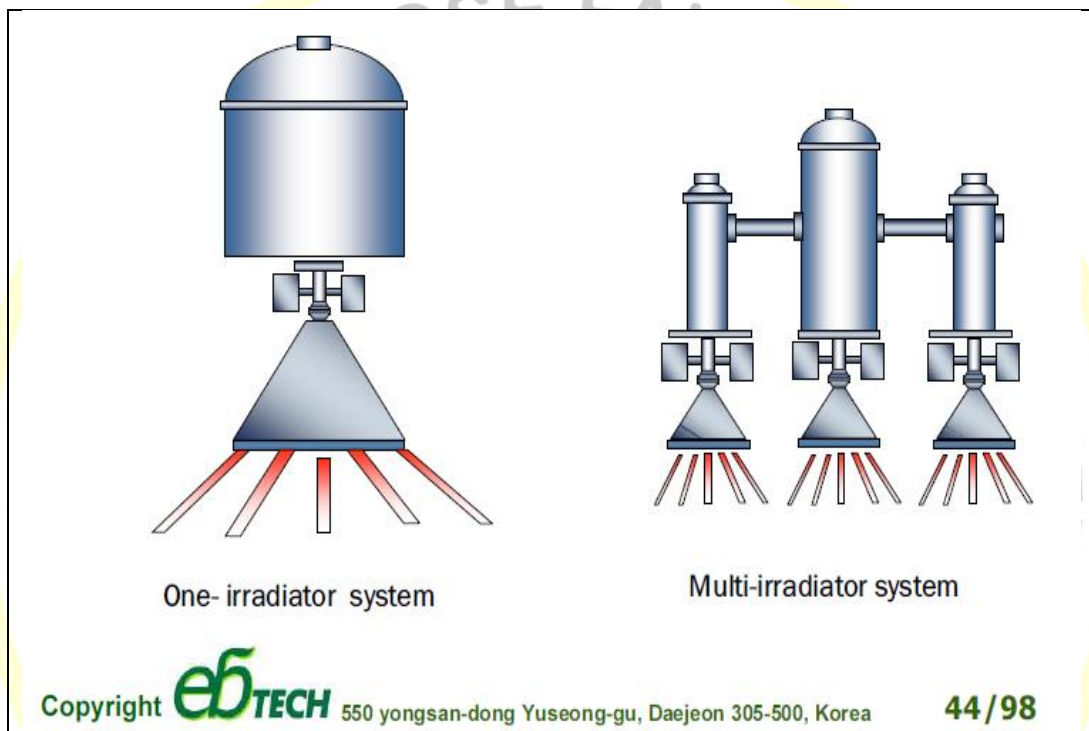
$$POT_{haz} = 59921.78 (W) \left(\frac{1 KW}{1000 W}\right) = 60 (KW)$$

Según las tecnologías que se ofrecen en el mercado, se debe escoger un acelerador de 60 ó 100 (KW). Las configuraciones mínimas de aceleradores de electrones, necesario para realizar este volumen de tratamiento pueden ser:

- Un acelerador de 60 (KW), que trata todo el gasto de cake en una sola línea de tratamiento.
- Un sistema multi-irradiador, la potencia de 60(KW) la distribuye en diferentes líneas de tratamiento.

El acelerador seleccionado debe tener la capacidad de irradiar mayores volúmenes de bioabono líquido con menores concentraciones de sólidos, que podrían provenir de otras PTARs. Por tal razón escogemos un acelerador múltiple con energía cinética máxima de los electrones del haz de 5 (MeV) y potencia 100 (KW). La eficiencia de conversión de energía eléctrica en energía del haz, es 80%. En la Figura 25 se ha tomado el esquema de (Han, Kim, & Kim, Accelerators for radiation processing, 2009, p. 44).

**Figura 25: Diseño de sistemas de irradiación**



Los datos de la Tabla 37, acerca de precios de aceleradores, se han tomado de (Han, Kim, & Kim, Accelerators for radiation processing, 2009, p. 43)

**Tabla 37: Precios de aceleradores de electrones según su potencia**

POTENCIA DEL HAZ DE ELECTRONES (KW)	PRECIO TOTAL (M\$)	PRECIO UNITARIO (\$/W)
20	0.6	30
40	0.8	20
100	1	10
200	1.5	7.5

400	2	5
1000	2.2	2.2

**Nota:** Elaboración propia.

#### 4.3.4. Separación de líquidos y sólidos del cake irradiado

El efluente debidamente desinfectado pasa a la sección de separación de sólidos y líquidos, cuando así se requiera. Este proceso se requiere cuando los efluentes han sido previamente espesados (18% de sólidos).

**Figura 26: Prensa de tornillo y centrífuga.**



**Nota:** Foto extraída de la página de C&D-CENTRIFUGAS & DECANTERS-"Ingeniería en Separación" (2017).

#### **Proceso A:**

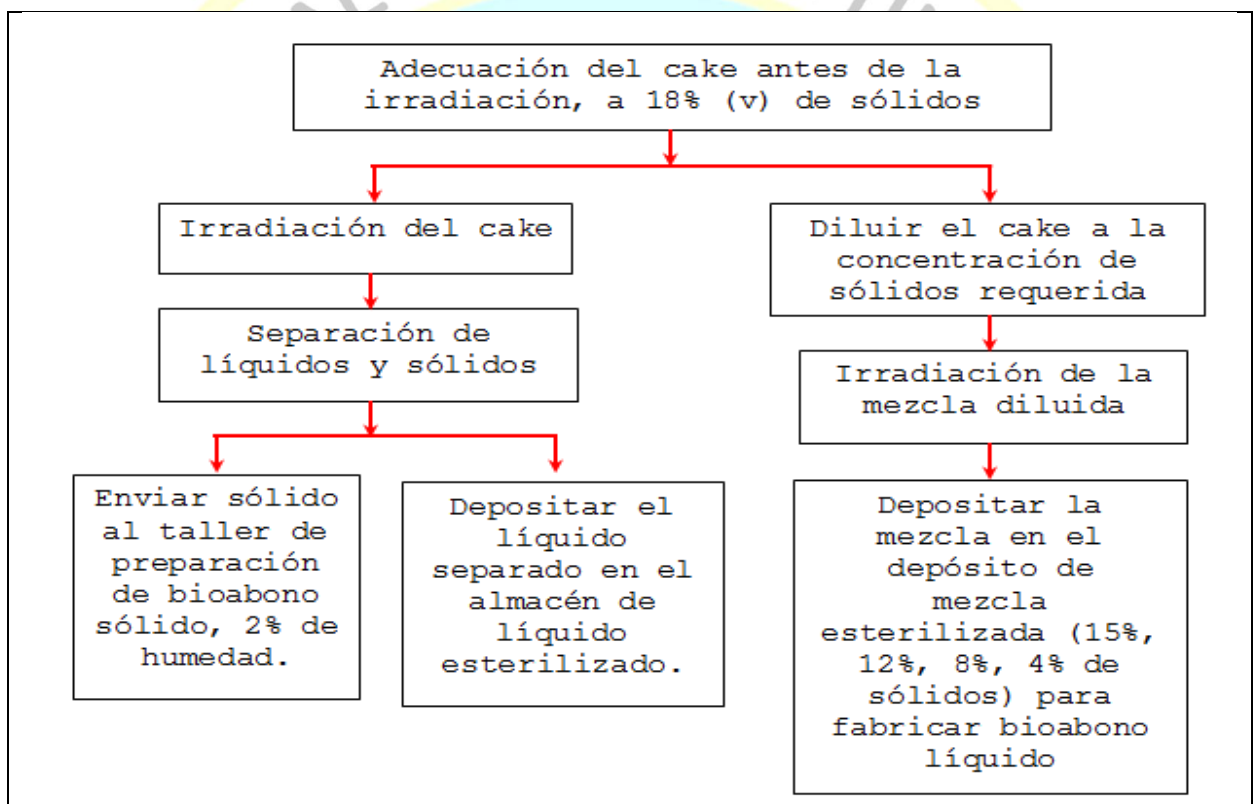
- Se espesan y adecuan los lodos en el reservorio de adecuación y distribución.
- Se irradian los efluentes espesados en forma de cake.
- Los componentes líquidos y sólidos, del efluente irradiado se separan por centrifugación o usando una prensa de tornillo.
- Los líquidos se bombean hacia el reservorio de bioabono líquido.
- Los sólidos se envían en carritos transportadores empujados por obreros al taller de bioabono sólido, donde pasarán un proceso de control de calidad y se embolsarán debidamente.

#### **Procesos especiales B:**

Puede darse el caso que se necesite un bioabono líquido esterilizado que tenga una composición menor de sólidos (16%, 14%, 12%, 8%, 4%, 2%, etc.), con el fin de obtener un producto conforme es requerido, con mayor volumen de agua, para obtener bioabono líquido. En este caso el efluente debe ser depositado en un tanque especial de almacenamiento de bioabono líquido.

Estos procesos se indican en el diagrama de flujo mostrado en la Figura 27

**Figura 27: Diagrama de flujo del proceso de irradiación**



**Nota:** Elaboración propia.

#### 4.3.5. Planta de irradiación del cake

La planta de irradiación del cake debe ser una edificación diseñada especialmente para que albergue con seguridad, durante su operación, el acelerador de electrones que irradiará el cake. Los haces electrónicos emitidos por el acelerador de electrones poseen una energía muy alta que ionizan la materia donde inciden, aunque son detenidas con facilidad, también producen radiación X bremsstrahlung altamente penetrante.

Por tal motivo las paredes de los recintos donde se aloja el acelerador serán de hormigón armado especial y de un grosor alto, que asegure que las radiaciones no afecten al personal que labora en dichas instalaciones.

En la Figura 4.14, se muestra un esquema de una planta de irradiación de lodos residuales de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales. Este ha sido extraído de (Kim, Han, Kim, & Yaacov., Electron beam sludge system, 2009, p. 31).

**Figura 28:** Esquema de una planta industrial de tratamiento de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales



AREA APROXIMADA: 22 m x 60 m

#### 4.3.6. Producción de agua irradiada y bioabono sólido

Según los datos de la Tabla 5.6, la producción diaria de mezcla irradiada será dado por.

$$\langle VT_{mezcla} \rangle = \frac{\langle Q_{cake} \rangle (100 - \phi)}{100 (\%)} \quad (4.43)$$

**Para cake (18% ss):**



$\langle QR \rangle_{\text{cake}} = 526.91 \text{ (m}^3/\text{día)}$ . Dado que la porosidad del cake es  $\phi = 30\%$ , el volumen de producción efectivo de mezcla sólido-agua es.

$$\langle VT_{\text{mezcla}} \rangle = \frac{526.91 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \right) (100 - 30) (\%)}{100 (\%)} = 368.84 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \right)$$

#### 4.3.7. Producción de bioabono sólido irradiado

La operación de centrifugación, separa agua del cake (18% ss), dejando un sólido con el 2% (v) de humedad.

El volumen de bioabono sólido tratado diariamente será.

$$\langle VBA_{\text{sólido}} \rangle = (FR_{\text{sólido}} - 0.02) \times \langle Q_{\text{mezcla}} \rangle \quad (4.44)$$

Para un cake (18% ss):

$$\langle VBA_{\text{sólido}} \rangle = (0.18 - 0.02) \times 405.32 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \right) = 64.85 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \right)$$

La densidad del bioabono sólido será.

$$DBA_{\text{sólido}} = FR_{\text{sólido}} \times D_{\text{sólido}} + (1 - FR_{\text{sólido}}) D_{\text{agua}} \quad (4.45)$$

$$D_{\text{sólido}} = 0.98 \times 1600 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) D_{\text{sólido}} + (1 - 0.98) 1000 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) = 1588 \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

La masa de bioabono sólido tratado será.

$$\langle MBA_{sólido} \rangle = DBA_{sólido} \langle VBA_{sólido} \rangle \quad (4.46)$$

$$\langle MBA_{sólido} \rangle = 1588 \left( \frac{Kg}{m^3} \right) 64.85 \left( \frac{m^3}{día} \right) = 102981.80 \left( \frac{Kg}{día} \right)$$

#### 4.3.8. Producción de agua irradiada

El agua irradiada separada del cake, en el procedimiento de irradiación, es la diferencia entre el volumen tratado de mezcla y el volumen tratado de bioabono sólido.

$$\langle VT_{agua} \rangle = \langle VT_{mezcla} \rangle - \langle VBA_{sólido} \rangle \quad (4.47)$$

$$\langle VT_{agua} \rangle = 368.84 \left( \frac{m^3}{día} \right) - 64.85 \left( \frac{m^3}{día} \right) = 303.99 \left( \frac{m^3}{día} \right)$$

La masa de agua irradiada separada del cake en el proceso de centrifugación será.

$$\langle MT_{agua} \rangle = D_{agua} \langle VT_{agua} \rangle \quad (4.48)$$

$$\langle MT_{agua} \rangle = 1000 \left( \frac{Kg}{m^3} \right) 303.99 \left( \frac{m^3}{día} \right) = 303990 \left( \frac{Kg}{día} \right)$$

#### 4.3.9. Almacenamiento de agua irradiada y bioabono líquido

Se produce un volumen de tratamiento diario de agua irradiada igual a  $\langle VT_{\text{agua}} \rangle = 303.99$  ( $\text{m}^3/\text{día}$ ). Esta agua es de alta calidad, por haber sido esterilizada y debe almacenarse en piscinas de profundidad  $H = 4$  (m), ancho  $W = 5$  (m), largo  $L = 50$  (m), recubiertos con brea. La cantidad de piscinas necesarias para almacenar la producción de agua irradiada en  $ND$  (días), será calculada por la ecuación siguiente.

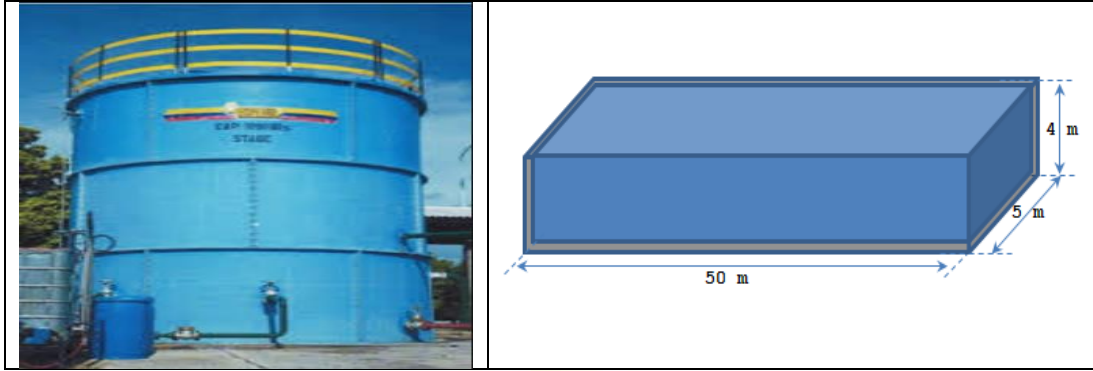
$$NP_{ND} = \frac{ND \langle VT_{\text{agua}} \rangle}{H \times W \times L} \quad (4.49)$$

Consideramos un número de días de almacenamiento  $ND = 15$  (días). Son necesarias 5 piscinas para almacenar la producción de 15 días.

$$NP_{15} = \frac{15 \text{ (días)} \cdot 303.99 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \right)}{4 \text{ (m)} \cdot 5 \text{ (m)} \cdot 50 \text{ (m)}} = 4.56$$

Para almacenar el bioabono líquido que se produzca, se utilizarán tanques cilíndricos de fibra de vidrio reforzada recubiertos interiormente con brea, de diámetro  $d = 5$  (m) y altura  $H = 7.5$  (m), como el mostrado en la figura adjunta, Figura 429. Estos deben ser recubiertos interiormente con brea.

**Figura 29: Esquema, (izquierda) tanque de almacenamiento de bioabono líquido, (derecha) piscina de almacenamiento de agua irradiada. Material: fibra de vidrio reforzada.**



**Nota:** La foto del tanque de almacenamiento ha sido recuperada de la página web, <http://www.ecuadorenventa.net/anuncio/tanques-para-almacenamiento-en-fibra-de-vidrio/>

Cada tanque lleno hasta un nivel  $H = 7$  (m), almacenará un volumen de bioabono líquido  $V_T = 137$  ( $m^3$ ).

$$V_T = \frac{\pi d^2 H}{4} \quad (4.50)$$

$$V_T = \frac{\pi \times 5^2 (m^2) \times 7(m)}{4} = 137.44 \text{ (m}^3\text{)}$$

Utilizaremos 5 tanques similares para almacenar el bioabono líquido producido.

#### 4.3.10. Almacenamiento de bioabono sólido

La masa tratada de bioabono sólido con 2% (v) de humedad es  $\langle MBA_{sólido} \rangle = 102981.8$  (Kg/día), la cual debe embolsarse en bolsas selladas conteniendo una masa  $M_{bolsa} = 50$  (Kg/bolsa), y a la vez éstas deben almacenarse en un depósito que permita ubicar la producción de 2 semanas.

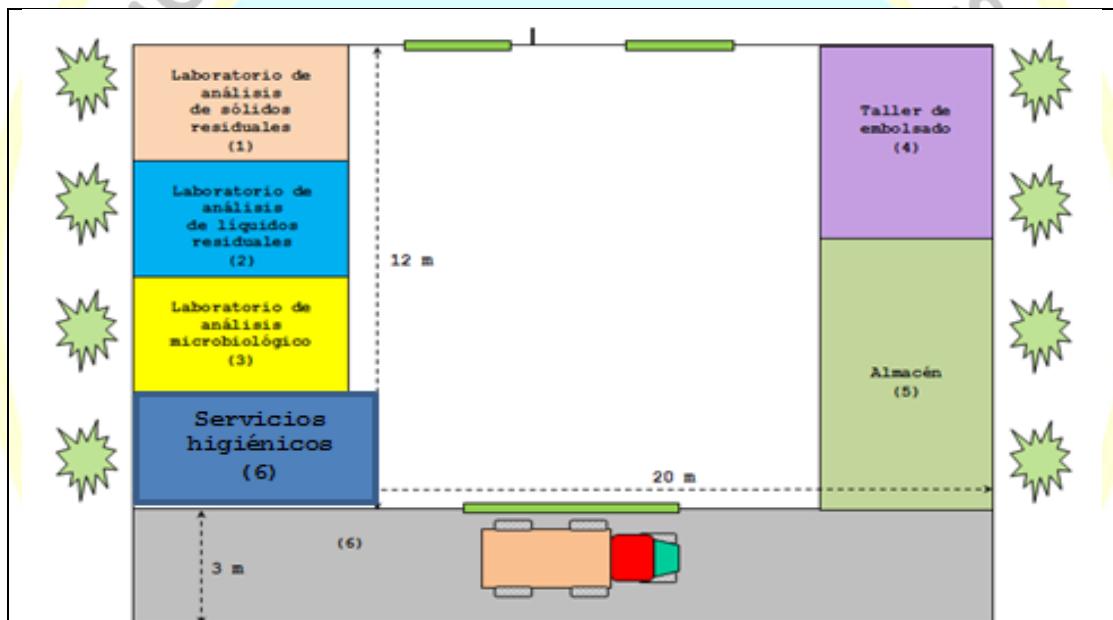
La tasa diaria de producción de bolsas será.

$$TPB = \frac{\langle MBA_{sólidos} \rangle}{M_{bolsa}} \quad (4.51)$$

$$TPB = \frac{102981.80 \left( \frac{Kg}{día} \right)}{50 \left( \frac{Kg}{bolsa} \right)} = 2059.63 \left( \frac{bolsas}{día} \right)$$

En la Figura 30, se presenta un plano esquemático del taller de bioabono sólido.

Figura 30: Plano del taller de preparación de bioabono sólido



Nota: Elaboración propia.

#### 4.3.11. Subestación de energía eléctrica

Para dimensionar la potencia de la estación de energía eléctrica, consideramos un acelerador LINAC con una potencia promedio del haz de electrones  $P_{ot} = 40$  (KW) cuya eficiencia es  $E_f = 70$  %, y el consumo de energía eléctrica de otros equipos.

**Tabla 38: Costos por suministro de electricidad**

<b>Precio de la energía eléctrica = 0.45 (S./KW-H).</b>						
<b>Régimen de trabajo: 7(h/turno)2(turno/día)6(días/sem)52(sem/año)= 4368 (h/año)</b>						
<b>Equipo eléctrico</b>	<b>Cant.</b>	<b>Potencia por ítem (KW)</b>	<b>Uso (H/día)</b>	<b>Consumo diario (KW-H)</b>	<b>Consumo anual (KW-H)</b>	<b>Costo anual (S./año)</b>
AGITADOR DE LÍQUIDOS: de eje vertical, Pot. nominal = 10 KW	2	10	4	80	24960	11232.00
BOMBA: DE IMPULSIÓN DE LÍQUIDOS: Pot. nominal = 2 KW	8	2	10	160	49920	22464.00
ACELERADOR DE ELECTRONES: Pot. del haz = 40 KW, Ef = 70%.	1	57.14	14	800	249587.52	112314.38
SEPARACION SOLIDO-LIQUIDO: principio de centrifugación	1	5	4	20	6240	2808.00
OTROS EQUIPOS	1	20	6	120	37440	16848.00
LUMINARIAS	40	0.012	16	7.68	2396.16	1078.27
<b>TOTAL:</b>		<b>118.62</b>		<b>1187.68</b>	<b>370543.68</b>	<b>166744.66</b>
Cambio monetario: 1 USA \$ = S/. 3.3						

**Nota:** Elaboración propia.

Es necesario la instalación de una subestación de suministro de energía eléctrica con capacidad para 120 (KW), con línea trifásica (380 ACV), y línea monofásica (220 ACV).

**Figura 31: Subestación de suministro de energía eléctrica trifásica.**



**Nota:** La foto ha sido recuperada de la p. 21 de Subestaciones eléctricas (s. f.).

#### 4.3.12. Planta de tratamiento de lodos de la PTAR Huacho

La planta de tratamiento de lodos de la PTAR Huacho, está integrada por los siguientes componentes:

**Tabla 39: Componentes de la planta de tratamiento de lodos de la PTAR Huacho.**

Ítem	Descripción	Cantidad
1	Espesador, dispensador de lodos.	1
2	Tolva de recepción de lodos.	1
3	Recinto de irradiación, separador sólido-líquido.	1
4	Depósito de secado de lodos.	1
5	Subestación de suministro de energía eléctrica, (940 KW).	1
6	Laboratorio de análisis de sólidos residuales.	1
7	Laboratorio de análisis de líquidos residuales.	1
8	Laboratorio de análisis microbiológico.	1
9	Taller de embolsado.	1
10	Taller de preparación de bioabono líquido y almacén.	1
11	Servicios higiénicos.	1
12	Almacén de bolsas de bioabono sólido.	1
13	Tanques de almacenamiento de bioabono líquido.	5
14	Piscinas de almacenamiento de agua irradiada.	5
15	Oficinas administrativas.	1

**Nota:** Elaboración propia.

Esta planta debe ser construida en un área total, de 1.5 hectáreas, 150 m x 100 m, considerando zonas de parqueo de vehículos.



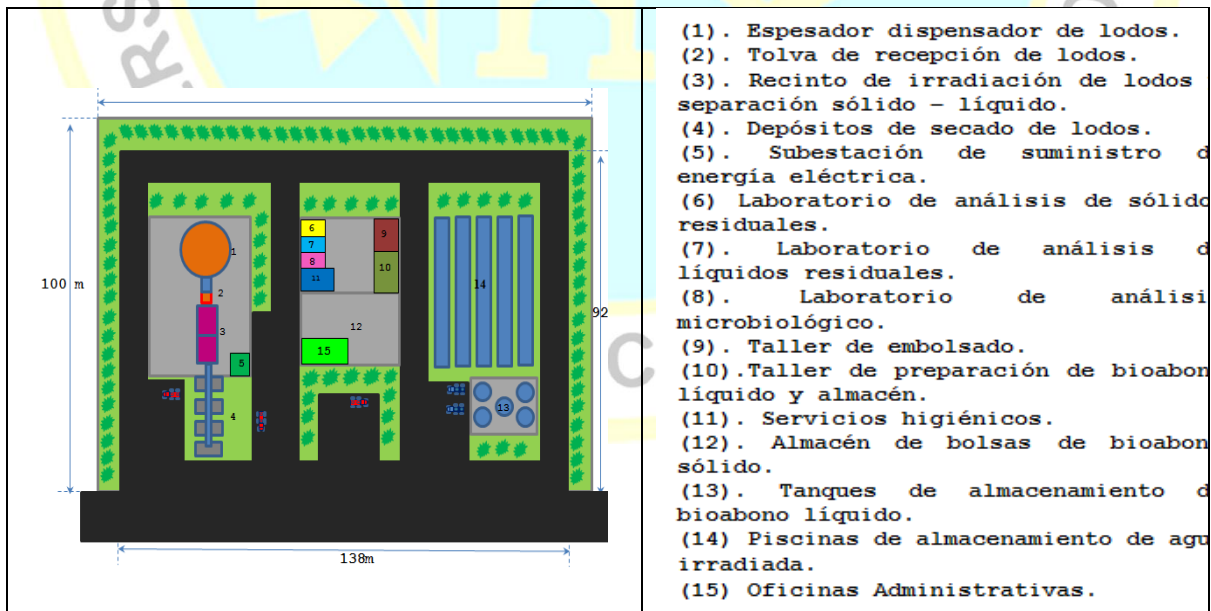


Figura 32: Area donde se construirá la planta de tratamiento de lodos.



Nota: Elaboración propia.

Figura 33: Esquema vista de planta de la planta de tratamiento de lodos generados por la planta de tratamiento de aguas residuales municipales de Huacho.



- (1). Espesador dispensador de lodos.
- (2). Tolva de recepción de lodos.
- (3). Recinto de irradiación de lodos separación sólido - líquido.
- (4). Depósitos de secado de lodos.
- (5). Subestación de suministro de energía eléctrica.
- (6) Laboratorio de análisis de sólidos residuales.
- (7). Laboratorio de análisis de líquidos residuales.
- (8). Laboratorio de análisis microbiológico.
- (9). Taller de embolsado.
- (10). Taller de preparación de bioabono líquido y almacén.
- (11). Almacén de bolsas de bioabono sólido.
- (13). Tanques de almacenamiento de bioabono líquido.
- (14) Piscinas de almacenamiento de agua irradiada.
- (15) Oficinas Administrativas.

Nota: Elaboración propia.

## 4.4. Evaluación económica y social del proyecto

### 4.4.1. Evaluación de costos

#### 4.4.1.1. Inversión inicial

La inversión inicial se muestra en la Tabla 40, que se muestra a continuación

**Tabla 40: Resumen de los componentes de la inversión inicial**

Tipo de cambio: 3.3 (S./USD)					
ITEM	Descripción	Unidad	Cant.	Precio (S./.)	Inversión (S./.)
1	Terreno eriazo.	Ha	1.5	33000	49500
2	Obras civiles.	m <sup>2</sup>	15000	330	4950000
3	Acelerador lineal múltiple, 5 MeV, 100 KW. Con supervisión de instalación. <sup>(a)</sup>	Equipo	1	8448000	8448000
4	Sistema de dosimetría. <sup>(a)</sup>	Sistema	1	313500	313500
5	Sistema de monitoreo de radiaciones. <sup>(a)</sup>	Sistema	1	231000	231000
6	Sistema de transporte y manejo de limo. <sup>(b)</sup>	Sistema	1	1155000	1155000
7	Camión cisterna (7 m <sup>3</sup> ), 5000 cc.	Vehículo	2	198000	396000
8	Piscinas para almacenar agua irradiada	piscina	5	165000	825000
9	Tanques de almacenamiento de soluciones líquidas, fibra de vidrio, φ = 5 (m), H = 7.5 (m).	tanque	5	99000	495000
10	Herramientas	Kit	10	31350	313500
11	Mobiliario	Pieza	50	330	16500
SUBTOTAL:					17193000
Estudios (10% del subtotal)					1719300
TOTAL:					18'912300

**Nota:** Elaboración propia.

#### 4.4.1.2. Costos de amortización anual de la deuda

El capital inicial será financiado a una tasa de interés social 9% anual al rebatir y pagado en 25 amortizaciones fijas anuales, durante el horizonte del proyecto. La amortización anual será.

$$A_{an} = \frac{I_{in} \left(1 + \frac{I}{100\%}\right)^n \left(\frac{I}{100\%}\right)}{\left(1 + \frac{I}{100\%}\right)^n - 1} \quad (4.52)$$

Donde,

Aan: amortización fija anual, (S./año).

Iin: inversión inicial, (S/).

I: tasa de interés anual, (%)

$$Aan = \frac{18'912300 (S/.) \left(1 + \frac{9\%}{100\%}\right)^{25} \left(\frac{9\%}{100\%}\right)}{\left(1 + \frac{9\%}{100\%}\right)^{25} - 1} = 1'925390.35 \left(\frac{S/}{\text{año}}\right)$$

#### 4.4.1.3. Costos de interés de la deuda

La amortización anual del interés de la deuda, será dada por la ecuación.

$$AIn = \frac{Iin \left(1 + \frac{I}{100\%}\right)^n \left(\frac{I}{100\%}\right)}{\left(1 + \frac{I}{100\%}\right)^n - 1} - \frac{Iin}{n} \quad (4.53)$$

Donde,

AIn: es la amortización anual del interés de la deuda, (S./año).

$$AIn = \frac{18'912300 (S/.) \left(1 + \frac{9\%}{100\%}\right)^{25} \left(\frac{9\%}{100\%}\right)}{\left(1 + \frac{9\%}{100\%}\right)^{25} - 1} - \frac{18'912300 (S/.)}{25 (\text{año})}$$
$$AIn = 1'168898.35 \left(\frac{S/}{\text{año}}\right)$$

#### 4.4.1.4. Depreciación

Consideramos que la planta de irradiación se deprecia totalmente en 25 años.

$$Dep = \frac{(I_{in} - I_{est})}{HPr} \quad (4.54)$$

Donde,

$I_{in}$ : inversión inicial, (S/).

$I_{est}$ : inversión en estudios, (S/).

HPr: horizonte del proyecto, (años).

$$Dep = \frac{(18'912300 - 1'719300) (S/.)}{25 \text{ (años)}} = 687720 \left( \frac{S/.}{\text{año}} \right)$$

#### 4.4.1.5. Costos de energía eléctrica

La demanda de electricidad la hemos estimado en la Tabla 41

Tabla 41: Costos por suministro de electricidad

<b>Precio de la energía eléctrica = 0.45 (S./KW-H).</b>						
<b>Régimen de trabajo: 8(h/turno)2(turno/día)6(días/sem)52(sem/año)= 4992 (h/año)</b>						
<b>Régimen de irradiación: 7(h/turno)2(turno/día)6(días/sem)52(sem/año)= 4368 (h/año)</b>						
Equipo eléctrico	Cant.	Potencia por ítem (KW)	Uso (H/día)	Consum	Consumo	Costo
				diario (KW-H)	anual (KW-H)	anual (S./año)
AGITADOR DE LÍQUIDOS: de eje vertical, Pot. nominal = 10 KW	2	10	4	80	24960	11232
BOMBA: DE IMPULSIÓN DE LÍQUIDOS: Pot. nominal = 2 KW	8	2	10	160	49920	22464
ACELERADOR DE ELECTRONES: Pot. del haz = 20 KW, Ef = 70%.	1	57.14	14	799.96	249587.52	112314.38 4

SEPARACION Sólido-líquido: principio de centrifugación	1	5	4	20	6240	2808
OTROS EQUIPOS	1	20	6	120	37440	16848
LUMINARIAS	40	0.012	16	7.68	2396.16	1078.272
<b>TOTAL:</b>		<b>118.62</b>		<b>1187.64</b>	<b>370543.68</b>	<b>166744.66</b>

**Nota:** Datos tomados de la Tabla 38. Cambio monetario: 1 USA \$ = S/. 3.3.

#### 4.4.1.6. Costos de servicios agua y alcantarillado

En la sección 4.3. (Producción y tratamiento de lodos residuales), se ha estimado la cantidad de agua necesaria para producir el cake (18% ss), la cual es 103696.38 (m<sup>3</sup>/año). Al lodo sólido se debe agregar agua efluente de la PTAR, para la cual hemos considerado un precio unitario de 0.005 (S./m<sup>3</sup>).

**Tabla 42: Costos anuales por servicio de agua y alcantarillado**

Servicio	Cantidad (m <sup>3</sup> /año)	Precio unitario <sup>(a)</sup> (S./m <sup>3</sup> )	Costo Anual (S./año)
Agua efluente, tratada en la PTAR	103696.38	0.005	518.48
Agua potable	1000	2.20	2200.00
<b>TOTAL</b>			<b>2718.48</b>

(a): precio estimado de los datos propuestos en la p. 31, de Lucich, Iván, Mendoza, Jorge, L. (2010). Esquema de subsidios en las tarifas de agua potable: situación actual y propuestas. SUNASS. Recuperado de [http://lima-water.de/documents/sunass\\_wt.pdf](http://lima-water.de/documents/sunass_wt.pdf).

Cambio monetario: 1 USA \$ = S/. 3.3

**Nota:** Elaboración propia.

#### 4.4.1.7. Costos laborales

Las actividades laborales serán desarrolladas en dos turnos diarios de 8 horas, 6 días a la semana, 52 semanas por año. En la Tabla 43 se muestra el resumen desagregado de los salarios en bruto.

**Tabla 43: Resumen de costos laborales anuales (2 turnos)**

Item	Descripción	Cantidad	Turnos	Salario mensual bruto (S/.)	Costo laboral anual (S./año)	
1	Gerente de planta, administrador de economista, contador).	(ingeniero, empresas,	1	2	5000.00	140000.00

2	Ingeniero electromecánico, jefe de operaciones.	1	1	4500.00	63000.00
	Un ingeniero químico, especialista en fertilizantes.	1	1	4500.00	63000.00
3	Licenciado en Física, especialista en radiaciones ionizantes.	1	1	4500.00	63000.00
4	Licenciado en biología, microbiólogo sanitario.	1	1	4500.00	63000.00
5	Secretaria ejecutiva.	1	1	4000.00	56000.00
6	Técnico agrario.	1	2	3500.00	98000.00
7	Técnico electro-mecánico.	1	2	3500.00	98000.00
8	Técnico electrónico.	1	2	3500.00	98000.00
9	Conductor.	2	2	3500.00	196000.00
<b>TOTAL:</b>					<b>938000.00</b>

**Nota:** Elaboración propia.

#### 4.4.1.8. Costos de mantenimiento

El costo de mantenimiento se asume como el 1,0% del costo de la inversión en capital fijo, según (Kim, Han, Kim, & Yaacov, Design of electron beam higienization plant, 2009, p. 28).

$$C_{Man} = \frac{(I_{in} - I_{es}) P_{Man}}{100\%} \quad (4.55)$$

Donde,

$C_{Man}$ : costo de mantenimiento, (S./año).

$I_{in}$ : inversión en capital fijo, (S/).

$I_{es}$ : inversión realizada en estudios, (S/).

$P_{Man}$ : porcentaje del costo en inversión fija, equivalente al costo anual en mantenimiento, (%/año).

$$C_{Man} = \frac{(18'912300 - 1'719300) (S/.) 1 \left(\frac{\%}{año}\right)}{100\%} = 171930.00 \left(\frac{S/}{año}\right)$$

#### 4.4.1.9. Costos anuales totales

En esta sección haremos un resumen de los costos anuales, los cuales se muestran en la Tabla 44.

**Tabla 44: Resumen de costos del proyecto**

<b>Tipo</b>	<b>Monto (S./año)</b>
Inversión inicial	18'912300.00
Costos anuales fijos:	2'613110.35
Amortización anual de la deuda	1'925390.35
Depreciación	687720.00
Costos anuales operacionales:	1'279393.14
Servicios de energía eléctrica, agua y alcantarillado	169463.14
Laborales	938000.00
Mantenimiento	171930.00
Costo anual total:	3'892503.49

**Nota:** Elaboración propia.

#### 4.4.1.10. Costos unitarios anuales

Para evaluar los costos totales anuales en el horizonte del proyecto, tenemos que tener en cuenta la producción anual y el porcentaje de los costos variables y los costos fijos en la estructura de costos anuales totales

La fracción de costos fijos es constante en el horizonte, la fracción de costos variables es proporcional a la fracción volumétrica de biol producido en el año  $n$ , respecto al año uno.

El costo anual total es la suma del costo anual fijo más el costo anual variable

$$CAT_n = CAF_1 + \left( \frac{CAV1_n}{PV_1} \right) PV_n \quad (4.56)$$

Donde,

$CAT_n$ : costo anual total en el  $n$ -ésimo año, (S./año).

$CAF_1$ : costo anual fijo en el año 1, (S./año).

$CAV_1$ : costo anual variable en el año 1, (S./año).

PV<sub>1</sub>: producción volumétrica en el año 1, (L/año).

PV<sub>n</sub>: producción volumétrica en el año n, (L/año).

Los datos empleados para los cálculos fueron los siguientes.

Tasa anual de crecimiento poblacional = 1.60 (%)

Población en el año cero = 184964.00 (hab)

Producción per cápita de sólidos = 362.51 (g/hab/día)

Composición de sólidos secos del biol = 13.50 (g/L)

Precio del biol = 0.075 (S./L)

Costo anual fijo = 2613110.35 (S./año)

Costo anual variable en el año 1 = 1279393.14 (S./año)

Costo anual total en el año 1 = 3892503.49 (S./año)

Producción volumétrica año 1 = 1843'135925.08 (L/año)

**Tabla 45: Costos anuales totales y unitarios, en el horizonte del proyecto**

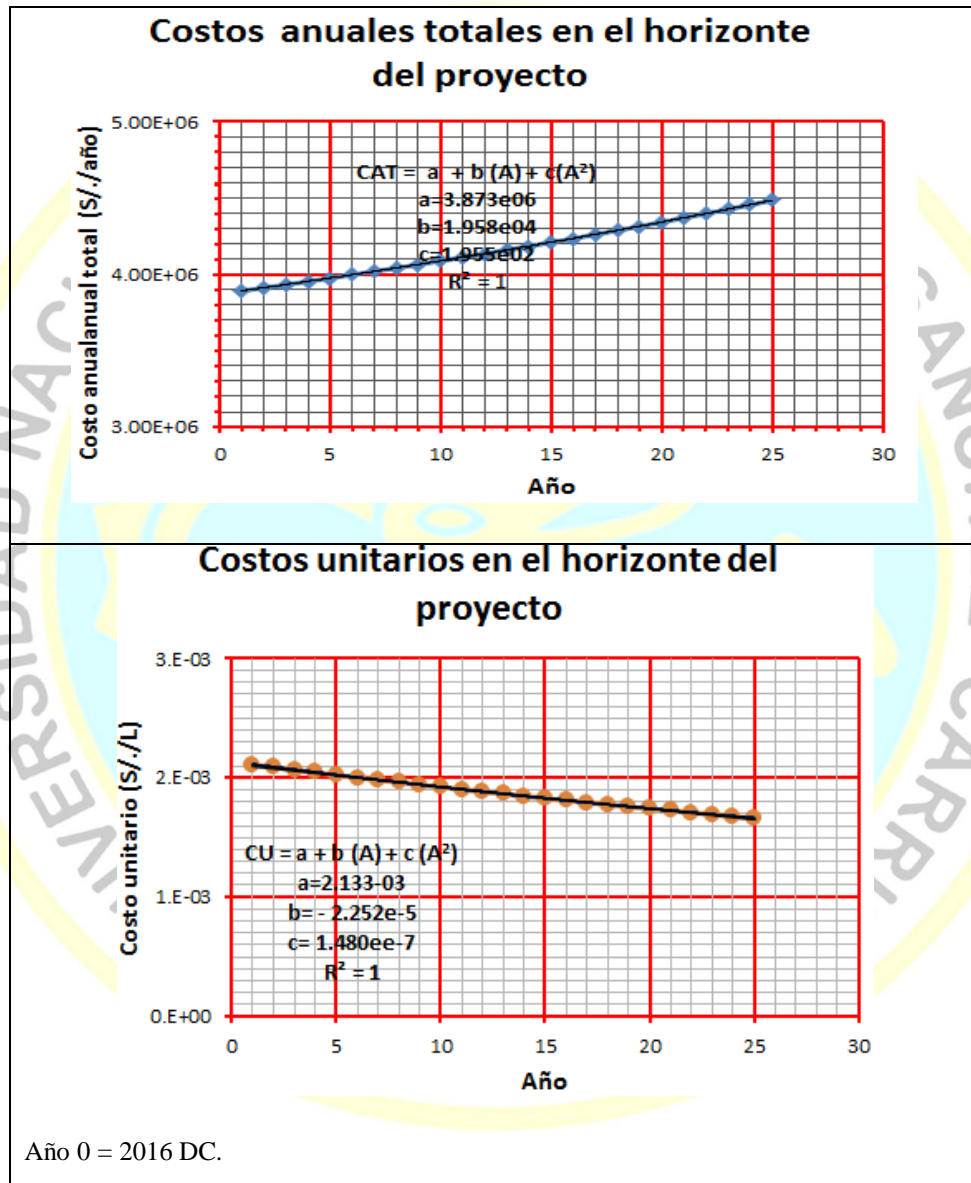
Año	Población	Producción de biol (13.5 g ss/L) (L/año)	Ingreso bruto (S./año)	Costo anual (S./año)	Costo unitario (S./L)
0	184964	-----	-----	-----	-----
1	187923	1843135925.08	138235194.38	3892503.49	0.002112
2	190930	1872626099.88	140446957.49	3912973.78	0.002090
3	193985	1902588117.48	142694108.81	3933771.59	0.002068
4	197089	1933029527.36	144977214.55	3954902.17	0.002046
5	200242	1963957999.80	147296849.98	3976370.84	0.002025
6	203446	1995381327.80	149653599.58	3998183.01	0.002004
7	206701	2027307429.04	152048057.18	4020344.17	0.001983
8	210008	2059744347.91	154480826.09	4042859.92	0.001963
9	213369	2092700257.47	156952519.31	4065735.91	0.001943
10	216783	2126183461.59	159463759.62	4088977.92	0.001923
11	220251	2160202396.98	162015179.77	4112591.80	0.001904
12	223775	2194765635.33	164607422.65	4136583.50	0.001885
13	227355	2229881885.49	167241141.41	4160959.07	0.001866
14	230993	2265559995.66	169916999.67	4185724.65	0.001848
15	234689	2301808955.59	172635671.67	4210886.48	0.001829
16	238444	2338637898.88	175397842.42	4236450.90	0.001812
17	242259	2376056105.26	178204207.89	4262424.35	0.001794
18	246135	2414073002.95	181055475.22	4288813.37	0.001777
19	250073	2452698170.99	183952362.82	4315624.62	0.001760
20	254075	2491941341.73	186895600.63	4342864.85	0.001743
21	258140	2531812403.20	189885930.24	4370540.92	0.001726
22	262270	2572321401.65	192924105.12	4398659.81	0.001710



23	266466	2613478544.08	196010890.81	4427228.60	0.001694
24	270730	2655294200.78	199147065.06	4456254.49	0.001678
25	275062	2697778907.99	202333418.10	4485744.80	0.001663
Año cero = 2016.					

Nota: Elaboración propia.

Figura 34: Gráficas de los costos anuales totales y costo unitario versus año del horizonte



Nota: Elaboración propia.

#### 4.4.2. Evaluación financiera

Se ha consultado el Libro de (Baca Urbina, 2007, págs. 83-115)

#### 4.4.2.1. Valor actual neto (VAN) y tasa interna de retorno (TIR)

Para calcular el valor actual neto y la tasa interna de retorno del proyecto, se ha utilizado para el cálculo de costos fijos la amortización del interés de la deuda en vez de la amortización de la deuda, con el fin de utilizar este dato en la tabla formato de cálculo del valor actual neto (VAN). La amortización del interés de la deuda es 1'925390.35 (S./año), la depreciación anual es 687720.00 (S./año). De, estos datos resulta que el costo anual fijo es CAF = 2'613110.35 (S./año). Además se han utilizado los siguientes datos característicos del proyecto.

**Tabla 46: Datos utilizados para el cálculo del valor actual neto y tasa interna de retorno del proyecto.**

Tasa anual de crecimiento poblacional =	1.60	(%)
Población en el año cero =	184964.00	(hab)
Producción per cápita de sólidos =	362.51	(g/hab/día)
Composición de sólidos secos del biol =	13.50	(g/L)
Precio del biol =	0.075	(S./L)
Costo anual fijo =	2613110.35	(S./año)
Costo anual variable en el año 1 =	1'279393.14	(S./año)
Costo anual total en el año 1 =	3'892583.49	(S./año)
Producción volumétrica año 1 =	861750318.45	(L/año)
Año cero =	2016	DC
Inversión inicial =	18'912300.00	(S.)
Tasa anual de interés financiero =	9	(%)
Impuesto general a las ventas	18	(%)

**Nota:** Elaboración propia.

Para calcular el ingreso bruto (IBr), en cada año del horizonte del proyecto, la producción anual de biol (PAB), se multiplica por su precio (PrB). En el año cero se resta la inversión inicial.

$$IBr = PAB \times PrB \quad (4.57)$$

El impuesto general a las ventas es el (18%) del ingreso bruto, para cada año del horizonte del proyecto, en el año cero toma el valor 0.

$$IGV = \frac{IBr \times PIGV}{100\%} \quad (4.58)$$

El costo anual total, en cada año del horizonte del proyecto, se calcula empleando la ecuación (6-5). En el año cero toma el valor 0.

La utilidad neta, para cada año del horizonte del proyecto, se calcula del siguiente modo: al ingreso bruto (IBr), se resta el costo general a las ventas (IGV), menos el costo anual total (CAT).

$$UN = IBr - IGV - CAT \quad (4.59)$$

La Valor Actual Neto (VAN), el horizonte del proyecto, y una tasa de interés financiera (TIF), se calcula utilizando la ecuación (6-9), según (Andrade Espinoza, Preparación y evaluación de proyectos., 2002, pág. 408).

$$VAN = \left[ \sum_{i=1}^n \frac{UN_i}{\left(1 + \frac{TIF}{100\%}\right)^i} \right] - Iin \quad (4.60)$$

**Tabla 47: Cálculo del valor actual neto (VAN) y tasa interna de retorno (TIR)**

AÑO	Producción de biol (13.5 g ss/L) (L/año)	Ingreso bruto (S./año)	Impuesto General a las ventas (18%)	Costo anual (S./año)	Utilidad neta (S./año)	Utilidad neta actualizada (S./año)
0	0	-18912300.00	0.00	0.00	-18912300.00	-18912300.00
1	1843135925.08	138235194.38	24882334.99	3892503.49	109460355.90	100422344.87
2	1872626099.88	140446957.49	25280452.35	3912973.78	111253531.36	93639871.53
3	1902588117.48	142694108.81	25684939.59	3933771.59	113075397.63	87314954.05
4	1933029527.36	144977214.55	26095898.62	3954902.17	114926413.76	81416768.92
5	1963957999.80	147296849.98	26513433.00	3976370.84	116807046.14	75916565.43
6	1995381327.80	149653599.58	26937647.93	3998183.01	118717768.65	70787526.56

7	2027307429.04	152048057.18	27368650.29	4020344.17	120659062.71	66004639.25
8	2059744347.91	154480826.09	27806548.70	4042859.92	122631417.48	61544573.26
9	2092700257.47	156952519.31	28251453.48	4065735.91	124635329.93	57385568.21
10	2126183461.59	159463759.62	28703476.73	4088977.92	126671304.97	53507328.14
11	2160202396.98	162015179.77	29162732.36	4112591.80	128739855.62	49890923.20
12	2194765635.33	164607422.65	29629336.08	4136583.50	130841503.07	46518697.83
13	2229881885.49	167241141.41	30103405.45	4160959.07	132976776.89	43374185.15
14	2265559995.66	169916999.67	30585059.94	4185724.65	135146215.08	40442027.13
15	2301808955.59	172635671.67	31074420.90	4210886.48	137350364.29	37707899.99
16	2338637898.88	175397842.42	31571611.63	4236450.90	139589779.88	35158444.73
17	2376056105.26	178204207.89	32076757.42	4262424.35	141865026.13	32781202.26
18	2414073002.95	181055475.22	32589985.54	4288813.37	144176676.31	30564552.85
19	2452698170.99	183952362.82	33111425.31	4315624.62	146525312.90	28497659.73
20	2491941341.73	186895600.63	33641208.11	4342864.85	148911527.67	26570416.38
21	2531812403.20	189885930.24	34179467.44	4370540.92	151335921.88	24773397.43
22	2572321401.65	192924105.12	34726338.92	4398659.81	153799106.39	23097812.81
23	2613478544.08	196010890.81	35281960.35	4427228.60	156301701.86	21535465.03
24	2655294200.78	199147065.06	35846471.71	4456254.49	158844338.86	20078709.24
25	2697778907.99	202333418.10	36420015.26	4485744.80	161427658.04	18720416.10
VAN = S/.						1208739650.09
TIR =						580.42%

**Nota:** Elaboración propia.

La tasa interna de retorno (TIR), es aquella tasa de interés financiero que hace nulo el valor actual neto (VAN), del proyecto. En la Tabla 47, se muestra el detalle de los cálculos realizados.

#### 4.4.2.2. Sensibilidad del valor actual neto y la tasa interna de retorno con el precio del biol

El precio del biol (13.5 g/L), se estableció al compararlo con el biol producido por la Universidad Nacional Agraria Solución hidropónica La Molina, que tiene aproximadamente la misma composición de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), cuyo precio de la solución nutritiva es 0,075 (S/./L).

Esta es la única razón que hemos tomado para fundamentar el precio del biol. Sin embargo pueden existir muchas otras fundamentaciones valederas para fijar el precio. Por esta razón hemos creído conveniente realizar el estudio de la sensibilidad del VAN y el TIR del proyecto con el precio del biol.

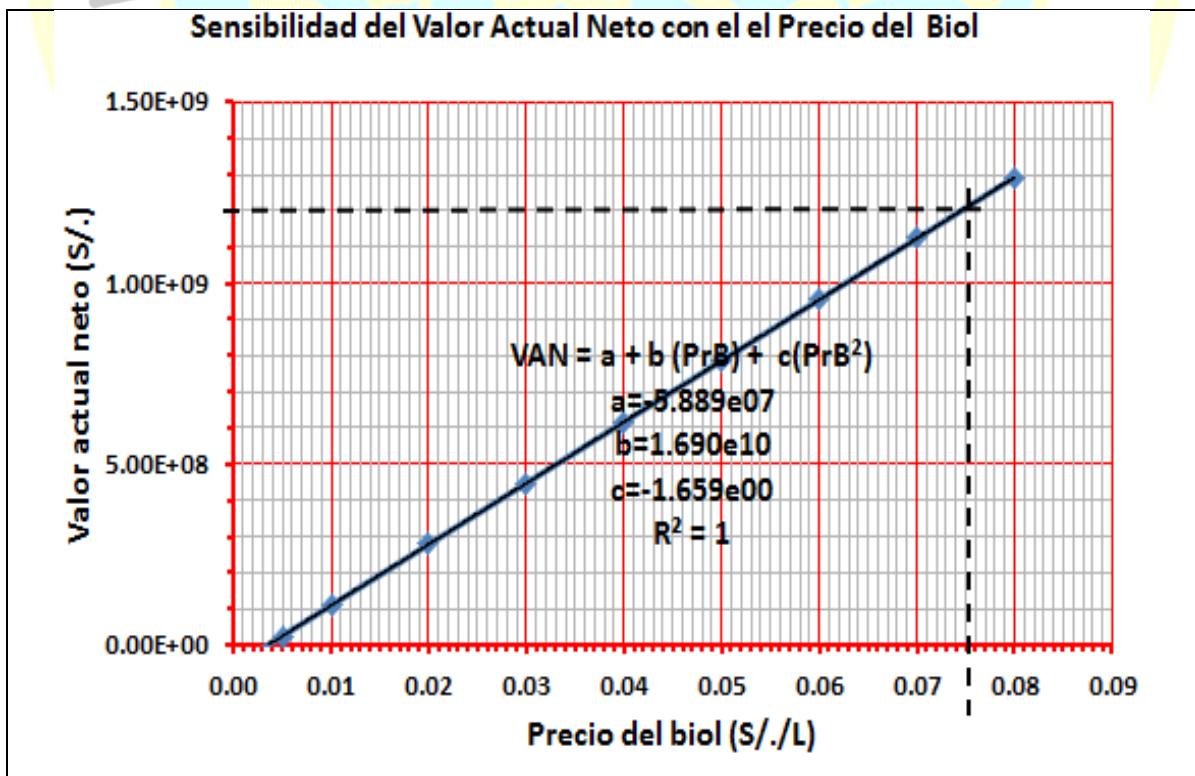
En la Tabla 48 y figura 35, se presentan los valores y gráficas del VAN y TIR del proyecto para una amplia gama de precios del biol.

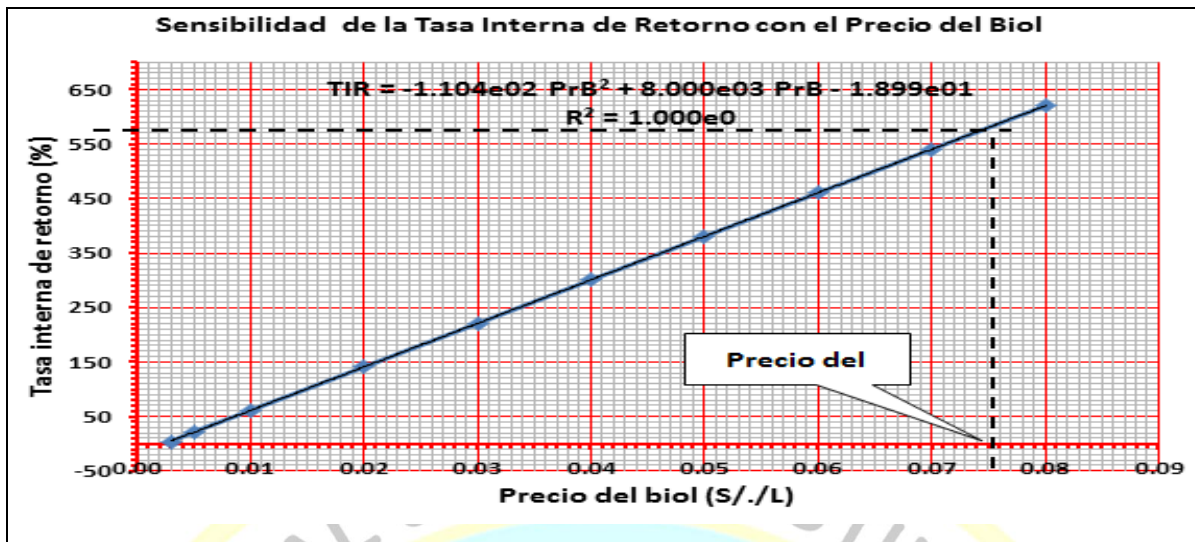
**Tabla 48: Sensibilidad del VAN y el TIR con al precio del biol (13.5 g/L).**

Precio del biol (13.5 g/L) (S./L)	Valor actual neto del proyecto (S.)	Tasa interna de retorno (%)
0.08	1293248110.70	620.37
0.07	1124231189.47	540.36
0.06	955214268.24	460.55
0.05	786197347.01	380.65
0.04	617180425.77	300.75
0.03	448163504.54	220.86
0.02	279146583.31	141.00
0.01	110129662.08	61.29
0.005	25621201.46	21.72
0.003	-8182182.79	4.09

Nota: Elaboración propia.

**Figura 35: Gráfica de la sensibilidad del VAN y TIR del proyecto con el precio del biol (13.5 g/L)**





Nota: Elaboración propia.

#### 4.4.2.3. Sensibilidad del valor actual neto con la tasa anual de interés bancario

La tasa anual de interés financiero se en nuestro país varía entre 5% y 15%. Por esta razón haremos un estudio de sensibilidad del VAN y el TIR con la tasa anual de interés financiero. Para tal efecto haremos variar la tasa anual de interés financiero (5.0 – 15.0) %, y observar sus efectos en el VAN y TIR del proyecto.

En la Tabla 49 y Figura 36 se presentan los valores y gráficas del VAN y TIR del proyecto para el rango seleccionado de valores de la tasa anual de interés financiero.

Se nota claramente que el TIR no es afectado con la variación de la TAIF.

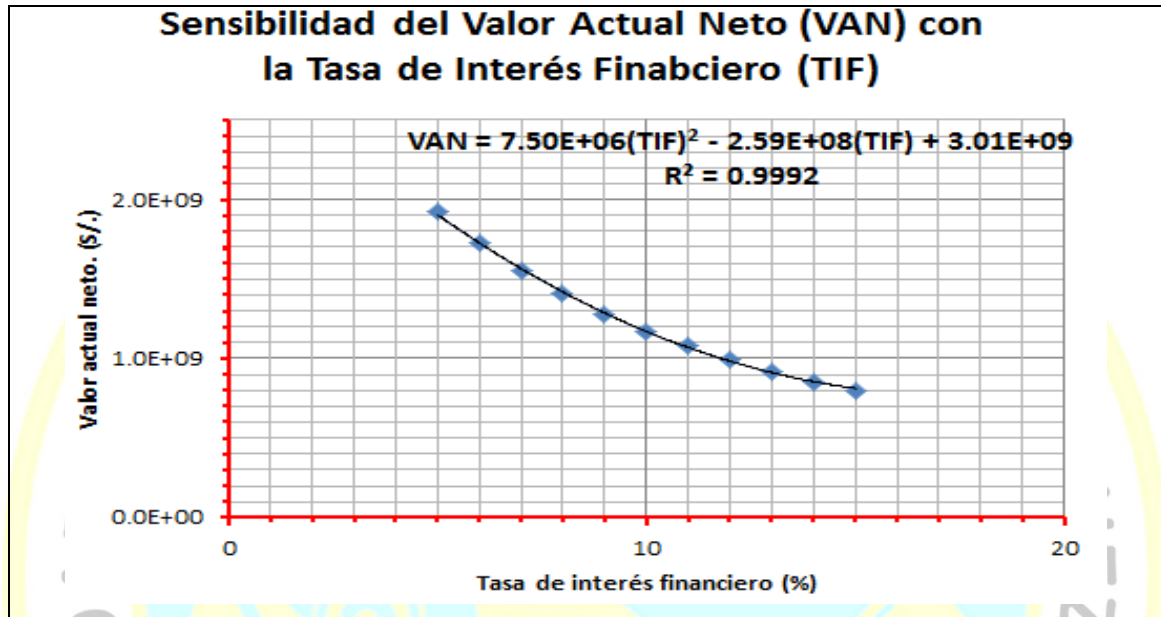
**Tabla 49: Sensibilidad del valor actual neto (VAN) y tasa interna de retorno (TIR) con la tasa anual de interés bancario (TIB)**

Tasa anual de crecimiento poblacional (%)	Valor actual neto del proyecto (S./.)	Tasa interna de retorno (%)
5.00	1921992124.79	584.53
6.00	1723428593.52	584.53
7.00	1553703828.16	584.53
8.00	1407903846.76	584.53
9.00	1282038611.18	584.53
10.00	1172855598.94	584.53
11.00	1077693132.08	584.53
12.00	994364585.98	584.53

13.00	921066663.74	584.53
14.00	856306483.66	584.53
15.00	798843434.93	584.53

Nota: Elaboración propia.

Figura 36: Gráfica de la sensibilidad del valor actual neto (VAN) del proyecto con la tasa de interés financiero (TIF).



Nota: Elaboración propia.

#### 4.4.3. Evaluación social

Para el desarrollo de la presente sección se ha consultado las siguientes fuentes:

- (Perú, Ministerio de Economía y Finanzas, 2015). Guía general de identificación, formulación y evaluación social de proyectos de inversión pública, a nivel de perfil).
- (Perú, Ministerio de Economía y Finanzas, 2011). Pautas generales para la identificación formulación y evaluación social de proyectos de inversión pública a nivel de perfil).

#### Ratio costo/efectividad

Según se establece en (Perú, Ministerio de Economía y Finanzas, 2011, págs. 103-106), Pautas generales para la identificación formulación y evaluación social de proyectos de inversión pública a nivel de perfil

Con esta metodología, estimamos el costo social de lograr los resultados e impactos del PIP o de cada una de sus alternativas.

Los resultados guardan relación con el objetivo central del proyecto y los impactos con los fines de éste.

Para utilizar esta metodología, necesitamos definir un indicador que exprese los impactos del PIP, a éste se le conoce como indicador de efectividad. Sin embargo, frente a la dificultad de medir este tipo de indicadores, es posible realizar una aproximación basada en resultados inmediatos del PIP, que se expresan con un indicador de eficacia.

Esta metodología se basa en identificar los beneficios del proyecto y expresarlos en unidades no monetarias, para luego calcular el costo promedio por unidad de beneficio, ratio costo/efectividad ó costo/eficacia. La “unidad de beneficio” puede ser medida en número de personas, atenciones, casos resueltos, o en cualquier otra unidad de medida que el servicio vaya a ofrecer en el proyecto.

Para llevar a cabo un análisis costo/eficacia es necesario realizar los siguientes pasos:

La evaluación y determinación de los costos sociales.

La definición y cuantificación del indicador de eficacia.

La estimación del ratio costo/eficacia y la selección del mejor proyecto alternativo.

#### **4.4.3.1. costos sociales totales anuales**

En vista que el dinero invertido no se devuelve al estado, no se consideran los intereses correspondientes a la amortización de la deuda. Por lo tanto, no se considera en los costos operativos fijos la amortización anual de la inversión inicial. Los costos anuales en el año 1, serán.

**Tabla 50: Costos anuales totales del proyecto, en el año 1, a precios sociales**

*Tabla 4.43:*

<i>Tipo</i>	<i>Monto (S./año)</i>
<i>Inversión inicial</i>	<i>18912300.00</i>



Costos anuales fijos:	687720.00
Amortización anual de la deuda	0.00
Depreciación	687720.00
Costos anuales operacionales:	174130.00
Servicios	2200.00
laborales	0.00
Mantenimiento	171930.00
Costo anual total:	861850.00

**Nota:** Elaboración propia.

Tomando en consideración los datos reportados en las Tablas 50 y 51, obtendremos los costos sociales anuales actualizados para cada año en el horizonte del proyecto. Esto se muestra en la Tabla 52.

**Tabla 51: Resumen de datos de costos para el año 1.**

Tasa anual de crecimiento poblacional, (%) =	1.60
Población en el año cero, (hab) =	184964.00
Producción per cápita de sólidos, (g/hab/día) =	362.51
Composición de sólidos secos del biol, (g/L) =	13.50
Precio del biol, (S/./L) =	0.075
Costo anual fijo (S/./año)=	687720.00
Costo anual variable en el año 1, (S/./año) =	174130.00
Costo anual total en el año 1, (S/./año) =	861850.00
Producción volumétrica año 1, (L/año) =	1843135925.08
Año cero, (DC) =	2016

**Nota:** Elaboración propia.

**Tabla 52: Costos sociales anuales totales actualizados, para cada año en el horizonte del proyecto**

Año	Población	Producción anual de sólidos (g/año)	Producción de biol (13.5 g ss/L) (L/año)	Ingreso bruto (S/./año)	Costo anual (S/./año)	Costo unitario (S/./L)	Costo anual actual (S/./año)	Costo unitario actual (S/./L)
0	184964	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
1	187923	24882334988.6	1843135925.0	138235194.3	861850.0	0.00046	790688.07	0.00042
		1	8	8	0	8		9
2	190930	25280452348.4	1872626099.8	140446957.4	864636.0	0.00046	727746.89	0.00038
		2	8	9	8	2		9
3	193985	25684939586.0	1902588117.4	142694108.8	867466.7	0.00045	669843.48	0.00035

		0	8	1	4	6	2	
4	197089	26095898619.3	1933029527.3	144977214.5	870342.6	0.00045	616572.70	0.00031
		7	6	5	9	0		9
5	200242	26513432997.2	1963957999.8	147296849.9	873264.6	0.00044	567562.10	0.00028
		8	0	8	5	5		9
6	203446	26937647925.2	1995381327.8	149653599.5	876233.3	0.00043	522469.32	0.00026
		4	0	8	6	9		2
7	206701	27368650292.0	2027307429.0	152048057.1	879249.5	0.00043	480979.63	0.00023
		5	4	8	8	4		7
8	210008	27806548696.7	2059744347.9	154480826.0	882314.0	0.00042	442803.67	0.00021
		2	1	9	5	8		5
9	213369	28251453475.8	2092700257.4	156952519.3	885427.5	0.00042	407675.44	0.00019
		7	7	1	5	3		5
10	216783	28703476731.4	2126183461.5	159463759.6	888590.8	0.00041	375350.39	0.00017
		8	9	2	8	8		7
11	220251	29162732359.1	2160202396.9	162015179.7	891804.8	0.00041	345603.66	0.00016
		8	8	7	1	3		0
12	223775	29629336076.9	2194765635.3	164607422.6	895070.1	0.00040	318228.53	0.00014
		3	3	5	7	8		5
13	227355	30103405454.1	2229881885.4	167241141.4	898387.7	0.00040	293034.91	0.00013
		6	9	1	7	3		1
14	230993	30585059941.4	226555995.6	169916999.6	901758.4	0.00039	269848.03	0.00011
		3	6	7	5	8		9
15	234689	31074420900.4	2301808955.5	172635671.6	905183.0	0.00039	248507.19	0.00010
		9	9	7	7	3		8
16	238444	31571611634.9	2338637898.8	175397842.4	908662.4	0.00038	228864.60	0.00009
		0	8	2	8	9		8
17	242259	32076757421.0	2376056105.2	178204207.8	912197.5	0.00038	210784.39	0.00008
		6	6	9	6	4		9
18	246135	32589985539.7	2414073002.9	181055475.2	915789.2	0.00037	194141.58	0.00008
		9	5	2	0	9		0
19	250073	33111425308.4	2452698170.9	183952362.8	919438.3	0.00037	178821.25	0.00007
		3	9	2	1	5		3
20	254075	33641208113.3	2491941341.7	186895600.6	923145.8	0.00037	164717.73	0.00006
		6	3	3	0	0		6
21	258140	34179467443.1	2531812403.2	189885930.2	926912.6	0.00036	151733.80	0.00006
		8	0	4	1	6		0
22	262270	34726338922.2	2572321401.6	192924105.1	930739.6	0.00036	139780.08	0.00005
		7	5	2	9	2		4
23	266466	35281960345.0	2613478544.0	196010890.8	934628.0	0.00035	128774.34	0.00004
		3	8	1	1	8		9
24	270730	35846471710.5	2655294200.7	199147065.0	938578.5	0.00035	118640.96	0.00004
		5	8	6	4	3		5
25	275062	36420015257.9	2697778907.9	202333418.1	942592.2	0.00034	109310.39	0.00004
		1	9	0	7	9		1
							8702483.1	
							3	

Nota: Elaboración propia.

#### 4.4.3.2. El indicador de eficacia (IE)

El indicador de eficacia son los resultados inmediatos obtenidos a corto plazo.

Tabla 53: Líneas de acción e indicadores del proyecto

LINEAS DE ACCION	Indicadores	
	Corto plazo	Mediano plazo
Sistema de tratamiento de lodos residuales	-Las aguas residuales municipales producidas en la ciudad de Huacho y distritos colindantes, serán derivadas a etapas de tratamiento para su adecuación	-Disminución de la prevalencia de enfermedades parasitarias, de las vías respiratorias y de la piel en la población de la ciudad de Huacho y distritos colindantes y turistas que disfrutan del mar de las

<i>de la PTAR de la ciudad de Huacho:</i>	medio ambiental.	playas del litoral.
<i>-Tanques de homogeneización.</i>	-Los lodos residuales altamente contaminados serán tratados mediante la tecnología de haces electrónicos de alta energía desinfectándolos a niveles de esterilización para fabricar bioabonos sólidos y líquidos.	-Aumento de la calidad de vida de la población de la ciudad de Huacho y distritos colindantes. -Aumento del turismo gracias a la mejor calidad de servicios ofrecidos a los turistas.
<i>-Estación de bombeo.</i>	-Áreas de cultivo, el río Huaura, lagunas y el mar del litoral no se contaminan con los desechos de aguas y lodos residuales municipales.	-El bioabono líquido y sólido servirá para fertilizar los cultivos de la provincia de Huaura . -Incremento de la frontera agrícola por recuperación de terrenos empobrecidos y eriazos.
<i>- Tanques dispensadores.</i>		
<i>-Facilidad de irradiación.</i>	-Los lodos residuales de la PTAR Huacho serán irradiados con haces electrónicos de mediana energía y convertidos en un bioabono sólido o líquido esterilizado, de alta calidad.	-Incremento de la oferta laboral agrícola por ampliación de la frontera agrícola . -Productos agrícolas de mayor calidad por el uso del bioabono orgánico esterilizado.
<i>-Taller de producción de bioabono líquido y sólido.</i>		-Productos agrícolas con calidad de exportación.

**Nota:** Elaboración propia.

En la Tabla 53, se indican algunos indicadores, los más resaltantes para calificar el impacto social del proyecto, “Estudio técnico económico para evaluar la instalación de una planta de tratamiento de lodos residuales con haces electrónicos de mediana energía en la planta de tratamiento de aguas residuales municipales de la ciudad de Huacho”. Vamos a definir dos indicadores de eficacia:

- (a) Indicador de eficacia habitante beneficiado.
- (b) Indicador de eficacia potencial de fertilización de cultivos.

#### **4.4.3.3. Indicador de eficacia habitante beneficiado**

Vamos a trabajar con un indicador de eficacia, consideramos la cantidad de habitantes beneficiados a la población en cada año del horizonte del proyecto.

#### **4.4.3.4. Indicador de eficacia fertilización de cultivos**

Un indicador de eficacia podría ser el área del terreno fertilizado durante un tiempo determinado, que denominaremos potencial de fertilización. Si el área es una Ha y el tiempo un año el potencial de fertilización será anual y se expresará en (Ha año).

Hemos tomado como referencia el cultivo de fresa que es el que demanda mayor cantidad de bioabono, cuya intensidad de fertilización  $R = 480$  (L/Ha/semana), para estimar el área que se fertilizaría durante un año en cada año del horizonte del proyecto, con la producción del bioabono PTAR.

El volumen de bioabono utilizado en la fertilización (V), debe ser igual al rendimiento del bioabono (R), multiplicada por el tiempo de fertilización (T) y por el área del cultivo (A).

$$V = R T A \quad (4.61)$$

A partir de esta fórmula se despeja el potencial de fertilización área tiempo, para cada año en el horizonte del proyecto, que figura en la Tabla 54. Para el año 25.

$$PFer_{25} = 108084.09 \text{ (Ha año)}$$

Este indicador significa que en durante el año 25 del horizonte del proyecto se fertilizarán 108084.09 (Ha año) de cultivos, con una intensidad de riego  $R = 480$  (L/Ha/año).

**Tabla 54: Valores estimados de los indicadores, Habitante beneficiado (Hab. Ben.) y Potencial de fertilización (Ha año).**

Año	Habitante beneficiado (Hab. Ben.)	Masa de sólidos Producidos (g)	Volumen de biol producido (13.5 g/L) (L)	Potencial anual de fertilización (Ha año)
0	184964	-----	-----	-----
1	187923	24882334989	1843135925.08	73843.59
2	190930	25280452348	1872626099.88	75025.08
3	193985	25684939586	1902588117.48	76225.49
4	197089	26095898619	1933029527.36	77445.09
5	200242	26513432997	1963957999.80	78684.21
6	203446	26937647925	1995381327.80	79943.16
7	206701	27368650292	2027307429.04	81222.25
8	210008	27806548697	2059744347.91	82521.81
9	213369	28251453476	2092700257.47	83842.16
10	216783	28703476731	2126183461.59	85183.63
11	220251	29162732359	2160202396.98	86546.57
12	223775	29629336077	2194765635.33	87931.32
13	227355	30103405454	2229881885.49	89338.22
14	230993	30585059941	2265559995.66	90767.63

15	234689	31074420900	2301808955.59	92219.91
16	238444	31571611635	2338637898.88	93695.43
17	242259	32076757421	2376056105.26	95194.56
18	246135	32589985540	2414073002.95	96717.67
19	250073	33111425308	2452698170.99	98265.15
20	254075	33641208113	2491941341.73	99837.39
21	258140	34179467443	2531812403.20	101434.79
22	262270	34726338922	2572321401.65	103057.75
23	266466	35281960345	2613478544.08	104706.67
24	270730	35846471711	2655294200.78	106381.98
25	275062	36420015258	2697778907.99	108084.09

**Nota:** Elaboración propia.

#### 4.4.3.5. El ratio costo/eficacia (CE)

El ratio costo eficacia es el cociente del valor actual de los costos sociales entre el indicador de eficacia definido para cada caso.

#### 4.4.3.6. Ratio costo/eficacia (habitante beneficiado)

Este ratio indica el costo social anual actualizado, por unidad de beneficio no monetario (habitante beneficiado), en el año correspondiente en el horizonte del proyecto.

$$C/Ei = \frac{CSAAi}{HABi} \quad (4.62)$$

Donde,

C/Ei: ratio costo eficacia, en el i-ésimo año dentro del horizonte del proyecto, (S./hab/año).

CSAAi: valor actual de los costos sociales anuales en el i-ésimo año dentro del horizonte del proyecto, (S/).

HABi: habitantes beneficiados en el i-ésimo año dentro del horizonte del proyecto, (hab).

De acuerdo a este ratio, se ha confeccionado la Tabla 55, que nos muestra el valor de este ratio para cada año dentro del horizonte del proyecto.

El ratio costo eficacia promedio, evaluado en el horizonte del proyecto, será dado por la siguiente expresión.

$$\langle C/E \rangle = \frac{\sum_{i=1}^n C/E_i}{n} \quad (4.63)$$

Para todo el horizonte de 25 años, tendremos.

$$\langle C/E \rangle_{Hor} = 1.64 \left( \frac{S/.}{hab \text{ año}} \right)$$

Este es el costo social promedio por habitante beneficiado en todo el horizonte del proyecto.

**Tabla 55: Valores del ratio costo/eficacia (habitante beneficiado), para cada año, en el horizonte del proyecto.**

Año	Habitante beneficiado (Hab. Ben.)	Costo social anual actualizado (S./año)	Ratio costo/eficacia (habitante beneficiado) (S./hab/año)
0	184964	-----	-----
1	187923	790688.07	4.21
2	190930	727746.89	3.81
3	193985	669843.48	3.45
4	197089	616572.70	3.13
5	200242	567562.10	2.83
6	203446	522469.32	2.57
7	206701	480979.63	2.33
8	210008	442803.67	2.11
9	213369	407675.44	1.91
10	216783	375350.39	1.73
11	220251	345603.66	1.57
12	223775	318228.53	1.42
13	227355	293034.91	1.29
14	230993	269848.03	1.17
15	234689	248507.19	1.06
16	238444	228864.60	0.96
17	242259	210784.39	0.87
18	246135	194141.58	0.79
19	250073	178821.25	0.72
20	254075	164717.73	0.65
21	258140	151733.80	0.59

22	262270	139780.08	0.53
23	266466	128774.34	0.48
24	270730	118640.96	0.44
25	275062	109310.39	0.40
PROMEDIO:			1.64

**Nota:** Elaboración propia.

El costo social mensual por habitante beneficiado, promediado durante el horizonte del proyecto, será.

$$\langle C/E \rangle_{mes} = 1.64 \left( \frac{S/.}{hab \text{ año}} \right) \left( \frac{año}{12 \text{ mes}} \right) = 0.1367 \left( \frac{S/.}{hab \text{ mes}} \right)$$

#### 4.4.3.7. Sensibilidad del ratio costo eficacia (habitante beneficiado), con la variable población

El ratio costo/eficacia, cuando el índice de eficacia es habitantes beneficiados, es sensible a la variable población.

En la Tabla 56 y Figura 37, se muestran los valores y la gráfica, respectivamente

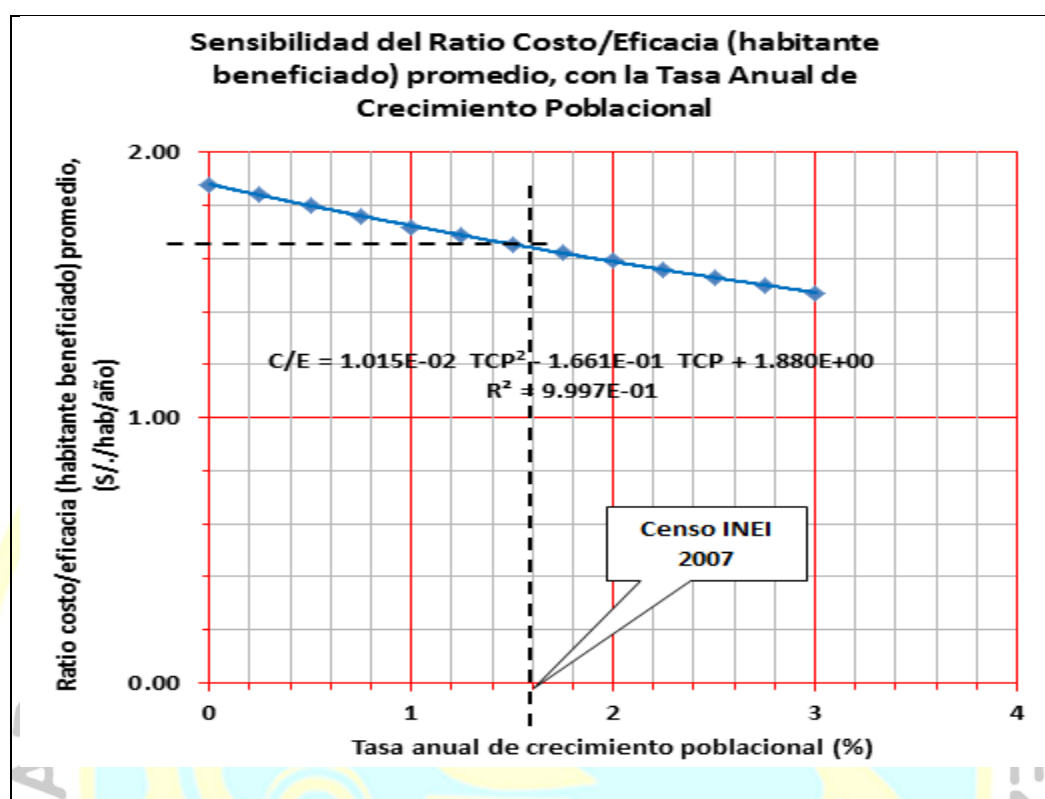
**Tabla 56: Sensibilidad del ratio costo eficacia (habitante beneficiado) con la tasa anual de crecimiento poblacional**

Tasa anual de crecimiento poblacional (%)	Ratio costo/eficacia (habitante beneficiado) promedio (S./hab/año)
0.00	1.88
0.25	1.84
0.50	1.80
0.75	1.76
1.00	1.72
1.25	1.69
1.50	1.65
1.75	1.62
2.00	1.59
2.25	1.56
2.50	1.53
2.75	1.50
3.00	1.47

**Nota:** Elaboración propia.

El ratio costo/eficacia se calculó con la ecuación (6-12).

**Figura 37: Sensibilidad del ratio costo/eficacia (habitante beneficiado) promedio, con la variación de la tasa anual de crecimiento poblacional**



Nota: Elaboración propia.

#### 4.4.3.8. Ratio costo/eficacia (potencial de fertilización)

Este ratio indica el costo social anual, en valores actuales, de una unidad de beneficio no monetario (potencial de fertilización), en el horizonte del proyecto.

$$C/E' = \frac{CSAA_i (S/.)}{PF_i (Ha \text{ año})} \quad (4.64)$$

Donde,

$C/E'$ : costo/eficacia (potencial de fertilización), (S./Ha/año).

$CSAA_i$ : valor actual del costo social en el  $i$ -ésimo año dentro del horizonte del proyecto, (S/).



PFi: potencial de fertilización del i-ésimo año dentro del horizonte del proyecto, (Ha año).

En la Tabla 57, se muestran los cálculos realizados.

**Tabla 57: Ratio costo/eficacia (potencial de fertilización), para cada año dentro del horizonte del proyecto.**

Año	Potencial de fertilización (Ha año)	Costo social anual actualizado (S./año)	Ratio costo/eficacia (potencial de fertilización) (S./Ha/año)
0	-----	-----	-----
1	73844	790688.07	10.71
2	75025	727746.89	9.70
3	76225	669843.48	8.79
4	77445	616572.70	7.96
5	78684	567562.10	7.21
6	79943	522469.32	6.54
7	81222	480979.63	5.92
8	82522	442803.67	5.37
9	83842	407675.44	4.86
10	85184	375350.39	4.41
11	86547	345603.66	3.99
12	87931	318228.53	3.62
13	89338	293034.91	3.28
14	90768	269848.03	2.97
15	92220	248507.19	2.69
16	93695	228864.60	2.44
17	95195	210784.39	2.21
18	96718	194141.58	2.01
19	98265	178821.25	1.82
20	99837	164717.73	1.65
21	101435	151733.80	1.50
22	103058	139780.08	1.36
23	104707	128774.34	1.23
24	106382	118640.96	1.12
25	108084	109310.39	1.01
PROMEDIO:			4.17

**Nota:** Elaboración propia.

El promedio del ratio costo/eficacia (potencial de fertilización, en el horizonte del proyecto se obtiene empleando la siguiente relación.

$$\langle C/E' \rangle_{hor} = \frac{\sum_1^n C/E'i}{n} \quad (4.65)$$

Donde,

$\langle C/E' \rangle_{hor}$ : promedio del ratio Costo/eficacia, en el horizonte del proyecto, (ha año).

$C/E'$ : ratio Costo/eficacia, correspondiente al i-ésimo año del horizonte del proyecto, (Ha año).

n: número de años del horizonte del proyecto.

El ratio costo eficacia, evaluado en el horizonte del proyecto es.

$$\langle C/E' \rangle_{hor} = 4.17 \left( \frac{S/.}{Ha\ año} \right)$$

#### 4.4.3.9. Sensibilidad del ratio costo eficacia (potencial de fertilización) con la variable población

El ratio costo/eficacia, cuando el índice de eficacia es potencial de fertilización (área-tiempo), es sensible fundamentalmente con la variación de la tasa anual de crecimiento poblacional. En la Tabla 58 y Figura 38, se muestran los valores y la gráfica, respectivamente.

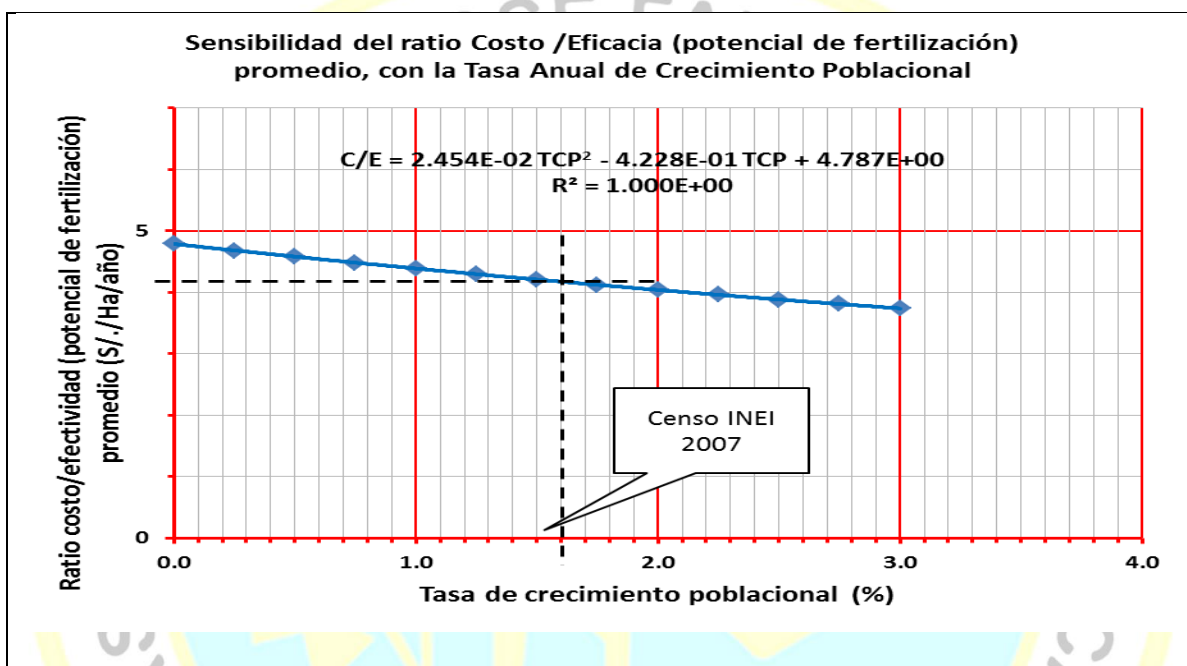
**Tabla 58: Sensibilidad del ratio costo/eficacia (potencial de fertilización) con la tasa anual de crecimiento poblacional**

Tasa anual de crecimiento poblacional (%)	Ratio costo/eficacia (potencial de fertilización) (S./Ha/año)
0.00	4.79
0.25	4.68
0.50	4.58
0.75	4.48
1.00	4.39
1.25	4.30
1.50	4.21
1.75	4.12

2.00	4.04
2.25	3.96
2.50	3.88
2.75	3.81
3.00	3.74

Nota: Elaboración propia.

Figura 38: Gráfica de la sensibilidad del ratio costo/eficacia (potencial de fertilización), con la tasa anual de crecimiento poblacional.



Nota: Elaboración propia.

#### 4.4.4. Evaluación costo beneficio.

Para esta evaluación hemos tomado las indicaciones dadas por, (Perú, Ministerio de Economía y Finanzas, 2015, pág. 211). Guía general para la identificación formulación y evaluación social de proyectos de inversión pública a nivel de perfil.

Sirve para estimar la rentabilidad social de un PIP a partir de la comparación de los beneficios sociales con los costos sociales. Se utiliza siempre que los beneficios sociales puedan valorizarse o expresarse en valores monetarios.

#### 4.4.4.1. Valor actual neto social (VANS)

Refleja el valor, en nuevos soles de hoy o momento inicial (comienzo del primer año del horizonte de evaluación), del conjunto de beneficios netos de cada una de las alternativas; es decir, la diferencia entre los beneficios sociales y los costos sociales.

Para calcular el VANS aplicamos la siguiente fórmula:

$$VANS = \sum_{i=1}^n \frac{(BS_i - CS_i)}{\left(1 + \frac{TADS}{100}\right)^i} \quad (4.66)$$

Donde,

BS<sub>i</sub> = Beneficio social incremental, (S/).

CS<sub>i</sub> = Costo social incremental, (S/).

n = Horizonte de evaluación del proyecto

TASD = Tasa anual social de descuento, (%).

En la Tabla 59, se muestran los datos que se han utilizado, y en la Tabla 60 las variables necesarias que intervienen en el cálculo del valor actual neto social.

$$VANS = 1545'886474.69 (S/.) - 8'702483.13 (S/.) = 1537'183992.56 (S/.)$$

**Tabla 59: datos utilizados para el cálculo del valor actual neto social (VANS).**

Tasa anual de crecimiento poblacional = 1.60	(%)
Población en el año cero = 184964.00	(hab)
Producción per cápita de sólidos = 362.51	(g/hab/día)
Composición de sólidos secos del biol = 13.50	(g/L)
Precio del biol (13.5 g/L) = 0.0750	(S/.(L)
Año cero = 2016.00	(DC)
Población en el año cero = 184964	(hab)
Cultivo de referencia = Fresa	
Rendimiento de fertilización del biol = 480	(L/Ha/sem)

Costo social anual fijo = 687720.00	(S./año)
Costo social anual variable en el año 1 = 174130.00	(S./año)
Costo social anual total en el año 1 = 861850.00	(S./año)
Producción volumétrica año 1 = 861750318.45	(L/año)
Tasa anual de interés financiero = 9.00	(%)

**Tabla 60: Cálculos realizados para obtener el valor actual neto social (VANS)**

Año	Volumen de biol producido (13.5 g/L) (L/año)	Beneficio social bruto (S./año)	Beneficio social actualizado (S./año)	Costo Social Anual (S./año)	Costo social Anual Actualizado (S./año)
0	-----	-----	-----	-----	-----
1	1843135925.08	138235194.38	126821279.25	861850.00	790688.07
2	1872626099.88	140446957.49	118211394.24	864636.08	727746.89
3	1902588117.48	142694108.81	110186033.53	867466.74	669843.48
4	1933029527.36	144977214.55	102705513.82	870342.69	616572.70
5	1963957999.80	147296849.98	95732845.91	873264.65	567562.10
6	1995381327.80	149653599.58	89233551.78	876233.36	522469.32
7	2027307429.04	152048057.18	83175494.14	879249.58	480979.63
8	2059744347.91	154480826.09	77528717.47	882314.05	442803.67
9	2092700257.47	156952519.31	72265299.96	885427.55	407675.44
10	2126183461.59	159463759.62	67359215.37	888590.88	375350.39
11	2160202396.98	162015179.77	62786204.42	891804.81	345603.66
12	2194765635.33	164607422.65	58523654.76	895070.17	318228.53
13	2229881885.49	167241141.41	54550489.21	898387.77	293034.91
14	2265559995.66	169916999.67	50847061.50	901758.45	269848.03
15	2301808955.59	172635671.67	47395059.16	905183.07	248507.19
16	2338637898.88	175397842.42	44177412.94	908662.48	228864.60
17	2376056105.26	178204207.89	41178212.43	912197.56	210784.39
18	2414073002.95	181055475.22	38382627.37	915789.20	194141.58
19	2452698170.99	183952362.82	35776834.32	919438.31	178821.25
20	2491941341.73	186895600.63	33347948.32	923145.80	164717.73
21	2531812403.20	189885930.24	31083959.16	926912.61	151733.80
22	2572321401.65	192924105.12	28973672.03	930739.69	139780.08
23	2613478544.08	196010890.81	27006652.09	934628.01	128774.34
24	2655294200.78	199147065.06	25173172.96	938578.54	118640.96
25	2697778907.99	202333418.10	23464168.56	942592.27	109310.39
<b>TOTAL:</b>			1545'886474.69		8'702483.13
VANS = 1537'183992,56					

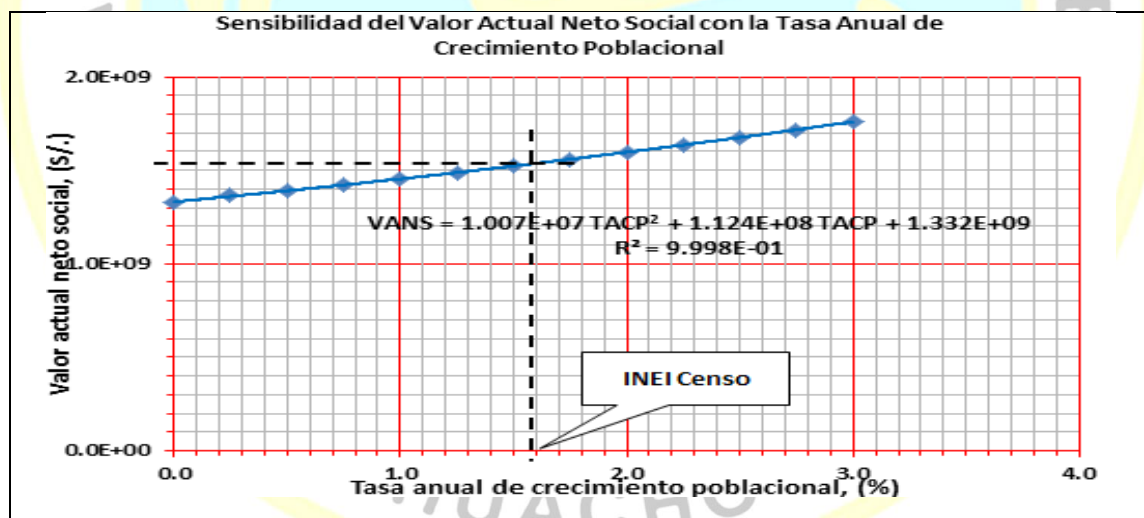
#### 4.4.4.2. Sensibilidad del valor actual neto social con la variable población

En la Tabla 61 y Figura 39, se presentan los datos y gráfica de la variación del valor actual neto social (VANS) con la variación de la tasa anual de crecimiento poblacional (TACP). Se mantienen fijos el precio del biol (13.5 g/L), en PrB = 0.075 (S./L), y los valores asumidos para otras variables.

**Tabla 61: Sensibilidad del valor actual neto social, con la variación de la tasa anual de crecimiento poblacional.**

Tasa anual de crecimiento poblacional (%)	Valor actual neto social (S./)
0.00	1327'977521.00
0.25	1366'419779.12
0.50	1388'824211.60
0.75	1420'726225.13
1.00	1453'664345.80
1.25	1487'678251.05
1.50	1522'809240.71
1.75	1559'100304.62
2.00	1596'596193.97
2.25	1635'343490.14
2.50	1675'390690.09
2.75	1716'788276.93
3.00	1759'588807.19

**Figura 39: Gráfica que representa la sensibilidad del valor actual neto social, con la variación de la tasa anual de crecimiento poblacional**



Nota: elaboración propia.

#### 4.4.4.3. Sensibilidad del valor actual neto social con el precio del biol.

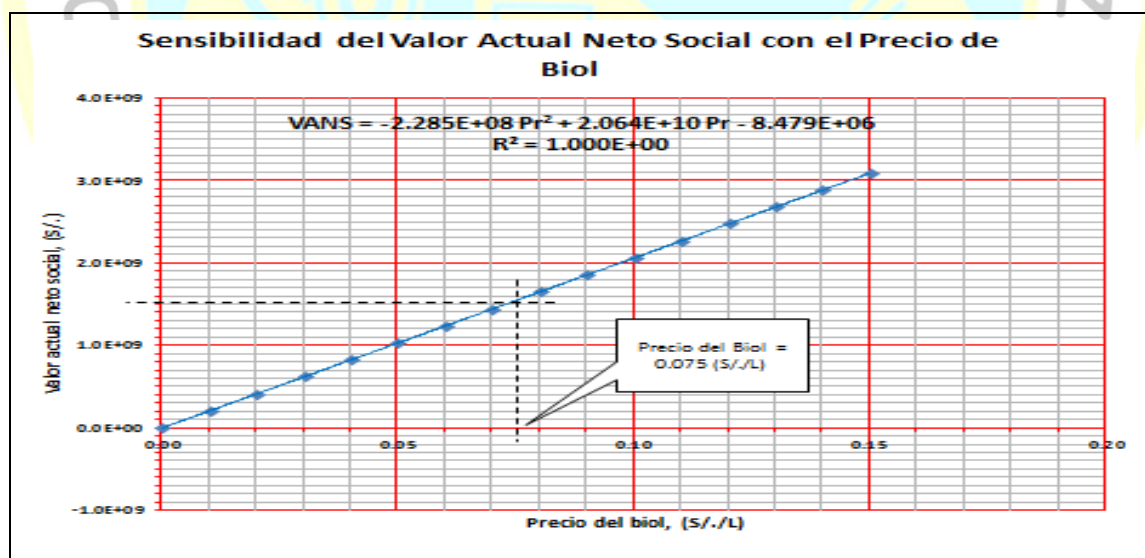
En la Tabla 62 y Figura 40, se presentan los datos y gráfica de la variación del valor actual neto social (VANS) con la variación precio del biol (13.5 g/L) (PrB).

**Tabla 62: Sensibilidad del valor actual neto social, con la variación del precio del biol (13.5 g/L).**

Precio del biol (13.5 g/L) (S./L)	Valor actual neto social (S./.)
0.000	-8702483.13
0.010	197415713.00
0.020	403533910.12
0.030	609652106.75
0.040	815770303.37
0.050	1030590983.12
0.060	1228006696.62
0.070	1434124893.25
0.080	1640243089.87
0.090	1846361286.50
0.100	2052479483.12
0.110	2258597679.75
0.120	2464715876.37
0.130	2670834073.00
0.140	2876952269.62
0.150	3083070466.25

**Nota:** Elaboración propia.

**Figura 40: Sensibilidad del valor actual neto social, con la variación del precio del biol (13.5 g/L).**



**Nota:** Elaboración propia.

Se mantienen fijos, la tasa anual de crecimiento poblacional en TACP = 1.6%, y los valores asumidos para otras variables.

#### 4.5 Contratación de hipótesis

Para contrastar las hipótesis con los resultados emplearemos matriz presentada a continuación, en la cual se describen las hipótesis específicas y los resultados obtenidos, que fundamentan la elección de la propuesta

CONTRASTACIÓN DE LAS HIPÓTESIS Y LOS RESULTADOS			
HIPOTESIS	RESULTADOS	INDICADORES	FACTIBILIDAD
Hipótesis 1: Es factible evaluar técnicamente la instalación de una planta de tratamiento de los lodos residuales de la planta de tratamiento de las aguas residuales municipales de la ciudad de Huacho, con haces con haces electrónicos de mediana energía (1 – 5 MeV).	Se ha seleccionado un acelerador lineal de electrones con las siguientes características: – Energía del haz 5 (MeV). – Potencia del haz 100(KW). – Precio S/. 8'448000.00 Planta de tratamiento de lodos cuya inversión inicial es S/. 18'912300.00	– Tecnología de aceleradores Itec=84.48 (S./W). – Planta de tratamiento Iplan = 189.12 (S./W).	Si es factible tecnológicamente.
Hipótesis 2: Es factible evaluar económicamente la instalación de una planta de tratamiento de los lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Huacho, con haces electrónicos de mediana energía (1 – 5 MeV)..	– Costos operativos anuales totales (precios de mercado): S/. 3'2925039. – Precio del biol: 0.075 (S./L). – Costos sociales anuales (año 1): S/. 861 850.00. – Indicador Habitante beneficiado =187923 (hab). – Indicador potencial de fertilización: 75025.08 (Ha año)	– VAN: S/. 1208'739650.09. – TIR: 580.42 (%). – Promedio Costo/eficacia (Hab. Ben.): 1.64 (S./hab/año). – Promedio Costo/eficacia (potencial de fertilización): 4.17 (S./Ha/año).	Si es factible económicamente

**Nota:** Elaboración propia.



## CAPÍTULO V

### DISCUSIÓN

#### 5.1 Discusión de resultados

Comparación de la situación sin proyecto y con proyecto

En vista que se trata de una propuesta de innovación tecnológica para resolver un problema ambiental, analizaremos algunas ventajas y desventajas de la situación con proyecto y sin proyecto.

##### 5.1.1. Salubridad:

En la situación con proyecto, la salubridad de la población, será mejorada por las mejoras sanitarias, al evitar que los lodos efluentes se arrojen a los ríos o mares, y los cultivos se fertilicen con un bioabono orgánico inocuo, de alta calidad sanitaria. Lo cual no sucedería en la situación sin proyecto.

##### 5.1.2. Impacto ambiental:

En la situación sin proyecto todos los lodos residuales podrán ser sometidos a los siguientes procesos:

- Incineración.
- Enterrados en zonas desérticas.
- Vertidos a los ríos, lagos o litoral marino.
- Desecados para su uso en compostaría.

En todos estos casos, los lodos siguen contaminando. Al medio aéreo con CO<sub>2</sub>, a los medios acuoso o, tierra y abonos, con bacterias y sus esporas, huevos y esporas de cisticercos y helmintos.

En el caso de la situación con proyecto, los lodos residuales son tratados con haces electrónicos de mediana energía, logrando su desinfestación y desinfección por debajo de los límites máximos permisibles. Estos lodos permitirán fabricar el biol (13.5 g/L) que podrá fertilizar alrededor 108084.09 (Ha año) de cultivos orgánicos de alta calidad, en el año 25 del horizonte del proyecto. Este biol también podrá ser utilizado en jardinería doméstica.

### **5.1.3. Sostenibilidad:**

La situación con proyecto será auto sostenible, con la venta del biol (13.5 g/L) a gran escala, cuyo precio propuesto será  $Pr = 0.075$  (S/./L). En el horizonte de 25 años del proyecto, se estima un  $VANS = S/. 1537'183992.56$ . También es posible obtener ingresos adicionales, tratando con haces electrónicos los lodos residuales de las futuras PTAR de las provincias de Barranca, Chancay y Huaral, con el fin de obtener bioabono sólido y líquido de alta calidad sanitaria para cultivos orgánicos.

La situación sin proyecto, será sostenible con el aporte de arbitrios de los pobladores usuarios de la ciudad de Huacho.

### **5.1.4. Situación recomendada:**

Por los fundamentos vertidos en los incisos previos, se recomienda la situación con proyecto.

## **5.2. Identificación de las principales fuentes de ingresos para la situación con proyecto**

En vista que el proyecto será administrado por la empresa municipal EMAPA Huacho, las posibles fuentes de ingresos para el auto sostenimiento del proyecto serán, las siguientes:

### **5.2.1. Pago de arbitrios de los habitantes beneficiados.**

El ratio Costo/eficacia (habitante beneficiado), promediado en el horizonte del proyecto, resulta ser.

$$\langle CE \rangle = 1.64 \left( \frac{S/.}{hab \text{ año}} \right)$$

Del cual se deduce el monto que debe pagar cada habitante beneficiado, como mínimo, para afrontar el costo social del proyecto, durante el horizonte del proyecto

$$\langle MMH \rangle = 1.64 \left( \frac{S/.}{hab \text{ año}} \right) \left( \frac{1 \text{ año}}{12 \text{ mes}} \right) = 0.14 \left( \frac{S/.}{hab \text{ mes}} \right)$$

Si asumimos que cada hogar tiene en promedio 5.1249 (hab), según (Martínez Córdor, J., Canales Fuster, J., 2006, p. 11), el monto familiar mensual (MFM), adicional por el servicio de tratamiento de lodos residuales, será.

$$\langle MFM \rangle = 0.14 \left( \frac{S/.}{hab \text{ mes}} \right) \left( \frac{5.1249 \text{ hab}}{\text{hogar}} \right) = 0.72 \left( \frac{S/.}{\text{hogar mes}} \right)$$

### 5.2.2. Venta del biol a los agricultores de la provincia

Utilizando un ratio costo/eficacia (potencial de fertilización), y el dato que la provincia de Huaura posee alrededor 10183 (Ha) cultivables distribuidas entre 7357 agricultores productores. Obtenemos la inversión anual promedio que deberá pagar cada agricultor productor para obtener el bioabono.

$$EC' = 4.17 \left( \frac{S/.}{Ha \text{ año}} \right)$$

El promedio del monto mensual mínimo que debería pagar los agricultores por su dotación de biol (13.5 g/L), para fertilizar sus cultivos <MMMFM>, será.

$$\langle MMMFM \rangle = 4.17 \left( \frac{S/.}{Ha \text{ año}} \right) \left( \frac{10183 \text{ Ha}}{7357 \text{ Agricultor}} \right) \left( \frac{1 \text{ año}}{12 \text{ mes}} \right)$$

$$\langle MMMFM \rangle = 0.485 \left( \frac{S/.}{\text{Agricultor mes}} \right)$$

### 5.2.3. Venta del bioabono PTAR líquido

Se ha propuesto un precio del biol (13.5 g/L), esterilizado, Pr = 0.075 (\$/L). Con este precio se ha obtenido un valor actual neto social del proyecto VANS = S/. 1537'183992.56 en un horizonte de 25 años.

Con esto se generará un beneficio social mensual, promediado durante el horizonte del proyecto.

$$\begin{aligned} < BSM > &= 1537'183992.56 \left( \frac{S/.}{Hor} \right) \left( \frac{Hor}{25 \text{ años}} \right) \left( \frac{1 \text{ año}}{12 \text{ mes}} \right) \\ &= 5'123946.64 \left( \frac{S/.}{mes} \right) \end{aligned}$$

Realizando un análisis a precio de mercado. Si, bajamos el precio del biol a 0.010 (S./L), según la Figura 35, la tasa interna de retorno sería aceptable TIR = 61.29 %, y el valor actual neto del proyecto sería VAN = S/. 110'129662.46. En estas condiciones el beneficio anual neto sería.

$$BenAnNet = 110'129662.46 \left( \frac{S/.}{Hor} \right) \left( \frac{Hor}{25 \text{ años}} \right) = 4'405186.50 \left( \frac{S/.}{año} \right)$$

#### 5.2.4. Venta de bioabono PTAR sólido

Ocasionalmente se comprará lodos residuales contaminados, a las plantas de tratamiento de aguas residuales de Barranca, Chancay y Huaral. Con esta materia prima:

- Se producirá bioabono sólido.
- Se producirá sólidos orgánicos digeridos y desinfectados para vender, como materia prima, a los fabricantes de compost. El precio está para ser propuesto.

#### 5.2.5. Convenio de la Municipalidad de Huacho con la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión.

En el marco de este convenio, la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, con fondos del Canon Minero y FOCAM, destinados a la investigación y desarrollo de la región, asumirá la inversión de parte del proyecto, que corresponde al terreno de área 1.5 (Ha), y la edificación y equipamiento de la planta de irradiación de lodos residuales, taller de fabricación de bioabono, depósitos de biol. La municipalidad de Huacho asumirá la inversión para la construcción de la PTAR Huacho, constituida por: rejas de desbaste y desarenado, tratamiento primario (sedimentador primario), tratamiento secundario (tanques

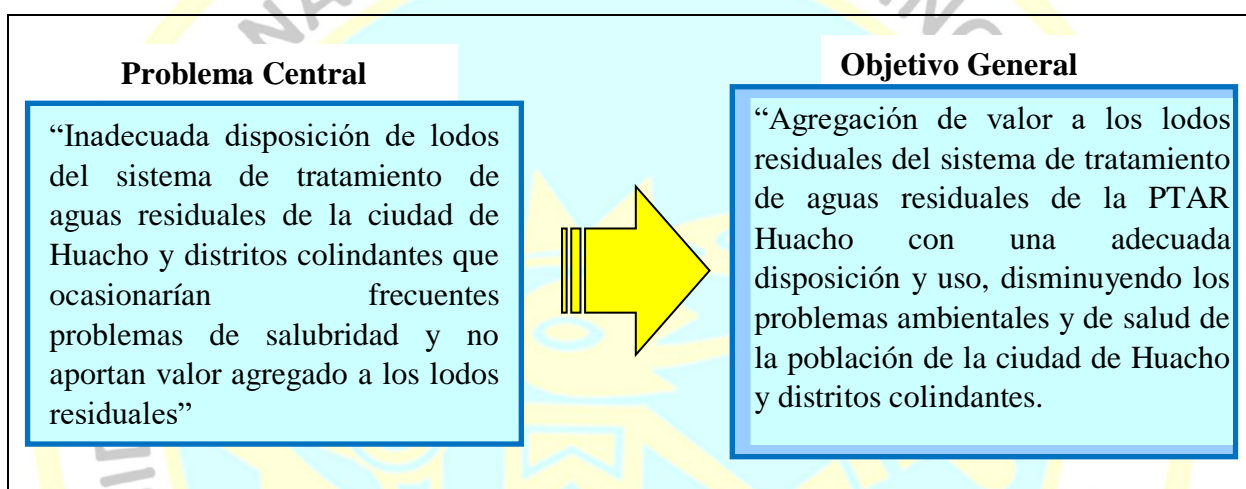
o lagunas de aireación), tratamiento terciario (lagunas de sedimentación y crianza de tilapias).

### 5.3. Matriz de marco lógico

En la elaboración de la matriz de marco lógico se han tomado las recomendaciones dadas en (Ministerio del Medio Ambiente, Senamhi, 2015)

#### 5.3.1. Objetivo Central del proyecto

**Figura 41: Problema Central y Objetivo General**



**Nota:** Elaboración propia

#### 5.3.2. Medios y fines del proyecto

##### 5.3.2.1. Medios del proyecto

Adecuada disposición y tratamiento de lodos residuales de la PTAR de la ciudad de Huacho a:

- Sistema de tratamiento de los lodos residuales con haces electrónicos de alta energía.

Valoración de los lodos residuales tratados con haces electrónicos de mediana energía, que tiene como medio fundamental a:

- Talleres de producción de bioabono sólido y líquido de alta calidad sanitaria.

Almacenamiento adecuado de bioabono sólido y líquido, que tiene como medio fundamental a:

- Piscinas de almacenamiento de agua irradiada, tanques de almacenamiento de bioabono líquido, almacenes para bioabono sólido.

a) adecuado acopio de lodos residuales de la PTAR Huacho y otras, que tiene como medio a:

- Cisternas de transporte motorizadas.

### **5.3.2.2. Fines identificados en el proyecto**

Se han identificado los siguientes fines directos:

a) Agregación de valor a los lodos y aguas residuales de la PTAR Huacho.

b) Incremento del potencial de fertilización de cultivos de la provincia de Huaura.

c) Disminución de la morbilidad.

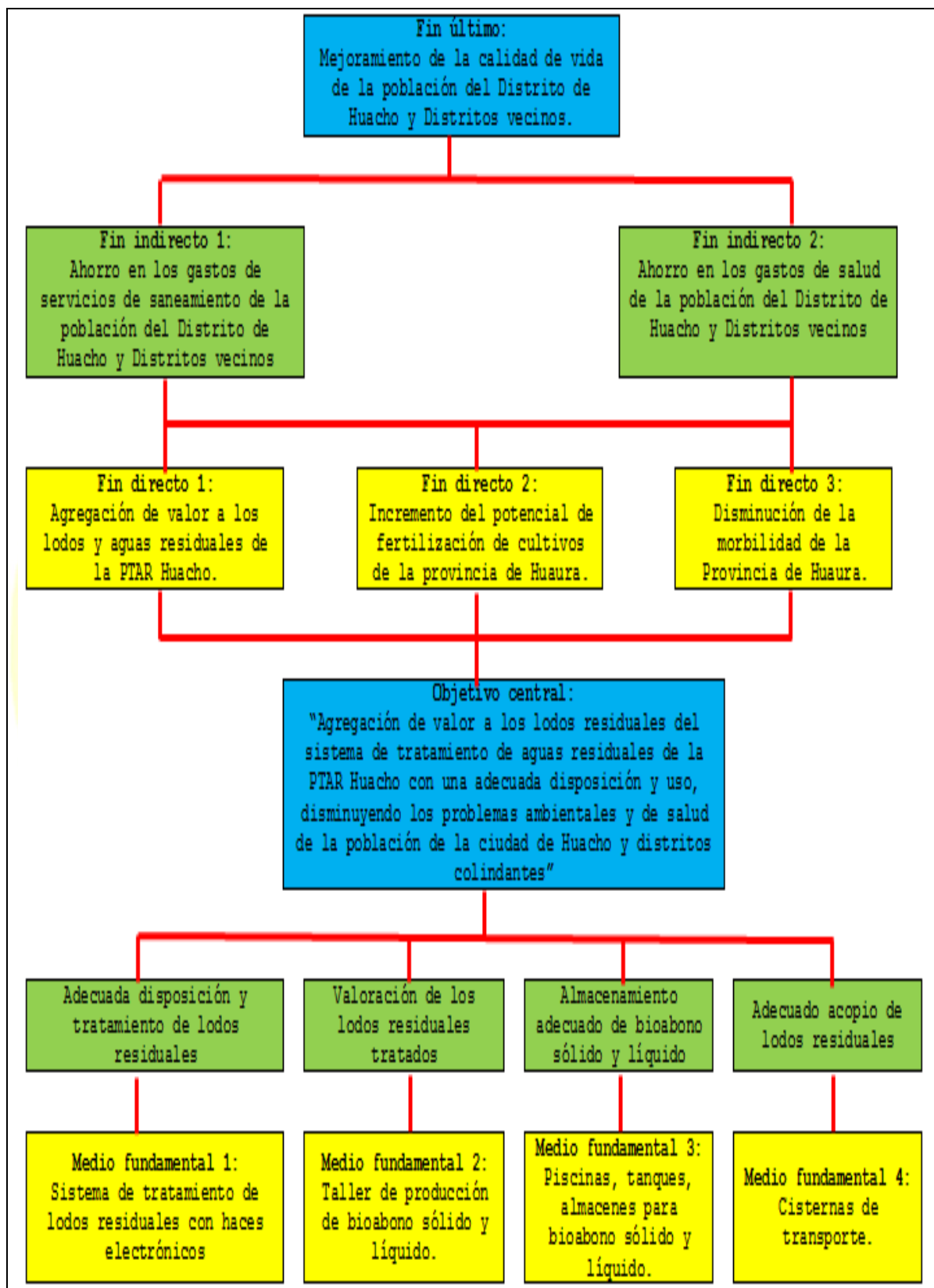
d) Menores gastos de salud de la población.

e) Menores gastos de sanidad de la población.

f) Mejora de la calidad de vida de la población de la provincia de Huaura.

Ver árbol de medios objetivos y fines

**Figura 42: Árbol de Medios y Fines**



**Nota:** Elaboración propia.

## 5.4. Alternativas de Solución

### 5.4.1. Medios Fundamentales y acciones

Los medios fundamentales imprescindibles son los que necesariamente deben realizarse para el logro del objetivo.

### 5.4.2. Planteamiento y Clasificación de las Acciones

a) **Medio Fundamental 1:** “sistema de tratamiento de lodos residuales con haces electrónicos”.

**Acción 1:** Instalación del sistema de tratamiento de lodos residuales con haces electrónicos.

b) **Medio Fundamental 2:** “Taller de producción de bioabono sólido y líquido”

**Acción N° 2:** Se propone la construcción de un taller de producción de bioabono sólido y líquido.

c) **Medio Fundamental 3:** “Piscinas, tanques de almacenamiento de bioabono líquido y almacenes para bioabono sólido”.

**Acción N° 3:** Construcción de piscinas de concreto y tanques cilíndricos para almacenar bioabono líquido y hangares para almacenar bolsas de bioabono sólido.

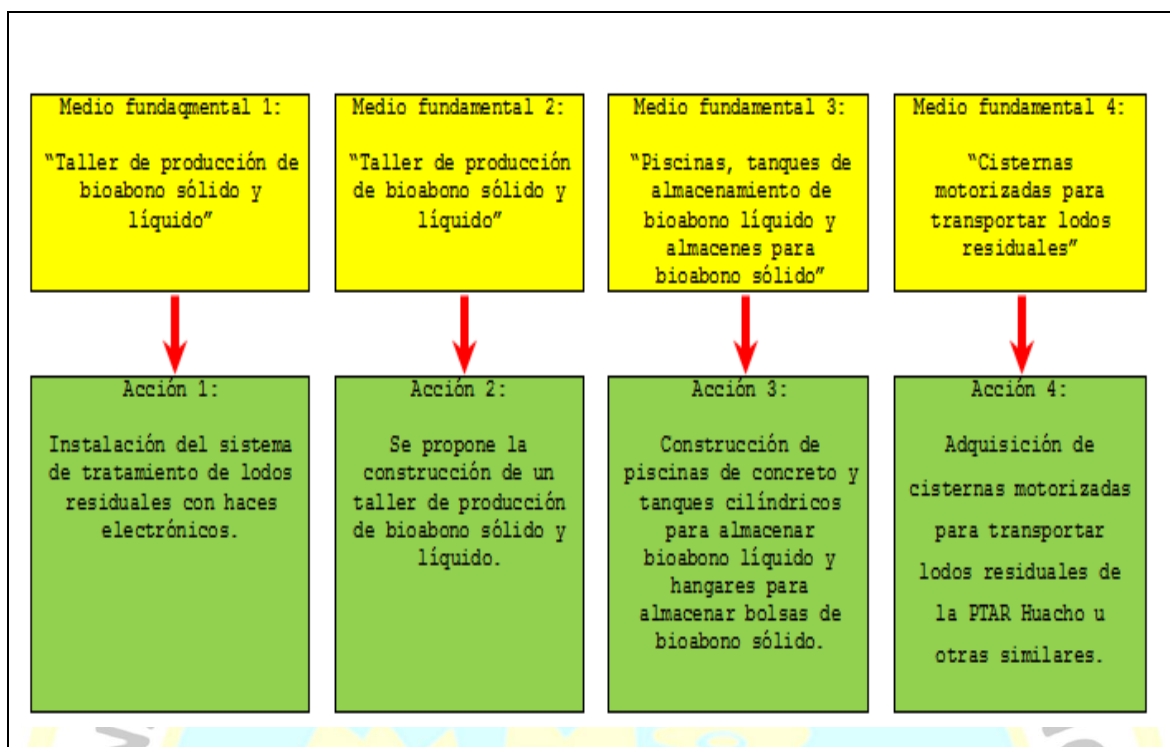
d) **Medio Fundamental 4:** “Cisternas motorizadas para transportar lodos residuales”.

**Acción 4:** Adquisición de cisternas motorizadas para transportar lodos residuales de la PTAR Huacho u otras similares.

Ver árbol de medios y acciones.



**Figura 43: Árbol de medios y acciones**



**Nota:** Elaboración propia.

### 5.4.3. Alternativa Única

Contiene las siguientes acciones:

- a) Instalación del sistema de tratamiento de lodos residuales con haces electrónicos.
- b) construcción de un taller de producción de bioabono sólido y un taller de producción de bioabono líquido.
- c) Construcción de piscinas de concreto y tanques cilíndricos para almacenar bioabono líquido y hangares para almacenar bolsas de bioabono sólido.
- e) Adquisición de cisternas motorizadas para transportar lodos residuales de la PTAR Huacho u otras similares.

#### **5.4.4. Intento de soluciones anteriores**

Los pobladores de la Localidad de Huacho a través de sus dirigentes han intentado dar solución a los problemas que los aquejan, la municipalidad ha acogido su pedido y está elaborando un proyecto para la construcción de la PTAR Huacho, acudiendo a diversas instituciones públicas y privadas.

#### **5.4.5. Matriz de marco lógico**



## MATRIZ DE MARCO LÓGICO

OBJETIVO	DESCRIPCION	INDICADORES	MEDIOS DE VERIFICACION	SUPUESTOS
FINES	<b>Indirecto:</b> Ahorro en los gastos de salud y de servicios de saneamiento de la población del distrito de Huacho y distritos vecinos.	Arbitrios iguales o más bajos, y menor porcentaje de incidencia de enfermedades, en el distrito de Huacho y distritos vecinos.	Boletas de pago de arbitrios municipales. Estadísticas de atención los hospitales.	Estabilidad económica del país.
	1. Agregación de valor a los lodos y aguas residuales de la PTAR Huacho.	El contenido de bacterias, huevos y quistes de helmintos y cisticercos han disminuido hasta niveles de esterilización.	Reportes del laboratorio de control de calidad de la planta de tratamiento de lodos residuales.	Se realiza una alianza público privada para comercializar el bioabono producido.
	2. Incremento del potencial de fertilización de los cultivos de la Provincia de Huaura.	Producción de bioabono líquido y sólido en cantidad y calidad suficiente para atender las necesidades de fertilización de la Provincia.	Reportes de producción y distribución de la planta de producción.	Los agricultores incrementan su frontera agrícola como consecuencia de la oferta de fertilización de cultivos.
	3. Disminución de la morbilidad de la Provincia de Huaura.	Menor incidencia de enfermedades infecciosas ocasionadas por medio ambiente insalubre.	Reportes del Ministerio de Salud Pública.	Existencia de datos de morbilidad en la situación sin proyecto.

OBJETIVO	DESCRIPCION	INDICADORES	MEDIOS DE VERIFICACION	SUPUESTOS
<b>PROPOSITO</b>	1 Adecuada disposición y tratamiento de los lodos residuales producidos en la PTAR Huacho.	Cantidad y calidad de lodos residuales convertidos en bioabono orgánico de alta calidad.	Visitas de inspección para verificar los métodos de disposición de lodos residuales.	Todos los efluentes de aguas residuales municipales son tratados en la PTAR Huacho.
	2. Valoración de los lodos residuales tratados en la PTAR Huacho.	Composición de NPK y microorganismos de los lodos residuales tratados.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reportes de inspección del Ministerio del Ambiente.</li> <li>• Límites de tolerancia.</li> <li>• Rangos permisibles</li> </ul>	Se han realizado supervisiones en la situación sin proyecto.
	3. Almacenamiento adecuado del bioabono sólido y líquido producido en la planta de tratamiento de lodos residuales.	Los almacenes y dispositivos de almacenamiento de bioabono sólido y líquido son técnicamente apropiados.	Reportes de inspección del ministerio de la producción.	Se ha realizado reportes en la situación sin proyecto.
	4. Adecuado acopio de lodos residuales producidos en la PTAR Huacho.	Existencia de medios adecuados de transporte de lodos residuales y personal entrenado.	Reportes de inspección del ministerio de la producción.	Existencia de legislación pertinente.

OBJETIVOS	DESCRIPCION	INDICADORES	MEDIOS DE VERIFICACION	SUPUESTOS
<b>COMPONENTES</b>	1. Sistema de tratamiento de lodos residuales con haces electrónicos de mediana energía.	Verificación física e informe de conformidad de la recepción de la tecnología.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informes de visitas de inspección.</li> <li>• Expedientes técnico.</li> <li>• Informes de compra venta.</li> </ul>	Disposición del estado para invertir en la tecnología propuesta.
	2. Taller de producción de bioabono sólido y líquido.	Verificación física e informe de conformidad de la recepción de la edificación del taller.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informes de visitas de inspección.</li> <li>• Expedientes técnicos.</li> <li>• Informes de supervisión de la obra.</li> </ul>	Disposición del estado para la inversión en saneamiento.
	3. Piscinas, tanques y almacenes para bioabono líquido y sólido.	Verificación física e informe de conformidad de la recepción de las edificaciones.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informes de visitas de inspección.</li> <li>• Expedientes técnicos.</li> <li>• Informes de supervisión de obra.</li> </ul>	Existe en el país empresas que realizan estas construcciones.
	4. Sistemas de bombeo y transporte motorizados, para el acopio de lodos residuales.	Verificación física e informe de conformidad de la recepción de estas maquinarias.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informes de visitas de inspección.</li> <li>• Expedientes técnicos.</li> <li>• Informes de supervisión.</li> </ul>	No existe una tubería de conducción del lodo residual desde la PTAR a la planta de tratamiento de lodos.

OBJETIVO	DESCRIPCION	INDICADORES	MEDIOS DE VERIFICACION	SUPUESTOS
ACCIONES	1. Instalación del sistema de tratamiento de lodos residuales con haces electrónicos de mediana energía.	Existencia física de un sistema de tratamiento de lodos residuales con haces electrónicos de mediana energía.	• Visita in situ.	Buena disposición del estado para invertir en saneamiento.
	2. Edificación Taller de producción de bioabono sólido y líquido.	Existencia física de una planta de producción de bioabono sólido y líquido.	• Visita in situ.	Buena disposición del estado para invertir en la tecnología propuesta.
	3. Construcción de piscinas de concreto y tanques cilíndricos para almacenar bioabono líquido y hangares para almacenar bolsas de bioabono sólido.	Existencia física de piscinas de concreto y tanques cilíndricos para almacenamiento de bioabonos sólidos y líquidos.	• Visita in situ.	Existe en el país empresas que realizan estas construcciones.
	4. Adquisición de cisternas motorizadas para transportar lodos residuales de la PTAR Huacho u otras similares.	Existencia física de sistemas de bombeo y cisternas para transporte de lodos residuales.	• Visita in situ.	No existe una tubería de conducción del lodo residual desde la PTAR a la planta de tratamiento de lodos.

## **CAPÍTULO VI**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **6.1 Conclusiones**

##### **6.1.1. Definición del problema central**

En este estudio se proponen medidas científicas y tecnológicas para evaluar técnica y económicamente la instalación de una planta de tratamiento de los lodos residuales producidos por la planta de tratamiento de aguas residuales municipales de la ciudad de Huacho, mediante el uso de haces electrónicos de mediana energía.

La propuesta realizada en el presente estudio de investigación será la base para tomar la decisión debidamente fundamentada para invertir en la instalación de una planta de tratamiento de los lodos residuales de la PTAR Huacho. A nivel de Inversión Pública en el Marco del Sistema Nacional de Inversión Pública, o a nivel privado a través de una asociación pública privada liderada por la municipalidad de Huacho, donde la población beneficiada directamente serán los pobladores de la provincia de Huaura. Los beneficiarios indirectos serán los agricultores de la zona rural de las provincias de Huaura, Huaral y Barranca. Quienes recibirán las aguas, tratadas por la planta de tratamiento, hasta niveles de inocuidad y dispondrán de un biol o un bioabono sólido inocuo, ambos con calidad suficiente para regar y abonar plantaciones donde sus productos y frutos sean de calidad orgánica exportable.

##### **6.1.2. Conclusión de la evaluación tecnológica**

Se recomienda adquirir un acelerador de haces electrónicos de energía del haz  $E_h = 5$  (MeV) y una potencia del haz  $Pot = 60$  ó  $100$  (KW). Para tratar los lodos residuales de la PTAR Huacho.

Según (Han, Kim, & Kim, Electron beam economy, 2006, p. 4), aceleradores de diferentes tipos para diferentes aplicaciones de irradiación, se encuentran disponibles en el mercado internacional, a los precios indicados en la Tabla 63. Asimismo aceleradores similares del tipo (DC), utilizados en aplicaciones industriales de tratamiento de aguas residuales tienen precios de acuerdo a la potencia del haz de electrones, como los indicados en la Tabla 64.

**Tabla 63: Aceleradores seleccionados para procesos de irradiación**

Fabricante (modelo)	Energía (MeV)	Corriente (mA)	Potencia (KW)	PRECIO (M\$)	COSTO (\$/W)
IBA, Bélgica (UHF)	10	15	150	6.1	40.7
RDI, USA (DC)	5	50	250	4.9	19.6
NVH, Japón (DC)	5	30	150	5.0	33.3
Vivirad, Francia (DC)	5	200	1000	4.4	4.4
BINP, Rusia (UHF)	5	10	50	1.2	24.0
BINP, Rusia (DC)	1	400	400	2.0	5.0

**Nota:** Elaboración propia.

**Tabla 64: Comparaciones de costo unitario para aceleradores típicos DC, de acuerdo a la potencia del haz de electrones**

Potencia de haz de electrones (KW)	Precio (\$)	Costo unitario (10 <sup>4</sup> \$/KW)
20	0.5	2.5
40	0.8	2.0
100	1.0	1.0
200	1.5	0.75
400	2.0	0.5

Las configuraciones mínimas de aceleradores de electrones, necesario para realizar el volumen de tratamiento de lodos residuales requerido por la PTAR Huacho pueden ser:



- Un acelerador de 60 (KW), que trata todo el gasto de cake en una sola línea de tratamiento.
- Un sistema multi-irradiador, la potencia de 60(KW) la distribuye en diferentes líneas de tratamiento.

Si el acelerador seleccionado debe tener la capacidad de irradiar mayores volúmenes de bioabono líquido con menores concentraciones de sólidos, que podrían provenir de otras PTARs. Deberíamos escoger un acelerador múltiple con energía cinética máxima de los electrones del haz de  $E_h = 5$  (MeV) y potencia  $Pot = 100$  (KW). La eficiencia de conversión de energía eléctrica en energía del haz, es 80%.

El acelerador es el sistema principal de la tecnología propuesta, que debe acompañarse de toda una planta de tratamiento de lodos residuales para convertirlos en bioabono sólido y líquido.

Una estimación de la inversión inicial para esta aplicación se resume en el Tabla 65.

**Tabla 65: Resumen de los componentes de la inversión inicial**

**Tipo de cambio: 3.3 (S./USD)**

ITE	Descripción	Unidad	Cant	Precio	Inversión
M			.	(S./)	(S./)
1	Terreno eriazo.	Ha	1.5	33000	49500
2	Obras civiles.	m <sup>2</sup>	1500	330	4950000
3	Acelerador líneal múltiple, 5 MeV, 100 KW. Con supervisión de instalación. <sup>(a)</sup>	Equipo	1	8448000	8448000
4	Sistema de dosimetría. <sup>(a)</sup>	Sistema	1	313500	313500
5	Sistema de monitoreo de radiaciones. <sup>(a)</sup>	Sistema	1	231000	231000
6	Sistema de transporte y manejo de limo. <sup>(b)</sup>	Sistema	1	1155000	1155000
7	Camión cisterna (7 m <sup>3</sup> ), 5000 cc.	Vehículo	2	198000	396000
8	Piscinas para almacenar agua irradiada	piscina	5	165000	825000
9	Tanques de almacenamiento de soluciones líquidas, fibra de vidrio, $\phi = 5$ (m), H = 7.5 (m).	tanque	5	99000	495000
10	Herramientas	Kit	10	31350	313500
11	Mobiliario	Pieza	50	330	16500

SUBTOTAL:	17193000
Estudios (10% del subtotal)	1719300
TOTAL:	18'912300

**Nota:** (a) Componentes con características indicadas en la p. 8 de, EB TECH Co., Ltd. (2013).

### 6.1.3. Conclusión de la evaluación económica y social

#### 6.1.3.1. Sensibilidad del VAN y el TIR con el precio del biol

El precio del biol (13.5 g/L), se estableció al compararlo con el biol producido por la Universidad Nacional Agraria Solución hidropónica La Molina, que tiene aproximadamente la misma composición de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), cuyo precio de la solución nutritiva es 0,075 (S./L).

Esta es la única razón que hemos tomado para fundamentar el precio del biol. Sin embargo pueden existir muchas otras fundamentaciones valederas para fijar el precio. Por esta razón hemos creído conveniente realizar el estudio de la sensibilidad del VAN y el TIR del proyecto con el precio del biol.

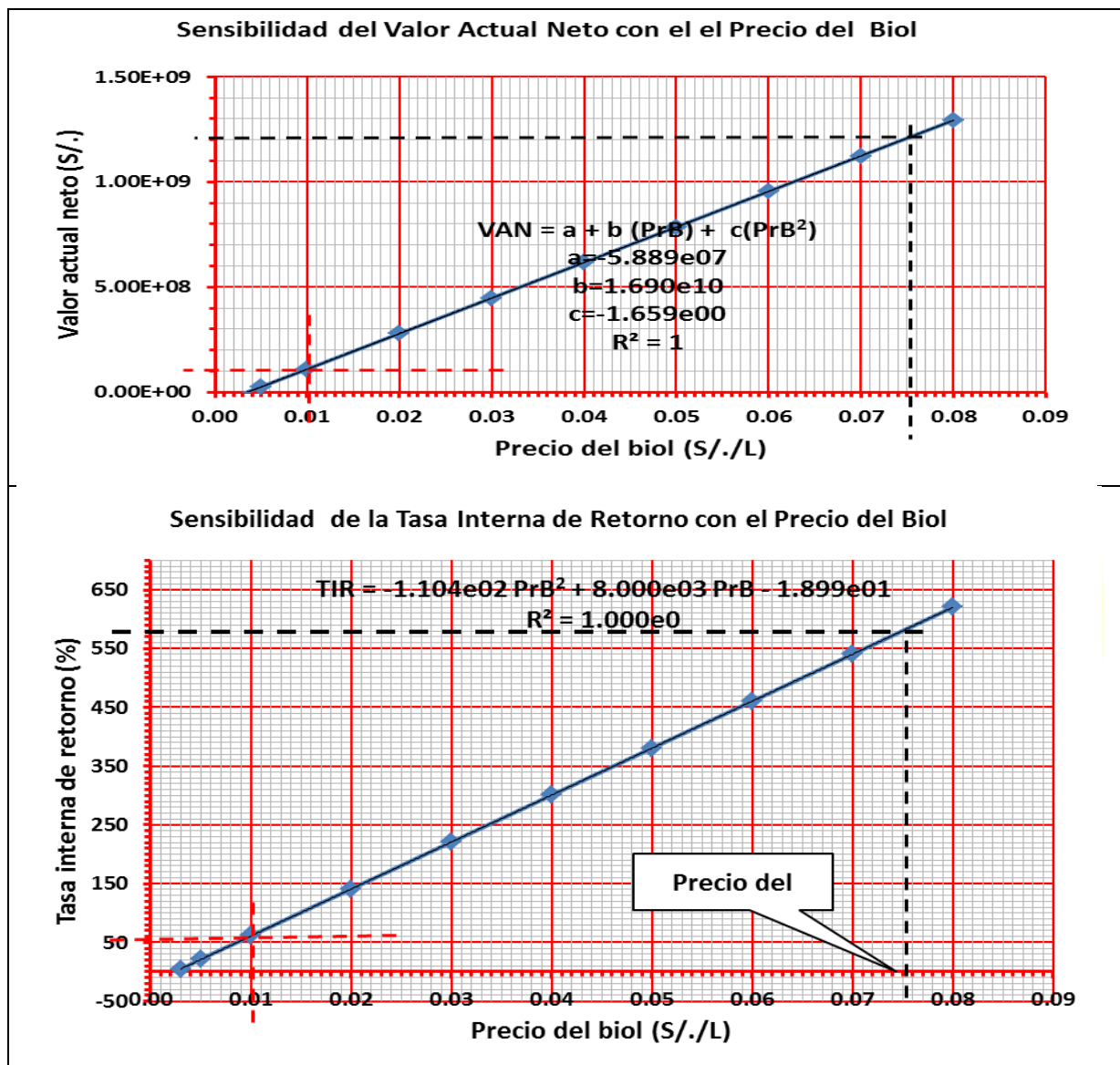
En el Tabla 66 y figura 44, se presentan los valores y gráficas del VAN y TIR del proyecto para una amplia gama de precios del biol.

**Tabla 66: Sensibilidad del VAN y el TIR con al precio del biol (13.5 g/L).**

Precio del biol (13.5 g/L) ((S./L)	Valor actual neto del proyecto (S./.)	Tasa interna de retorno (%)
0.08	1293248110.70	620.37
0.07	1124231189.47	540.36
0.06	955214268.24	460.55
0.05	786197347.01	380.65
0.04	617180425.77	300.75
0.03	448163504.54	220.86
0.02	279146583.31	141.00
0.01	110129662.08	61.29
0.005	25621201.46	21.72
0.003	-8182182.79	4.09

**Nota:** Elaboración propia.

Figura 44: Gráfica de la sensibilidad del VAN y TIR del proyecto con el precio del biol (13.5 g/L)



Nota: Elaboración propia.

En la Figura 44 presentada líneas arriba, notamos que para una tasa interna de retorno aceptable  $TIR = 60 \%$ , el precio del biol referente (13.5 g/L), sería 0.010 (S./L), y el valor actual neto del proyecto sería  $VAN = S/. 100'000000.00$ .

### 6.1.3.2. Sensibilidad del valor actual neto con la tasa anual de interés financiero

La tasa anual de interés financiero en nuestro país varía entre 5% y 15%. Por esta razón haremos un estudio de sensibilidad del VAN y el TIR con la tasa anual de interés financiero. Para tal efecto haremos variar la tasa anual de interés financiero (5.0 – 15.0) %, y observar sus efectos en el VAN y TIR del proyecto.

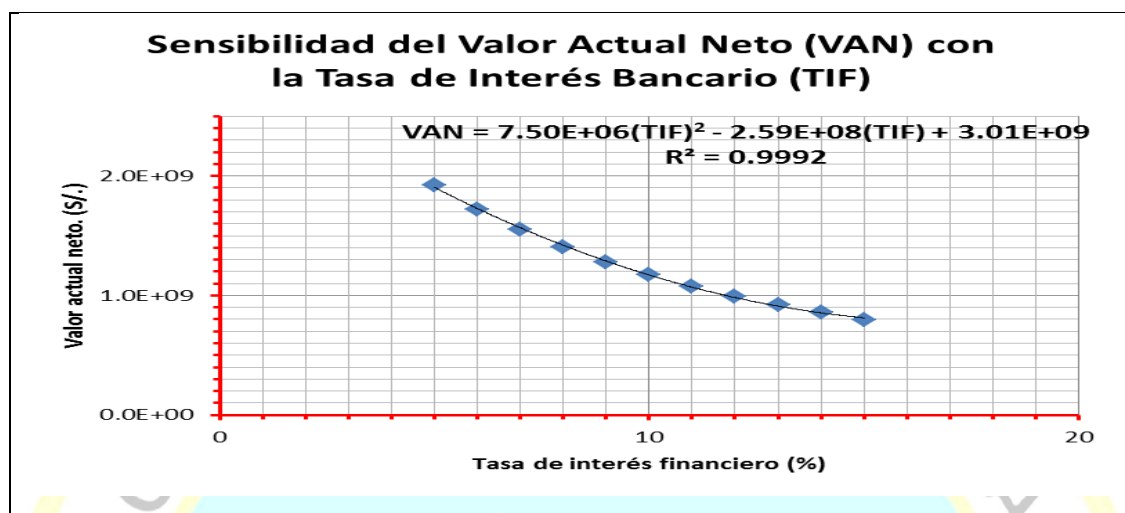
En la Tabla 67 y Figura 45, se presentan los valores y gráficas del VAN y TIR del proyecto para el rango seleccionado de valores de la tasa anual de interés financiero. Se nota claramente, como es de esperar, que el TIR no es afectado con la variación de la TIF.

**Tabla 67: Sensibilidad del valor actual neto (VAN) y tasa interna de retorno (TIR) con la tasa anual de interés bancario (TIB)**

Tasa anual de crecimiento poblacional (%)	Valor actual neto del proyecto (S/.)	Tasa interna de retorno (%)
5.00	1921992124.79	584.53
6.00	1723428593.52	584.53
7.00	1553703828.16	584.53
8.00	1407903846.76	584.53
9.00	1282038611.18	584.53
10.00	1172855598.94	584.53
11.00	1077693132.08	584.53
12.00	994364585.98	584.53
13.00	921066663.74	584.53
14.00	856306483.66	584.53
15.00	798843434.93	584.53

**Nota:** Elaboración propia.

**Figura 45: Gráfica de la sensibilidad del valor actual neto (VAN) del proyecto con la tasa de interés financiero (TIF).**



Nota: Elaboración propia.

### 6.1.3.3. Sensibilidad del costo/eficacia (habitante beneficiado) con la variable población

El ratio costo/eficacia, cuando el índice de eficacia es habitantes beneficiados, es sensible a la variable población.

En la Tabla 68 y Figura 46, se muestran los valores y la gráfica, respectivamente.

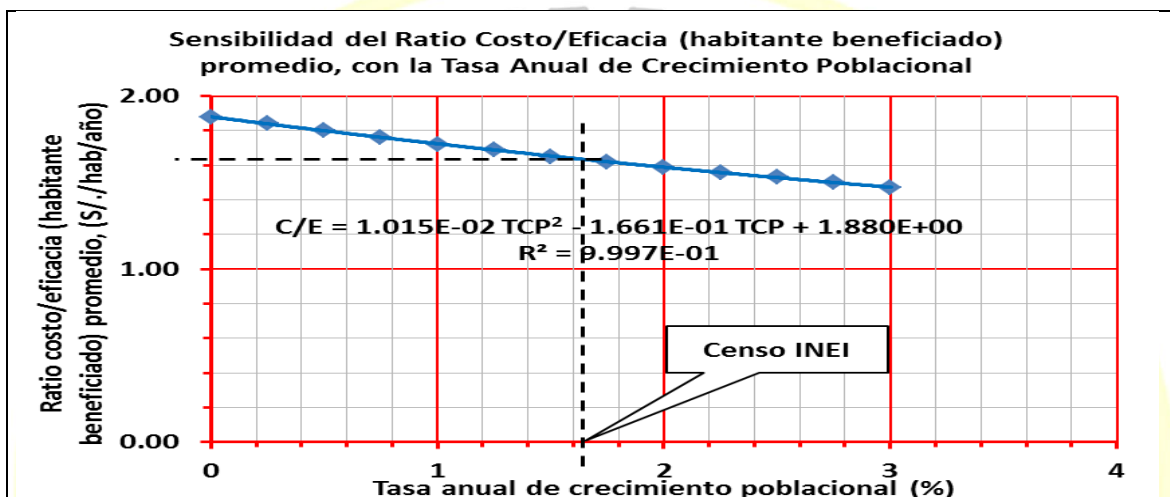
**Tabla 68: Sensibilidad del ratio costo eficacia (habitante beneficiado), con la tasa anual de crecimiento poblacional**

Tasa anual de crecimiento poblacional (%)	Ratio costo/eficacia (habitante beneficiado) promedio (S./hab/año)
0.00	1.88
0.25	1.84
0.50	1.80
0.75	1.76
1.00	1.72
1.25	1.69
1.50	1.65
1.75	1.62
2.00	1.59

2.25	1.56
2.50	1.53
2.75	1.50
3.00	1.47

Nota: Elaboración Propia

**Figura 46: Sensibilidad del ratio costo/eficacia (habitante beneficiado) promedio, con la variación de la tasa anual de crecimiento poblacional**



Nota: Elaboración propia.

#### 6.1.3.4. Sensibilidad del costo/eficacia (potencial de fertilización) con la variable población

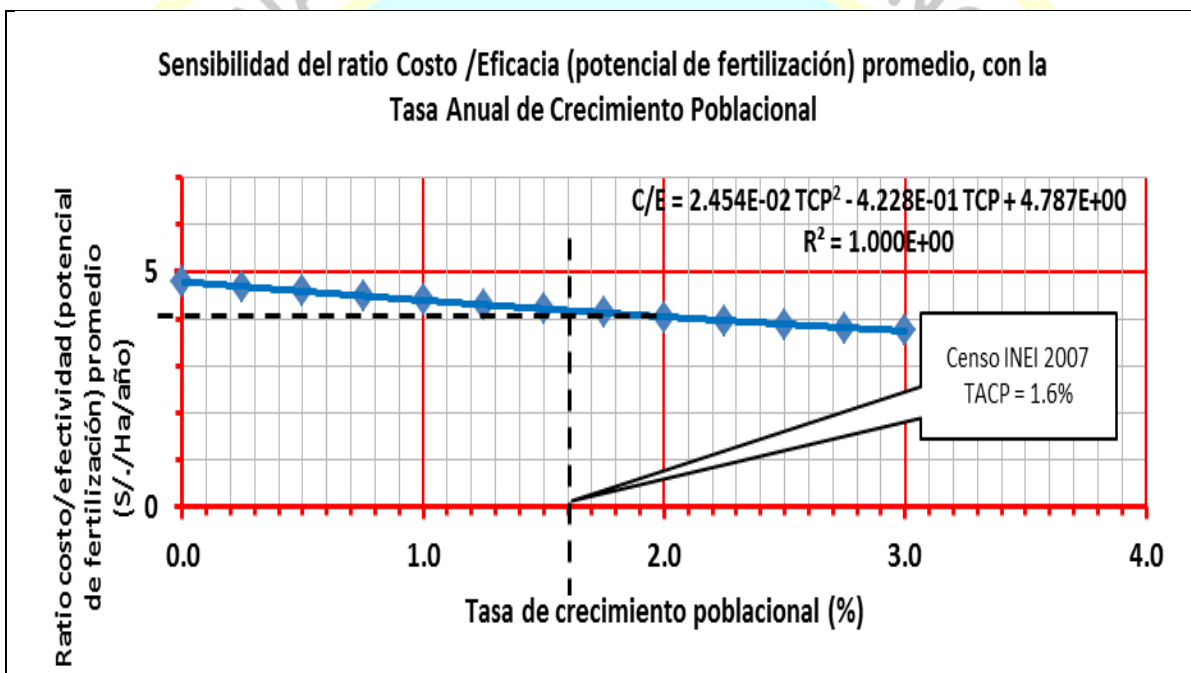
El ratio costo/eficacia, cuando el índice de eficacia es potencial de fertilización (área-tiempo), es sensible fundamentalmente con la variación de la tasa anual de crecimiento poblacional. En la Tabla 63 y Figura 47, se muestran los valores y la gráfica, respectivamente.

**Tabla 69: Sensibilidad del ratio costo/eficacia (potencial de fertilización) con la tasa anual de crecimiento poblacional**

Tasa anual de crecimiento poblacional (%)	Ratio costo/eficacia (potencial de fertilización) (S./Ha/año)
0.00	4.79
0.25	4.68
0.50	4.58
0.75	4.48
1.00	4.39

1.25	4.30
1.50	4.21
1.75	4.12
2.00	4.04
2.25	3.96
2.50	3.88
2.75	3.81
3.00	3.74

**Figura 47: Gráfica de la sensibilidad del ratio costo/eficacia (potencial de fertilización), con la tasa anual de crecimiento poblacional.**



Nota: Elaboración propia.

#### 6.1.3.5. Sensibilidad del valor actual neto social con la variable población

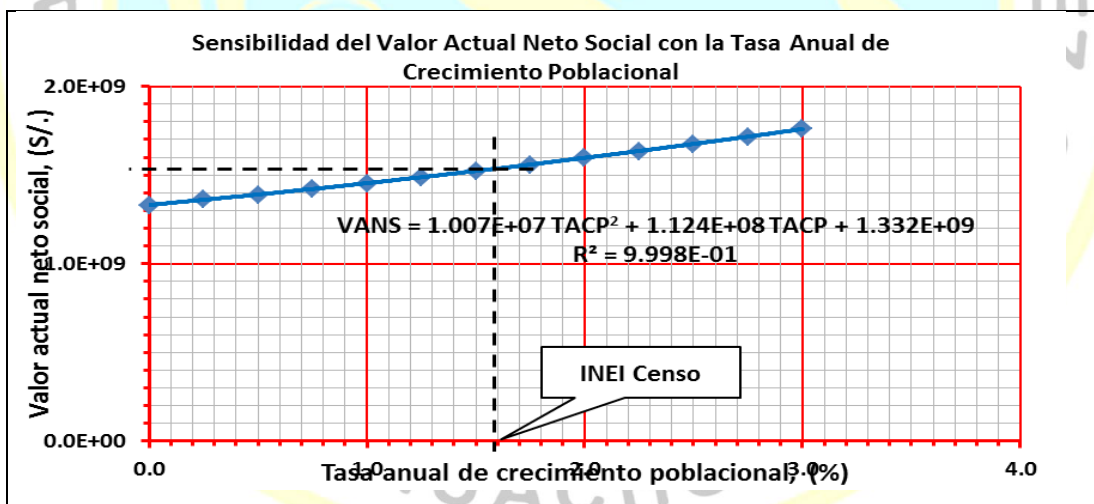
En la Tabla 70 y Figura 48, se presentan los datos y gráfica de la variación del valor actual neto social (VANS) con la variación de la tasa anual de crecimiento poblacional (TACP).

Se mantienen fijos el precio del biol (13.5 g/L), en PrB = 0.075 (S./L), y los valores asumidos para otras variables.

**Tabla 70: Sensibilidad del valor actual neto social, con la variación de la tasa anual de crecimiento poblacional.**

Tasa anual de crecimiento poblacional (%)	Valor actual neto social (S/.)
0.00	1327'977521.00
0.25	1366'419779.12
0.50	1388'824211.60
0.75	1420'726225.13
1.00	1453'664345.80
1.25	1487'678251.05
1.50	1522'809240.71
1.75	1559'100304.62
2.00	1596'596193.97
2.25	1635'343490.14
2.50	1675'390690.09
2.75	1716'788276.93
3.00	1759'588807.19

**Figura 48: Gráfica que representa la sensibilidad del valor actual neto social, con la variación de la tasa anual de crecimiento poblacional**



Nota: Elaboración propia.

#### 6.1.3.6. Sensibilidad del valor actual neto social con el precio del biol.

En la Tabla 71 y Figura 49, se presentan los datos y gráfica de la variación del valor actual neto social (VANS) con la variación precio del biol (13.5 g/L) (PrB).

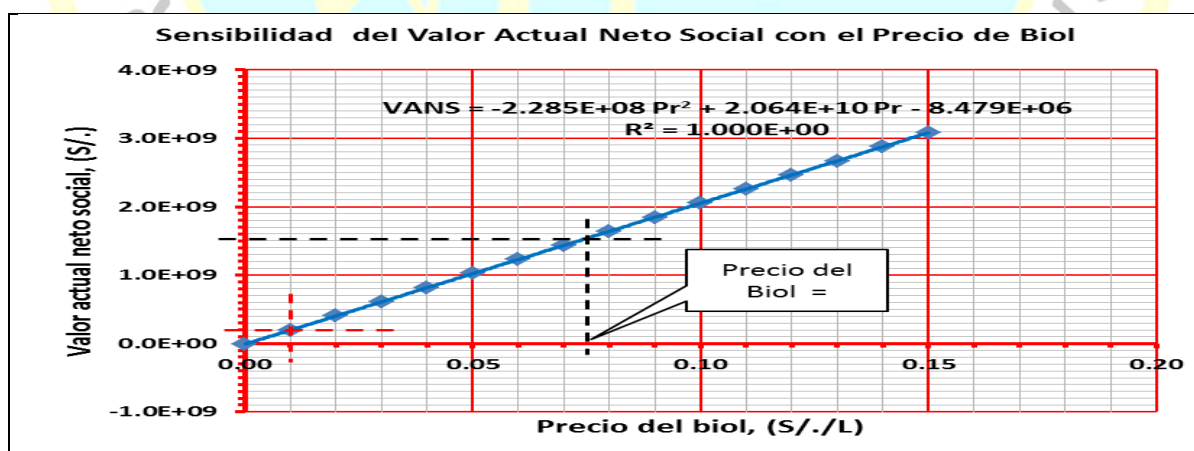


**Tabla 71: Sensibilidad del valor actual neto social, con la variación del precio del biol (13.5 g/L).**

Precio del biol (13.5 g/L) (S./L)	Valor actual neto social (S./)
0.000	-8702483.13
0.010	197415713.00
0.020	403533910.12
0.030	609652106.75
0.040	815770303.37
0.050	1030590983.12
0.060	1228006696.62
0.070	1434124893.25
0.080	1640243089.87
0.090	1846361286.50
0.100	2052479483.12
0.110	2258597679.75
0.120	2464715876.37
0.130	2670834073.00
0.140	2876952269.62
0.150	3083070466.25

Nota: Elaboración propia.

**Figura 49: Sensibilidad del valor actual neto social, con la variación del precio del biol (13.5 g/L).**



Nota: Elaboración propia.

Se mantienen fijos, la tasa anual de crecimiento poblacional en TACP = 1.6%, y los valores asumidos para otras variables.

Es posible observar en la gráfica que para precio del biol referente 13.5 (g sol/L), PB = 0.01 (S./L), el van social sería VANS = S/. 200'000000.00

## 6.2 Recomendaciones

Se ha determinado que la opción tecnológica para lograr los objetivos del presente proyecto es construir una planta de tratamiento de lodos residuales con las siguientes características.

**Tabla 72: Resumen de los componentes de la inversión inicial:**

**Tipo de cambio: 3.3 (S./USD)**

ITE	Descripción	Unidad	Cant	Precio	Inversión
M				(S/.)	(S/.)
1	Terreno eriazo.	Ha	1.5	33000	49500
2	Obras civiles.	m <sup>2</sup>	1500	330	4950000
3	Acelerador líneal múltiple, 5 MeV, 100 KW. Con supervisión de instalación. <sup>(a)</sup>	Equipo	1	8448000	8448000
4	Sistema de dosimetría. <sup>(a)</sup>	Sistema	1	313500	313500
5	Sistema de monitoreo de radiaciones. <sup>(a)</sup>	Sistema	1	231000	231000
6	Sistema de transporte y manejo de limo. <sup>(b)</sup>	Sistema	1	1155000	1155000
7	Camión cisterna (7 m <sup>3</sup> ), 5000 cc.	Vehículo	2	198000	396000
8	Piscinas para almacenar agua irradiada	piscina	5	165000	825000
9	Tanques de almacenamiento de soluciones líquidas, fibra de vidrio, $\phi = 5$ (m), H = 7.5 (m).	tanque	5	99000	495000
10	Herramientas	Kit	10	31350	313500
11	Mobiliario	Pieza	50	330	16500
	<b>SUBTOTAL:</b>				17193000
	Estudios (10% del subtotal)				1719300
	<b>TOTAL:</b>				18'912300

**Nota:** (a) Componentes con características indicadas en la p. 8 de, EB TECH Co., Ltd. (2013).

Proposal of electron accelerator for food and medical supplies treatment.

Como puede observarse en la tabla anterior, la inversión inicial es S/. 18'912300.00

Nuevos soles.

El costo operacional anual total del primer año asciende a la suma de 3'892 503.49 (S./año)

La producción anual de Biol1 (13.5 g sol/L), se ha estimado en el volumen de 18431'135 925.08 (L/año).

El costo unitario en la producción de Biol1, será:

$$\text{Costo unitario} = \frac{3'382503.49 \left(\frac{S/.}{\text{año}}\right)}{18431'135925.08 \left(\frac{L}{\text{año}}\right)} = 0.000211 \left(\frac{S/.}{L}\right)$$

Se ha dado valor monetario al BIOL1, comparándolo por su composición NPK, con la solución fertilizadora PACHACAMAC fabricada por La Molina, la cual tiene un precio de 0.075 (S./L). El Biol1 es de mucha mayor calidad.

La evaluación financiera arroja un VAN = S/. 1208'739650.09, un TIR = 580.42 (%), cuando consideramos el precio del Biol1 en Pr =0.075 (S./L).

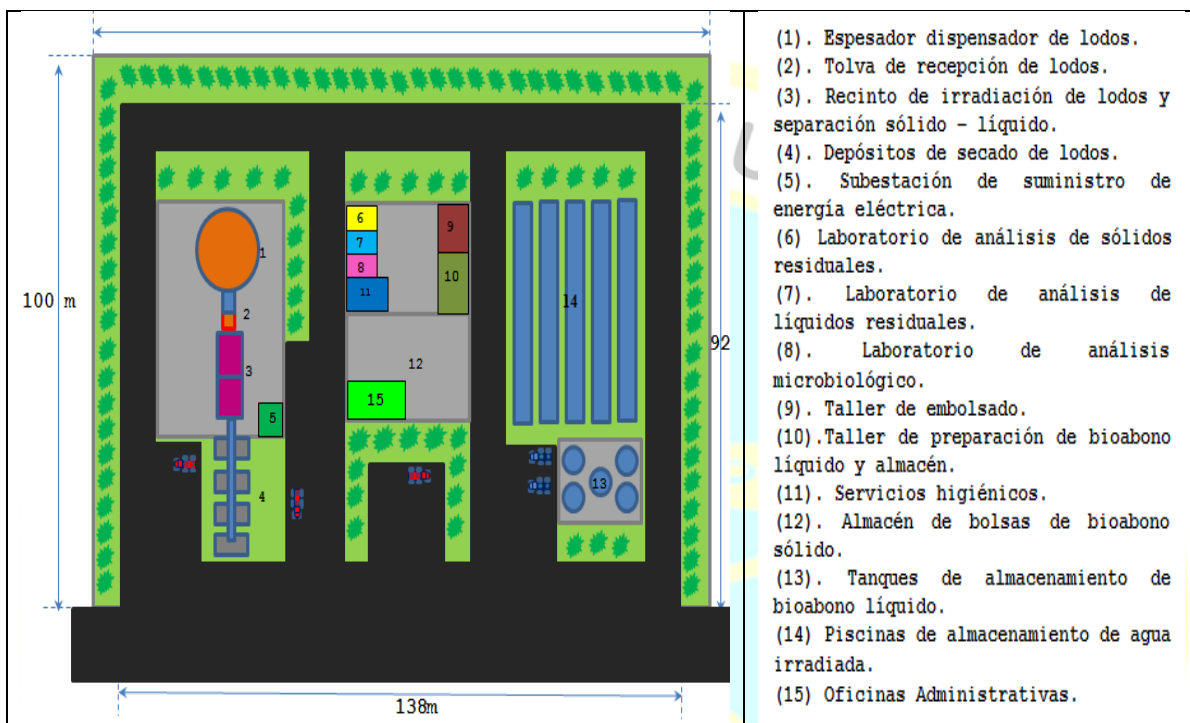
El análisis de sensibilidad del VAN con el precio del BIOL1, nos proporciona el dato que con un precio del Biol1 de 0.01 (S./L), se obtiene un TIR = 61.29 (%) y un VAN = S/. 110'129 662.46, indicándonos que este sería el precio ideal de competencia del Biol1.

La evaluación social del proyecto arroja los siguientes resultado, para en año1:

- Costo operacional total anual social = 861 850 (S./año).
- Costo operacional total anual social actual = 790 688.07 (S./año).
- Habitantes beneficiados = 187923 (hab ben.).
- Potencial de fertilización = 73843.59 (ha-año).
- Promedio de Ratio Costo/Eficacia (hab ben.) = 1.64 (S./hab/año).
- Promedio de Ratio Costo/Eficacia (S./Ha/año) = 4.17 (S./Ha/año).
- El Valor Actual Neto Social = S/. 1537'183 992.56.

Una primera idea para la distribución arquitectónica de la planta se muestra en la Figura

**Figura 50: Esquema vista de planta de la planta de tratamiento de lodos generados por la planta de tratamiento de aguas residuales municipales de Huacho.**



**Nota:** Elaboración propia.

(www.googleearth.com. Ubicación de la ciudad de Huacho en la Costa del Perú, 2017)

(Andrade Espinoza, Preparación y evaluación de proyectos., 2002)

## REFERENCIAS

- Alianza por el Agua;. (2008). *Monográficos Agua en Centroamérica [3]*. Ideasmares.
- Andrade Espinoza, S. (2002). *Preparación y evaluación de proyectos*. Lima, Perú: Editorial y Librería Lucero S. R. L.
- Andrade Espinoza, S. (2002). *Preparación y evaluación de proyectos*. Lima,,: Editorial y Librería Lucero S. R. L.
- Aparcana Robles, S., & Jansen, A. (2008). *Estudios sobre el valor fertilizante de los productos del proceso de fermentación anaeróbica para producción de biogás. German professional energy and enviromental consultancy. Técnico, Professional energy and environmental consultancy*, Lima, Perú.
- Baca Urbina, G. (2007). *Fundamentos de ingeniería económica* (Vol. 1). México: McGraw-Hill/Interamericana S.A. Recuperado el 9 de Junio de 2015, de <http://librosgratisxd.com/fundamentos-de-la-ingenieria-economica/>
- Barrenechea Martel, A. (s. f.). *Capítulo 1: Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua*. (Vol. 1). Obtenido de <http://docplayer.es/14293212-Capitulo-1-aspectos-fisicoquimicos-de-la-calidad-del-agua.html>.
- Chmielewski, A. G., Zimek, Z., Bryl-Sandelewska, T., Kosmal, W., Kalisz, L., & Kaimierczuk, M. (1995). Disinfection of municipal sewage sludge in installation equipped with electron accelerator. (Pergamon, Ed.) *Rad. Phys. Chem.*, 46(4-6).
- Cleland, M. R. (1997). Physical aspects of radiation processing. *Interregional training course on developments in the application of electron beams in the industry and environmental protection* (pp. 1-5). Warsaw, Poland: Instituto of Nuclear Chemistry and Technology. Retrieved Mayo 24, 2005, from <http://cas.web.cern.ch/cas/Holland/PDF-lectures/Clela>
- Cleland, M. R. (2005). Application of radiation processing. En I. t. group (Ed.), *Industrial application of electron accelerators* (págs. 1-135). Zeegse, Netherlands: CERN accelerator School.
- Colectores, Xerais;. (2005). Recuperado el 20016, de <http://studylib.es/doc/5274784/%C3%ADndice-anejo-n%C2%BA-5---estudio-de-demograf%C3%ADa-y-caudales>
- Collazos, C. J. (2008). Tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales [diapositivas]. *Tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales* (págs. 1-49). Cali: Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de [https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2013-09-07\\_10-54-35TRATAMIENTO\\_DE\\_AGUAS\\_R](https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2013-09-07_10-54-35TRATAMIENTO_DE_AGUAS_R)
- EB-TECH Co. Ltd.:. (2013). *Proposal of electron accelerator for food and medical supplies treatment*. Técnico, EB-TECH Co. Ltd., 550 Yonsang-dong Yuseong-gu, Daejeon 305-500, Korea.

- Farooq, S., Kurucz, C., Waite, T. D., & Cooper, W. J. (1993). *Disinfection of wastewaters: High-energy electron Vs. gamma irradiation*. King Fahd University of petroleum and minerals, Civil engineering. Dhahran 31261, Saudi Arabia: Pergamon Press Ltd.
- Grupo de Investigación de Ingeniería Ambiental y energética (GIAYE). (2008). *Estudio de valorización de lodos de estaciones depuradoras de aguas residuales urbanas, Municipio de Las Palmas, Gran Canaria*. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria., Ingeniería de procesos. Gran Canaria: Universidad La Palma de Gran Canaria. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/125643552/41-ESTUDIO-DE-LODOS-DE-DEPURADORA-1-pdf>.
- Han, B., Kim, J. K., & Kim, Y. (2009). Cost assessment of electron beam wastewater treatment. In Eb.Tech (Ed.), *International Topical Meeting on Nuclear Research Applications and Utilization of Accelerators*. Vienna, Austria. Retrieved Mayo 4, 2016, from [http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/P1433\\_CD/datasets/presentations/SM-EB-23.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/P1433_CD/datasets/presentations/SM-EB-23.pdf).
- Han, B., Kim, J., & Kim, Y. (2006). *Application and economics of electron beam wastewater treatment*. International Atomic Energy Agency. IAEA Publications. Retrieved from <http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/P1251-cd/papers/6.pdf>.
- Hashimoto, S., Nishimura, K., Kawakami, W., & Watanabe, H. (1986). Disinfection of Sewage Sludge Cake by an Electron Accelerator. Takasaki Radiation Chemistry Research Establishment, Japan Atomic Energy Research Institute, Takasaki., (F. T. J., Ed.) 64(4), 299-304.
- [http://www.eb-tech.com/?page\\_id=120.\(17/Jun/2017\)](http://www.eb-tech.com/?page_id=120.(17/Jun/2017)). (s.f.). *eb-Tech*. (EB-TECH, Editor) Recuperado el 17 de Junio de 2017, de [http://www.eb-tech.com/?page\\_id=120.\(17/Jun/2017\)](http://www.eb-tech.com/?page_id=120.(17/Jun/2017)).
- <https://es.wikipedia.org/wiki/Huacho>. (21 de Junio de 2017). *Wikipedia*. Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Huacho>.
- <https://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/medio-ambiente/>. (s.f.). *www.inei.gob*. (I. N. Estadística, Editor) Obtenido de <https://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/medio-ambiente/>
- Kim, Y., Han, B., & Kim, J. K. (2005). *Disinfection of total coli-forms in the effluent from municipal wastewater plant with electron beam*. EB-TECH Co., Ltd. IAEA Publications. Retrieved Mayo 14, 2015, from <http://www-naweb.iaea.org/naweb/physics/meetings/dubrovnik2005/papers/38.pdf>.
- Kim, Y., Han, B., Kim, J. K., & Yaacov, N. B. (2009). Design of electron beam higienization plant. In EB-TECH (Ed.), *International topical meeting on nuclear research applications and utilization of accelerators* (pp. 1-34). Vienna, Austria: EB-TECH. Retrieved from [http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/P1433\\_CD/datasets/presentations/SM-EB-25.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/P1433_CD/datasets/presentations/SM-EB-25.pdf) sludge higienization plant.

- Kim, Y., Han, B., Kim, J. K., & Yaacov., N. B. (2009). Design of electron beam higienization plant. *International topical meeting on nuclear research applications and utilization of accelerators* (p. 34). Vienna, Austria: EB-TECH. Retrieved Febrero 8, 2015, from [http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/P1433\\_CD/datasets/presentations/SM-EB-25.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/P1433_CD/datasets/presentations/SM-EB-25.pdf) sludge higienization plant. International Topical Meeting on Nuclear resear
- Limón Macías, J. G. (2013). *Los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, ¿problema o recurso?* Guadalajara, Jalisco, México. Recuperado el 5 de Mayo de 2014, de .  
[http://www.ai.org.mx/ai/images/sitio/201309/ingresos/jglm/doc\\_ingreso\\_gualberto\\_limon\\_trabajo](http://www.ai.org.mx/ai/images/sitio/201309/ingresos/jglm/doc_ingreso_gualberto_limon_trabajo)
- Maruthi, Y. A., Das, N. L., Hossain, K., Sarma, K. S., Rawat, K. P., & Sabharwal, S. (2011). *Disinfection and reduction of organic load of sewage water by electron beam radiation. Radiation Technology Development Division of the Bhabha.* (Springerlink.com, Ed.)
- Mendez Vega, J. P., & Marchán Peña, J. (2008). *Diagnóstico situacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en las (EPSS) del Perú y propuestas de solución.* Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento. Av. Bernardo Monteagudo 210, Magdalena del Mar, Lima 17, Perú: SUNASS.
- Mineral, Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición;. (2015). *Solución hidropónica La Molina.* Universidad Nacional Agraria La Molina., Lima, Perú. Obtenido de <http://www.lamolina.edu.pe/hidroponia/solucion1.htm>.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (Junio de 2006). *www.urbanistas peru.org.*
- Ministerio del Medio Ambiente, Senamhi. (2015). Boletín hidrometeorológico Región Lima. Jesús María, Lima,, Perú. Obtenido de <http://docplayer.es/14746389-Boletin-hidrometeorologico-de-la-direccion-regional-de-lima.htm>
- Perú, Ministerio de Economía y Finanzas. (2011). *Pautas para la identificación, formulación y evaluación social de proyectos de inversión pública a nivel de perfil.* Obtenido de <https://www.yumpu.com/>:  
<https://www.yumpu.com/es/document/view/14339886/pautas-para-la-identificacion-formulacion-y-evaluacion-social-de-proyectos-de-inversion-publica-a-nivel-de-perfil>
- Perú, Ministerio de Economía y Finanzas;. (2015). *Guía general para la identificación, formulación y evaluación social de proyectos de inversión pública a nivel de perfil.* Lima: Dirección General de Inversión Pública.
- Perú, Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento;. (8 de Junio de 2006). *Urbanistas del Perú.* Obtenido de <http://urbanistasperu.org>
- Premierato Consejo de Ministros. (24 de 07 de 2004).  
<http://sial.segat.gob.pe/normas/reglamento-ley-general-residuos-solidos>. Obtenido de <http://sial.segat.gob.pe/normas/reglamento-ley-general-residuos-solidos>

- Rojas, R. (2002). Curso Internacional: Gestión integral de tratamiento de aguas residuales. En CEPIS/OPS-OMS. (Ed.), *Sistemas de tratamiento de aguas residuales* (págs. 1-19). CEPIS/OPS-OMS. Obtenido de <http://docplayer.es/11882686-Conferencia-sistemas-de-tratamiento-de-aguas-residuales.html>.
- Rojas, R. (2002). Curso Internacional: Gestión integral de tratamiento de aguas residuales. En CEPIS/OPS-OMS (Ed.), *Sistemas de tratamiento de aguas residuales* (págs. 1-19). CEPIS/OPS-OMS. Obtenido de <http://docplayer.es/11882686-Conferencia-sistemas-de-tratamiento-de-aguas-residuales.html>.
- Sampa, M. H., Takács, E., Gehringer, P., Rela, P. R., Ramirez, T., Amro, H., & Han, B. e. (2007). Remediation of polluted waters and wastewaters by radiation processing. *NUKLEONIKA*, 52(4), 137-144. Obtenido de [https://www.academia.edu/1872356/Remediation\\_of\\_po](https://www.academia.edu/1872356/Remediation_of_po)
- Strydom, W., Parker, W., & Olivarez, M. (2012). Radiation oncology physics. En I. 9.-0.-1.-6. IAEA Publications (Ed.). Pretoria, South Africa. Obtenido de <http://docplayer.net/26196034-Chapter-8-electron-beams-physical-and-clinical-aspects.html>.
- Urbanistas Perú. (2006). *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima: El Peruano, pp. 320472-321216. . Obtenido de <http://geo.vivienda.gob.pe/dnv/documentos/RNE/RNE.pdf>.
- Wikipedia. (21 de Junio de 2017). Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Huacho>
- Wikipedia. (17 de Junio de 2017). Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Huacho>
- Wikipedia. (2017). *Provincia de Huaura*. Recuperado el 21 de Junio de 2017, de [https://es.wikipedia.org/wiki/Provincia\\_de\\_Huaura](https://es.wikipedia.org/wiki/Provincia_de_Huaura).
- [www.googleearth.com](http://www.googleearth.com). Ubicación de la ciudad de Huacho en la Costa del Perú. (2017).



## ANEXOS

### Anexo A1: Distribución de dosis de haces electrónicos

Cuando una partícula cargada penetra a través de un medio, pierde energía al ionizar el medio y al emitir radiación de frenado. Este fenómeno se mide mediante una magnitud física denominada poder lineal de atenuación, que se define por la ecuación siguiente.

$$L(E) = - \frac{dE}{dl} \quad (a1 - 1)$$

El poder lineal de atenuación de la energía de los electrones al atravesar un medio material e frenado, es una función de la energía directamente proporcional a la densidad (D) y número atómico (Z) de la sustancia e inversamente proporcional a la masa atómica (A) de la misma. Todo este factor multiplica a una función f (E, I) donde E es la energía cinética del electrón e I es el potencial de ionización promedio de la sustancia.

$$- \frac{dE}{dl} = \left( \frac{D Z}{A} \right) f(E, I) \quad (a1 - 2)$$

La energía total depositada en el medio por ionización o radiación, es dada por la expresión genérica.

$$E = \left( \frac{D Z}{A} \right) \int_{\Delta}^{E_0} f(E, I) \left( \frac{dx}{dE} \right) dE \quad (a1 - 3)$$

Combinando las ecuaciones (a1-1) y (a1-2), podemos encontrar una expresión genérica para representar el recorrido de los electrones desde que poseen una energía inicial  $E_0$  hasta que tienen la energía mínima no ionizante  $\Delta$ .

$$R = \left( \frac{A}{D Z} \right) \left[ - \int_{E_0}^{\Delta} \frac{dE}{f(E, I)} \right] \quad (a1 - 4)$$

Donde,

R: recorrido del electrón, (m).

D: densidad del medio, (Kg/m<sup>3</sup>).

Z: número atómico del medio, (elec/átomo)

A: masa atómica del medio, (nucleones/átomo).

E: energía del electrón, (MeV).

I: energía media de excitación del medio, (eV).

E<sub>0</sub>: energía inicial del electrón, (MeV).

Δ: energía mínima no ionizante del electrón, (MeV).

f(E, I): función de la energía característica del poder de atenuación lineal.

En las soluciones acuosas como el cake considerado, los átomos que participan son livianos y el potencial de excitación varía muy poco entre ellos. Así mismo, la fracción (Z/A) varía muy poco entre los átomos que participan. Por esta razón podemos considerar con buena aproximación que las energías depositadas en el medio durante la irradiación y los rangos alcanzados dentro del medio, para soluciones acuosas, difieren de aquellas medidas para el agua, en un factor donde interviene la densidad relativa de solución acuosa respecto al agua

Si tenemos datos característicos de distribución de energía de electrones en función de la penetración de los electrones en agua, podemos obtener una buena estimación de la energía y la penetración electrónica en otra sustancia, que es solución acuosa, cuya densidad relativa característica se conoce, usando las siguientes expresiones.

$$E_{sol} = (DR_{sol}) E_{ag} \quad (a1 - 5)$$

$$R_{sol} = \left( \frac{1}{DR_{sol}} \right) R_{ag} \quad (a1 - 6)$$

Donde,

E<sub>sol</sub>: energía característica depositada en la solución acuosa, (MeV).

E<sub>ag</sub>: energía característica depositada en agua, (MeV).

R<sub>sol</sub>: penetración característica de los electrones en la solución acuosa, (cm).

R<sub>ag</sub>: penetración característica de los electrones en agua, (cm).

DR<sub>sol</sub>: densidad relativa de la solución respecto al agua.

La distribución de la energía de los electrones en el interior de la sustancia irradiada tiene la siguiente distribución.

Los rangos y energías características de la distribución interna de energía absorbida en el interior de un medio irradiado por un haz de electrones mono energético son:

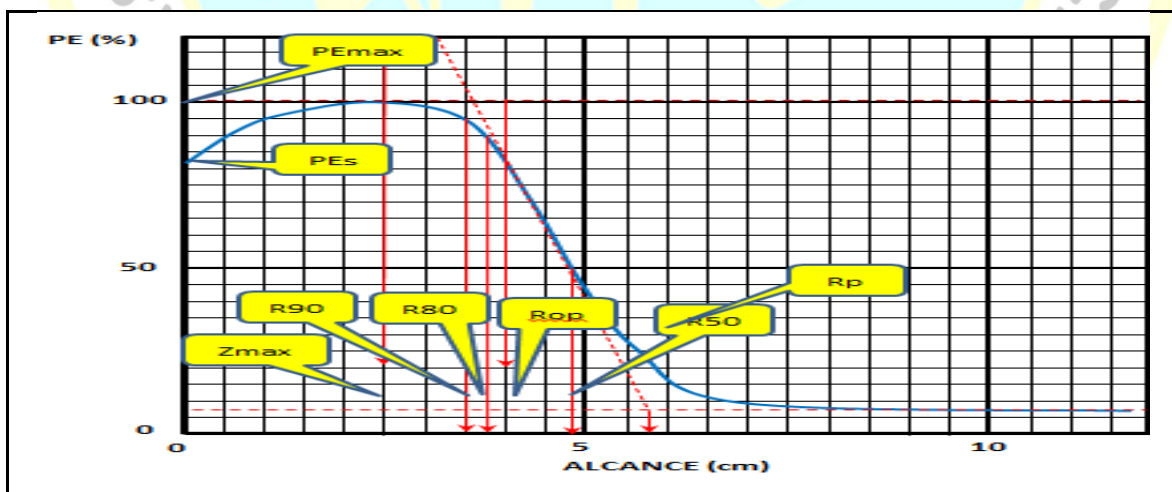
**Energía más probable ( $E_p$ ):** Es la máxima energía de la distribución.

**Energía media superficial ( $E_s$ ):** Es la energía media absorbida en la superficie de incidencia del haz de electrones

**Rango de la energía más probable ( $Z_{max}$ ):** es la profundidad en el medio irradiado, a la cual ocurre la energía absorbida más probable

**Rango 90% ( $R_{90}$ ):** es la profundidad en el medio irradiado, a la cual ocurre la energía absorbida equivalente al 90% de la energía más probable.

**Figura 51: Diagrama mostrando los rangos característicos de un haz de electrones mono energético en una sustancia.**



**Nota:** Elaboración propia.

**Rango 80% ( $R_{80}$ ):** es la profundidad en el medio irradiado, a la cual ocurre la energía absorbida equivalente al 80% de la energía más probable.

**Rango óptimo (Rop):** es la profundidad en el medio irradiado, a la cual ocurre la energía absorbida equivalente a la energía promedio superficial.

**Rango 50% (R50):** es la profundidad en el medio irradiado, a la cual ocurre la energía absorbida equivalente al 50% de la energía más probable.

**Rango práctico (Rp):** es la profundidad en el medio irradiado, a la cual ocurre la intersección entre la tangente a la distribución energía absorbida en R50 y el fondo de radiación.

En la Tabla 71: se ha confeccionado con los datos reportados por (Strydom, Parker, & Olivarez, 2012, pág. 35), para la sustancia agua irradiada con haces electrónicos de diferentes energías nominales.

**Tabla 73: Rangos característicos en agua, de haces electrónicos de diferentes energías.**

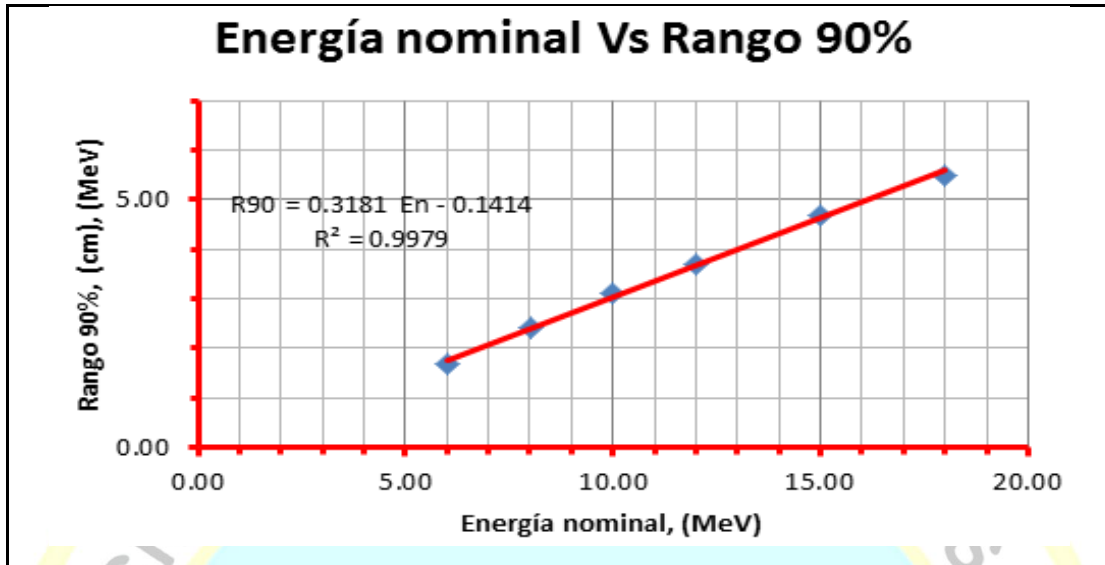
Energía nominal	Rango 90%, R90	Rango 80%, R80	Rango 50%, R50	Rango práctico, Ro	Energía, Es	Energía más probable, Ep
(MeV)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(MeV)	(MeV)
6.00	1.70	1.80	2.20	2.90	5.60	6.91
8.00	2.40	2.60	3.00	4.00	7.20	8.67
10.00	3.10	3.30	3.90	4.80	9.20	10.70
12.00	3.70	4.10	4.80	6.00	11.30	12.56
15.00	4.70	5.20	6.10	7.50	14.00	15.22
18.00	5.50	5.90	7.30	9.10	17.40	18.13

**Nota:** Extraído de Strydom, W et al, p. 35, 2012..

De la Tabla 73, se puede obtener las siguientes correlaciones de diferentes rangos típicos como función de la energía nominal del haz de electrones.

**A. Rango 90%**

**Figura 52: Gráfica del Rango 90% Vs Energía de los electrones del haz, en agua.**



Nota: Elaboración propia.

Para agua:

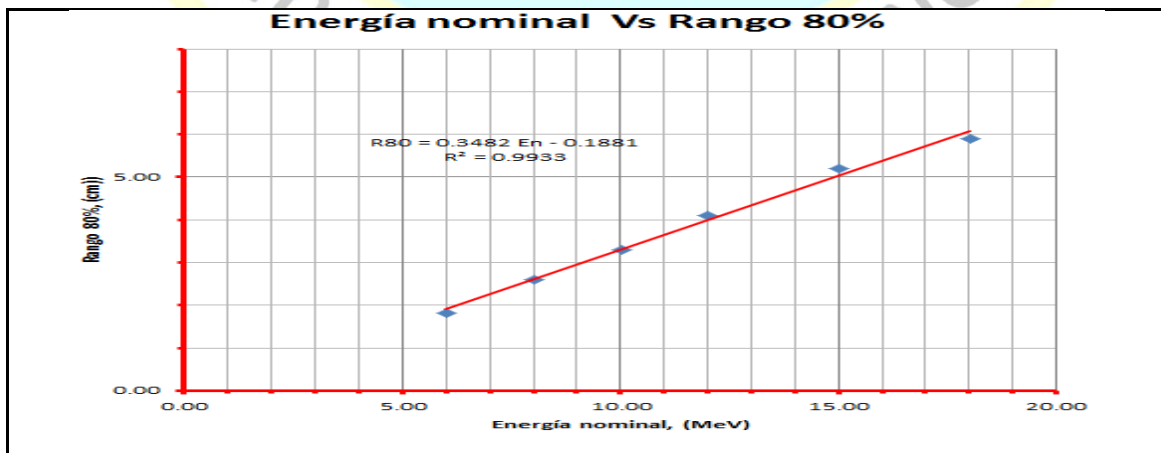
$$R_{90_{ag}} = 0.3181 E_n + 0.1414 \quad (a1 - 7)$$

Para una solución acuosa de densidad relativa  $DR_{sol}$ :

$$R_{90_{sol}} = \frac{0.3181 E_n + 0.1414}{DR_{sol}} \quad (a1 - 8)$$

**B. Rango 80%**

**Figura 53: Gráfica del Rango 80% Vs Energía de los electrones del haz, en agua.**



Nota: Elaboración propia.

Para agua:

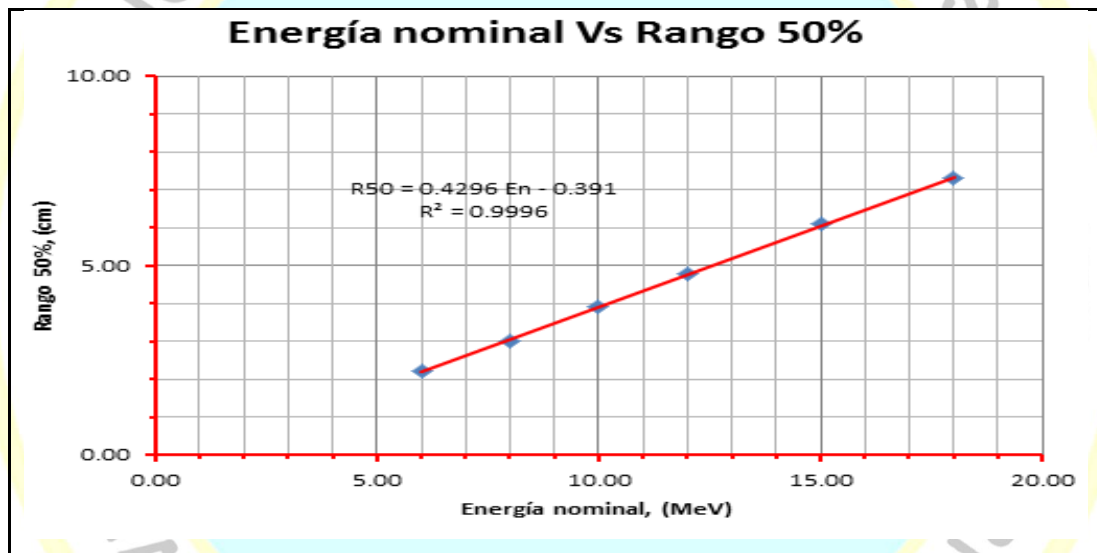
$$R80_{ag} = 0.3382 E_n + 0.1881 \quad (a1 - 9)$$

Para una solución acuosa de densidad relativa  $DR_{sol}$ :

$$R80_{sol} = \frac{0.3382 E_n + 0.1881}{DR_{sol}} \quad (a1 - 10)$$

### C. Rango 50%

Figura 54: Gráfica del Rango 50% Vs Energía de los electrones del haz, en agua.



Nota: Elaboración propia.

Para agua:

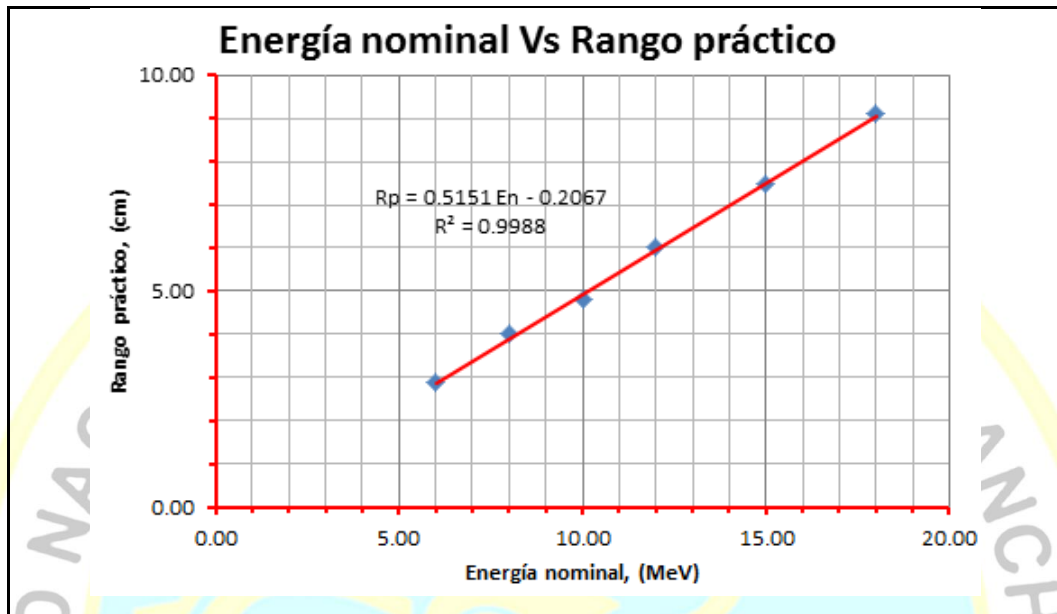
$$R50_{ag} = 0.4296 E_n - 0.391 \quad (a1 - 11)$$

Para una solución acuosa de densidad relativa  $DR_{sol}$ :

$$R50_{sol} = \frac{0.4296 E_n - 0.391}{DR_{sol}} \quad (a1 - 12)$$

#### D. Rango práctico

Figura 55: Gráfica del Rango Práctico Vs Energía de los electrones del haz, en agua.



Nota: Elaboración propia.

Para agua:

$$RP_{ag} = 0.5151 E_n - 0.2067 \quad (a1 - 13)$$

Para una solución acuosa de densidad relativa  $DR_{sol}$ :

$$RP_{sol} = \frac{0.5151 E_n + 0.20675}{DR_{sol}} \quad (a1 - 14)$$

#### E. Rango óptimo

Según (Cleland M. R., 1997, p. 2), el rango óptimo de una sustancia para irradiación electrónica por una sola cara, corresponde a una energía depositada igual a la energía superficial de entrada. Para agua, si la energía nominal de los electrones es  $E_n$ , expresada en (MeV), el rango óptimo expresado en (cm) es dado por la siguiente correlación.

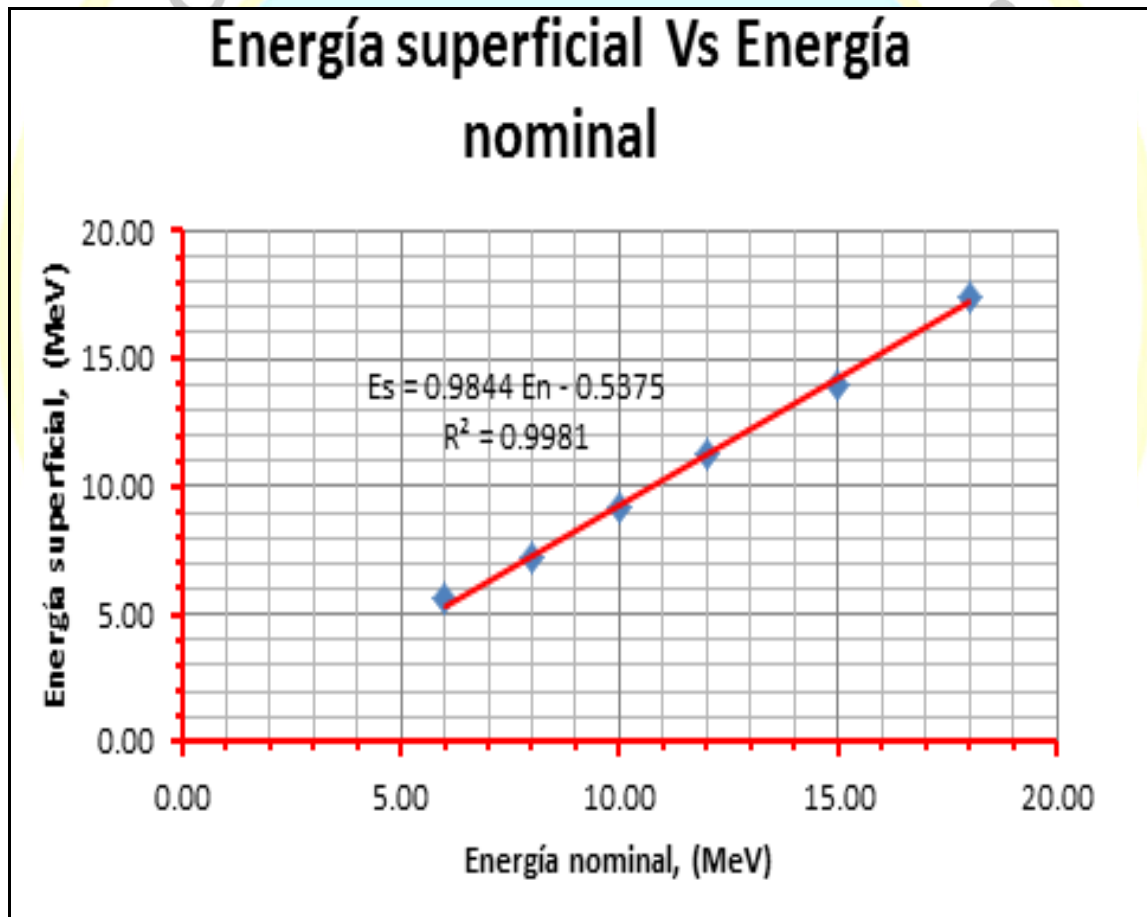
$$ROP_{ag} = 0.33 En - 0.066 \quad (a1 - 15)$$

Para una solución acuosa de densidad relativa  $DR_{sol}$ :

$$ROP_{sol} = \frac{0.33 En - 0.066}{DR_{sol}} \quad (a1 - 16)$$

### F. Porcentaje de dosis superficial

Figura 56: Gráfica de la Energía Superficial Vs Energía Nominal de los electrones del haz, en agua.



Nota: Elaboración propia.

Para agua:

$$ES_{ag} = 0.9844 En - 0.5375 \quad (a1 - 17)$$

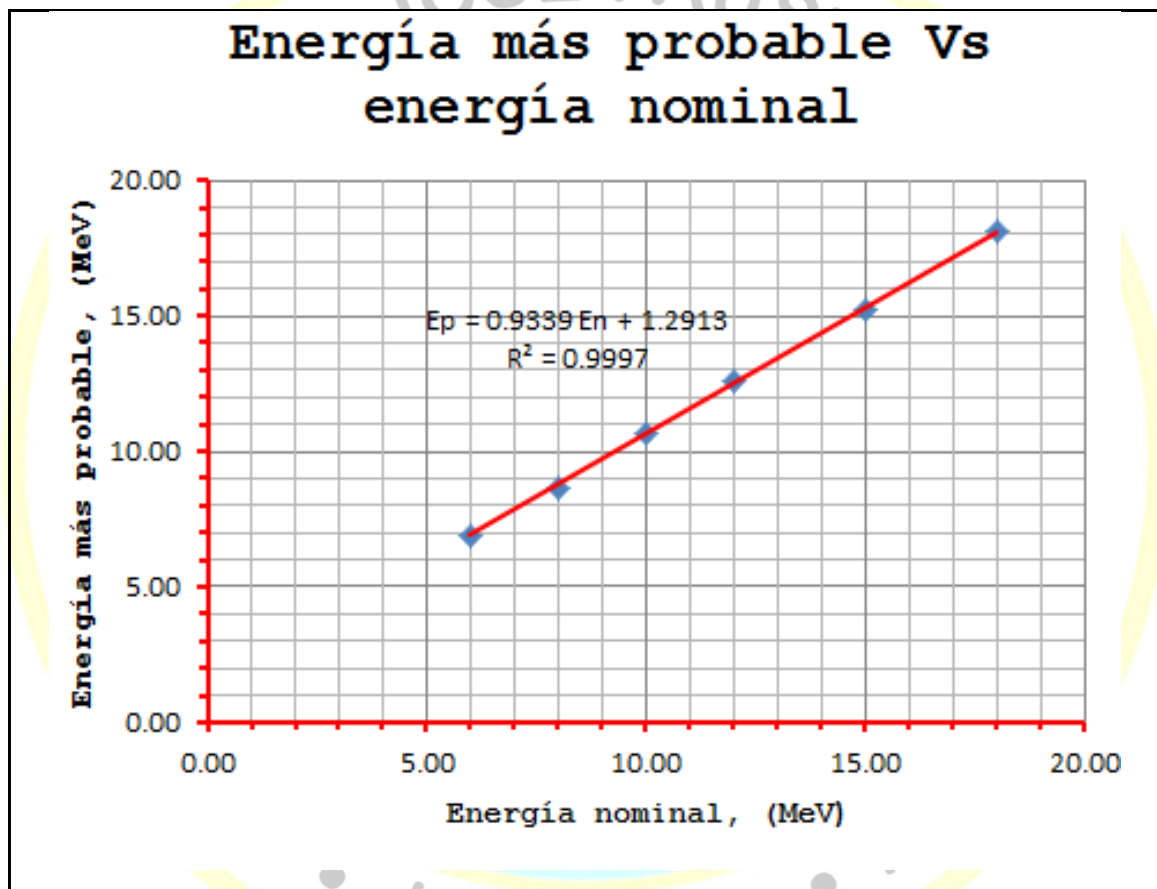


Para una solución acuosa de densidad relativa  $DR_{sol}$ :

$$ES_{sol} = DR_{sol} (0.9844 E_n - 0.5375) \quad (a1 - 18)$$

### G. Energía más probable

Figura 57: Gráfica del Energía más Probable Vs Energía Nominal de los electrones del haz, en agua.



Nota: Elaboración propia.

Para agua:

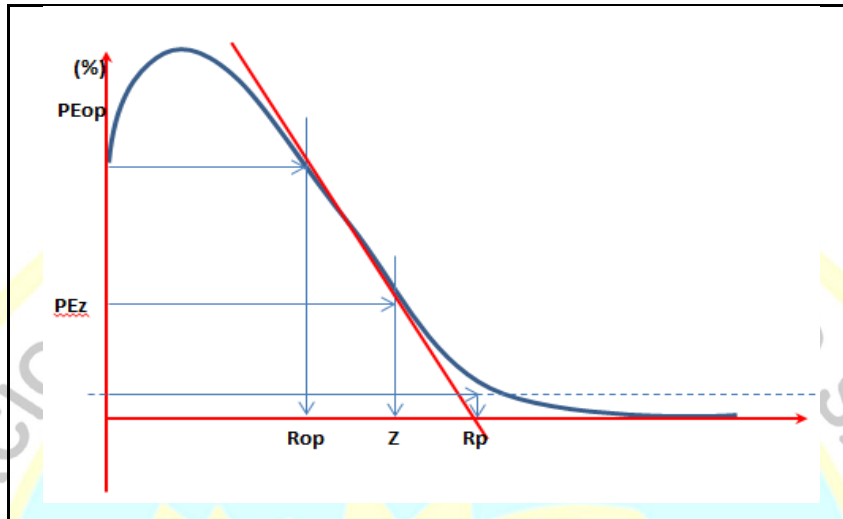
$$EP_{ag} = 0.9339 E_n + 1.2913 \quad (a1 - 19)$$

Para una solución acuosa de densidad relativa  $DR_{sol}$ :

$$EP_{sol} = DR_{sol} (0.9239 E_n + 1.2913) \quad (a1 - 20)$$

**H. Rango posterior al rango óptimo**

**Figura 58:** Gráfica mostrando la Energía correspondiente al Rango Z, Posterior al rango Óptimo.

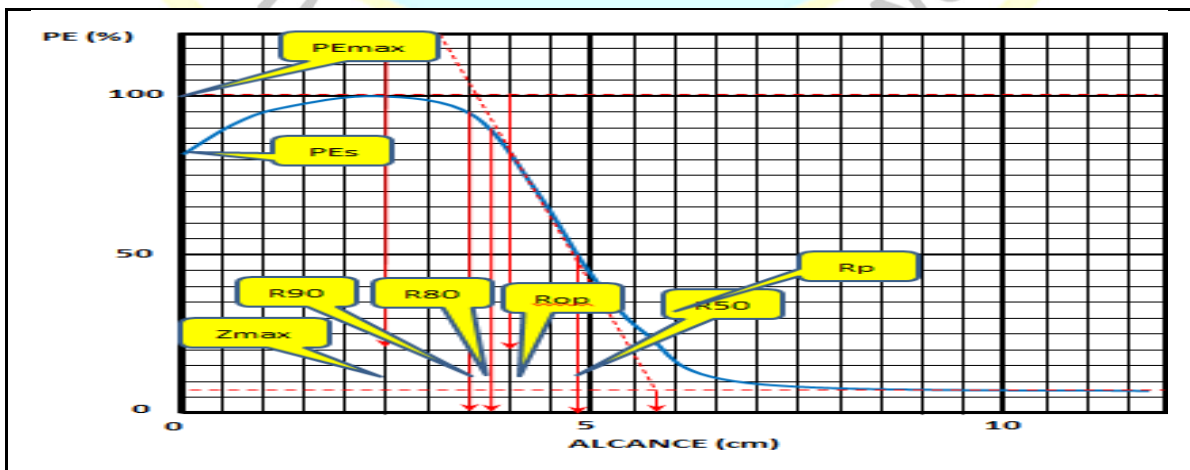


**Nota:** Elaboración propia.

Considerando la geometría de la gráfica adjunta, los puntos posteriores al rango óptimo R<sub>op</sub>, poseen la energía E<sub>z</sub>, dada por la siguiente ecuación.

$$PE_z = PE_{op} \left( \frac{R_p - z}{R_p - R_{op}} \right) \quad (a1 - 21)$$

**Figura 59:** Energías y rangos característicos de haces electrónicos en el interior de sustancias



**Nota:** Elaboración propia.

## Anexo A2: Densidad de mezclas acuosas para fabricar bioles

Para hallar la composición de un biol, cuya concentración de sólidos secos es predeterminada, es necesario tener en cuenta la operación de fabricación del biol a partir de bioabono sólido seco. La operación consistirá en colocar una masa predeterminada  $M_s$  (g) de bioabono sólido seco en un recipiente de capacidad suficiente, luego agregar agua confeccionando una mezcla, hasta enrazar al volumen de mezcla  $V_m$  (L). Es necesario tomar en cuenta la densidad del agua es  $D_a = 1 \text{ (g/cm}^3\text{)} = 1000 \text{ (g/L)} = 1000 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$ , y la densidad del bioabono sólido seco  $D_s = 1.6 \text{ (g/cm}^3\text{)} = 1600 \text{ (g/L)} = 1600 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$ .

$$M_m = M_s + M_a \quad (a2 - 1)$$

$$V_m = V_s + V_a \quad (a2 - 2)$$

Utilizando la expresión para la densidad para una sustancia homogénea. La expresión (a2-1) queda expresada del siguiente modo.

$$D_m V_m = D_s V_s + D_a V_a \quad (a2 - 3)$$

Dividimos ambos miembros de la expresión (a2-3), entre el volumen  $V_m$  de la mezcla

$$D_m = D_s \left( \frac{V_s}{V_m} \right) + D_a \left( \frac{V_a}{V_m} \right) \quad (a2 - 4)$$

Las expresiones  $(V_s/V_m)$  y  $(V_a/V_m)$  son las fracciones volumétricas de sólidos  $f_{vs}$  y agua  $f_{va}$ , respectivamente, que satisfacen la relación siguiente.

$$f_{vs} + f_{va} = 1 \quad (a2 - 5)$$

Reemplazando (a2-5) en (a2-4), obtenemos la expresión para la densidad de la mezcla.

$$D_m = f_{vs} D_s + f_{va} D_a$$

$$D_m = f_{vs} D_s + (1 - f_{vs}) D_a \quad (a2 - 6)$$

Por otro lado, tomando como base la expresión (a2-2) y utilizando la expresión para la densidad para una sustancia homogénea. La expresión (a2-2) queda expresada del siguiente modo.

$$\frac{Mm}{Dm} = \frac{Ms}{Ds} + \frac{Ma}{Da} \quad (a2 - 7)$$

Dividiendo ambos miembros de (a2-7), entre la masa de la mezcla, resulta

$$\frac{1}{Dm} = \frac{\left(\frac{Ms}{Mm}\right)}{Ds} + \frac{\left(\frac{Ma}{Mm}\right)}{Da} \quad (a2 - 8)$$

Las expresiones  $(Ms/Mm)$  y  $(Ma/Mm)$  son las fracciones másicas de sólidos  $fms$  y agua  $fma$ , respectivamente, que satisfacen la relación siguiente.

$$fms + fma = 1 \quad (a2 - 9)$$

Reemplazando (a2-9) en (a2-8), obtenemos la expresión para la densidad de la mezcla.

$$\frac{1}{Dm} = \frac{fms}{Ds} + \frac{fma}{Da}$$

$$\frac{1}{Dm} = \frac{fms}{Ds} + \frac{(1 - fms)}{Da} \quad (a2 - 10)$$

De la expresión (a2-8), podemos obtener la expresión.

$$\frac{1}{Dm} = \frac{\left(\frac{Ms}{Dm Vm}\right)}{Ds} + \frac{\left(\frac{Ma}{Dm Vm}\right)}{Da}$$

$$1 = \frac{\left(\frac{Ms}{Vm}\right)}{Ds} + \frac{\left(\frac{Ma}{Vm}\right)}{Da} \quad (a2 - 11)$$

Donde

Ds: densidad del sólido seco, (g/L).

Da: densidad del agua, (g/L).

Ms: masa del sólido seco utilizada en la fabricación de la mezcla, (g).

Ma: masa de agua utilizada en la fabricación de la mezcla, (g).

Mm: masa de la mezcla, (g).

Vs: volumen del sólido, (L).

Va: volumen del agua, (L).

Vm: volumen de la mezcla, (L).

También, aplicando la definición de densidad promedio, se cumple la relación siguiente.

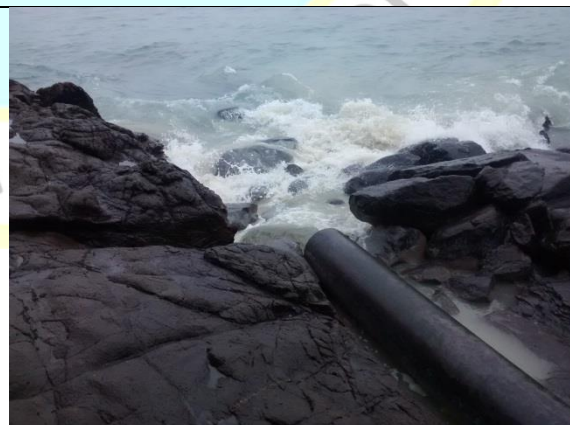
$$Dm = \frac{Mm}{Vm} = \left( \frac{Ma + Ms}{Vm} \right) \quad (a2 - 12)$$

### Anexo A3: Imágenes de botaderos y emisores, disposición de lodos residuales

**Figura 60: Botaderos de residuos sólidos y emisores de aguas residuales municipales de la Ciudad de huacho - 2015.**



Emisor de aguas residuales municipales bajo el puente Huaura



Emisor de aguas residuales municipales en el Boquerón de la Viuda



Botadero municipal de residuos sólidos (entrada Sur de la Ciudad de huacho)

Botadero municipal de residuos sólidos (entrada Sur de la Ciudad de huacho)

**Figura 61: Utilización de abonos sólidos y bioles en plantaciones.**



Máquina boleadora de biosólidos producidos en el tratamienrto terciario de lodos residuales

Plantación de maíz de tres meses, abonada con bioabono sólido producido en el tratamiento de lodos residuales

Disposición de bioles en monorrelleno.

**Nota:** Fotos recuperadas de las pp. 15, 27, 32 de, Limón Macías, J., G. (2013).

**Figura 62: Fotografía satelital del delta del Río Huaura, donde se aprecia la zona contaminada de color marrón, que contrasta con el color azulado del agua de mar**



**Nota:** Google earth (2017). Imagen satelital de la costa de Huacho. [www.googleearth.com](http://www.googleearth.com)

## **Anexo A4: Tratamiento aeróbico de aguas residuales municipales**

### **A) Aspectos comparativos entre el tratamiento aeróbico y anaeróbico.**

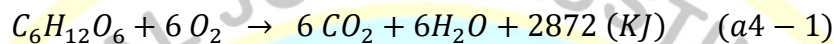
Para sintetizar una unidad de masa celular, aeróbica o anaeróbicamente, se requiere la misma cantidad de energía (20.9 KJ/g biomasa), y las mismas cantidades de carbono, hidrógeno, nitrógeno, fósforo y demás nutrientes.

La energía obtenida, por transferencia de electrones, en el proceso aeróbico es mucho mayor que en el proceso anaeróbico, por tanto el proceso aeróbico produce mucho mayor

biomasa. Esto, hace más difícil, mantener poblaciones microbianas grandes en condiciones anaeróbicas.

En forma muy simplificada se puede comparar ambos procesos de oxidación, mediante la oxidación de la glucosa.

**En la descomposición aeróbica:**



De la ecuación anterior se deduce que un mol de glucosa equivalente a 180 (g gluc.), demandan 6 moles de oxígeno equivalentes a 192 (g oxig.) y producen 2872 (KJ) de energía, o sea 1 (g gluc.) produce 15.96 (KJ) de energía. Suponiendo que el 50% de la energía producida está disponible para ser usada en la síntesis celular y que la energía necesaria para producir biomasa es 20.9 (KJ/g biomasa), la producción aeróbica de biomasa será.

$$PB = \frac{EO \left( \frac{KJ}{g \text{ gluc.}} \right) Re(\%)}{100(\%) EFB \left( \frac{KJ}{g \text{ biomasa}} \right)} \quad (a4 - 2)$$

Donde,

PB: producción de biomasa, (g biomasa/g gluc.).

EO: energía producida en la oxidación de glucosa, (KJ/g gluc.).

Re: rendimiento de energía producida utilizada para producir biomasa, (%).

EFB: energía empleada para la formación de biomasa, (KJ/g biomasa).

$$PB = \frac{15.96 \left( \frac{KJ}{g \text{ gluc.}} \right) 50(\%)}{100(\%) 20.9 \left( \frac{KJ}{g \text{ biomasa}} \right)} = 0.38 \left( \frac{g \text{ biomasa}}{g \text{ gluc.}} \right)$$



### En la descomposición anaeróbica:



Como puede deducirse de la ecuación anterior, el material orgánico no es oxidado completamente. Un 50(%) del carbono de origen orgánico y un 100(%) del hidrógeno de origen orgánico permanecen como producto orgánico del metabolismo en el metano, por lo tanto, la mayor porción de la energía química de la glucosa es almacenada en el metano.

La producción de energía en el proceso anaerobio es 0.79 (KJ/g gluc). La energía producida disponible para síntesis celular es 50(%)

La energía requerida para la formación de biomasa es 20.9 (KJ/g biomasa). Con estos datos, se puede estimar la producción anaeróbica de biomasa.

$$PB = \frac{0.79 \left( \frac{KJ}{g \text{ gluc.}} \right) 50(\%)}{100(\%) 20.9 \left( \frac{KJ}{g \text{ biomasa}} \right)} = 0.019 \left( \frac{g \text{ biomasa}}{g \text{ gluc.}} \right)$$

La producción aeróbica de biomasa es 20 veces mayor que la producción anaeróbica. A continuación presentamos una Tabla resumen de ventajas y desventajas para los procesos aeróbico y anaeróbico del tratamiento de aguas residuales.

**Tabla 74: Ventajas y desventajas de los procesos aeróbico y anaeróbico en el tratamiento de aguas residuales.**

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<b>Proceso anaeróbico:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Tasa baja de síntesis celular y por consiguiente poca producción de lodos.</b></li> <li>- <b>El lodo producido es razonablemente estable y puede secarse y disponerse por métodos convencionales.</b></li> <li>- <b>No requiere oxígeno, por lo tanto usa poca energía eléctrica y es especialmente adaptable a aguas residuales de alta concentración orgánica.</b></li> </ul> <p><b>Produce metano, el cual puede ser útil como energético. El metano tiene un valor calorífico de aproximadamente 36500 (KJ/m<sup>3</sup>).</b></p> <p><b>Tiene requerimientos nutricionales bajos.</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Para obtener grados altos de tratamiento requiere temperaturas altas.</li> <li>- El medio es corrosivo.</li> <li>- Tiene riesgos de salud por H<sub>2</sub>S.</li> <li>- Exige un intervalo de operación de pH bastante restringido.</li> <li>- Requiere concentraciones altas de alcalinidad.</li> <li>- Es sensible a la contaminación con oxígeno.</li> <li>- Puede presentar olores desagradables por H<sub>2</sub>S, ácidos grasos y amidas.</li> </ul>
VENTAJAS	DESVENTAJAS
<b>Proceso aeróbico:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Ausencia de olores.</b></li> <li>- <b>Mineralización de todos los compuestos biodegradables.</b></li> <li>- <b>Alta tasa de síntesis celular y por consiguiente alta producción de lodos que pueden ser utilizados como bioabono.</b></li> <li>- <b>Requiere una cantidad moderada de área.</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Requiere mucha energía eléctrica para oxigenación y mezcla.</li> <li>- Gran proporción de células en los lodos que hace, en algunos casos, necesaria su digestión, antes de secarlos y disponerlos.</li> </ul>
Nota: elaboración propia	

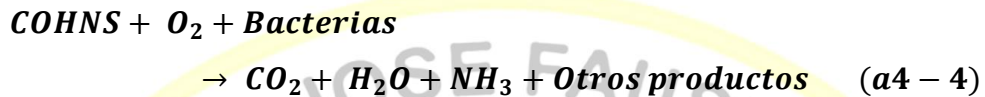
## **B) Principios bioquímicos y tecnología del tratamiento aeróbico de aguas residuales urbanas**

Estos conceptos han sido tomados de (Alianza por el Agua;, 2008, págs. 35-36).

El tratamiento biológico de las aguas residuales urbanas, se realiza con la ayuda de microorganismos (fundamentalmente bacterias) que en condiciones aerobias actúan sobre la materia orgánica presente en las aguas residuales.

Una parte de la materia orgánica se oxida por la flora bacteriana, obteniendo de esta forma la energía necesaria para el mantenimiento celular. Simultáneamente, otra fracción de materia orgánica se convierte en nuevo tejido celular (síntesis celular), empleándose para ello la energía liberada en la fase de oxidación.

**Oxidación:**



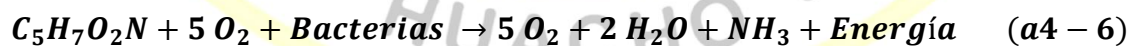
**Síntesis:**



Donde COHNS representa los elementos predominantes en la materia orgánica presente en las aguas residuales y  $C_5H_7O_2N$  representa la composición media de los microorganismos encargados de la biodegradación de la materia orgánica [Ref.: Hoover y Porges, (1952)].

Finalmente, cuando se consume la materia orgánica disponible, las nuevas células empiezan a consumir su propio tejido celular con el fin de obtener energía para el mantenimiento celular. Este tercer proceso se conoce como respiración endógena.

**Respiración endógena:**



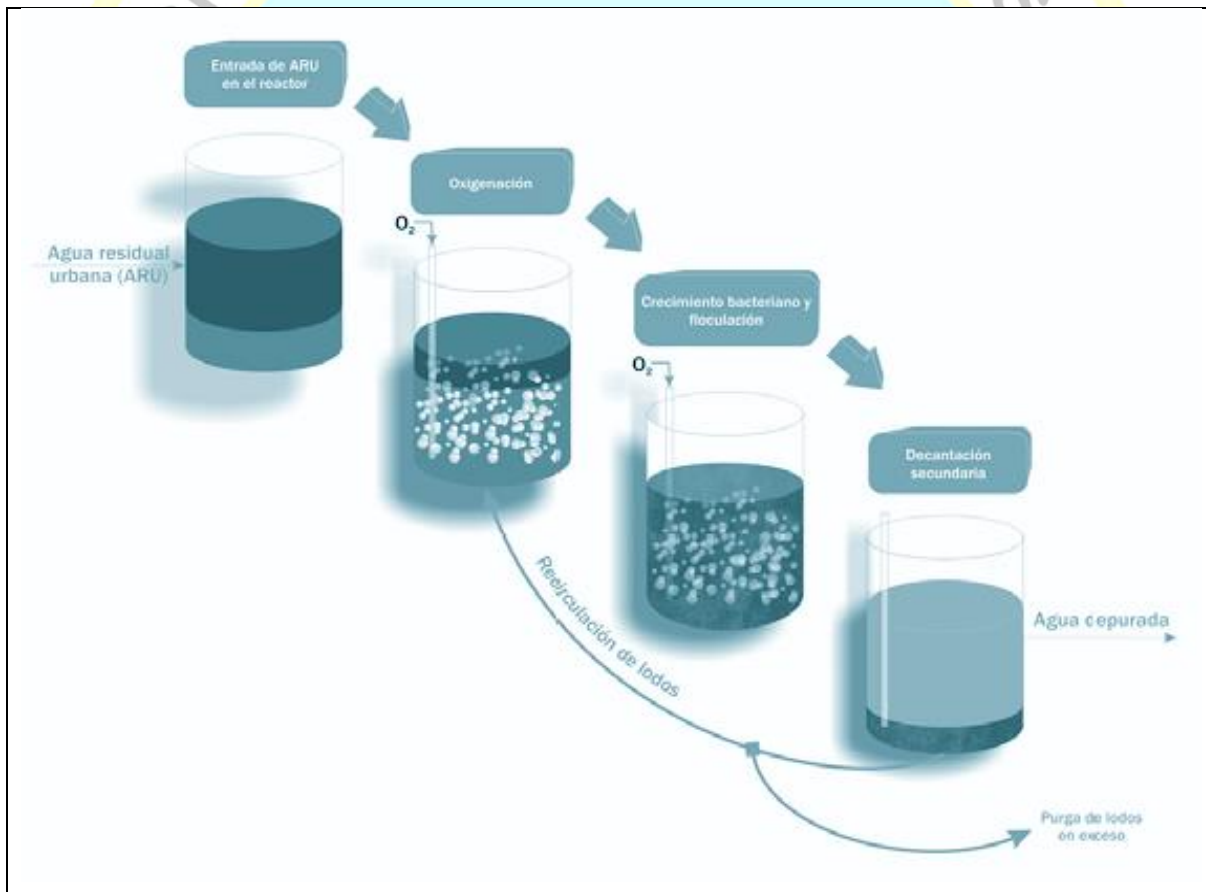
El aporte de oxígeno para el mantenimiento de las reacciones de oxidación, síntesis y respiración endógena, se efectúa introduciendo, generalmente, aire en los recipientes en que se llevan a cabo estas reacciones, recipientes que se conocen con el nombre de reactores biológicos o cubas de aireación.

Las nuevas bacterias que van apareciendo en los reactores, como consecuencia de las reacciones de síntesis, tienden a unirse (floculación), formando agregados de mayor

densidad que el líquido circundante, y en cuya superficie se va adsorbiendo la materia en forma coloidal.

Para separar estos agregados, conocidos como lodos o fangos, el contenido de los reactores biológicos (licor de mezcla), se conduce a una etapa posterior de sedimentación (decantación o clarificación secundaria), donde se consigue la separación de los lodos de los efluentes depurados por la acción de la gravedad. De los lodos decantados una fracción se purga como lodos en exceso, mientras que otra porción se recircula al reactor biológico para mantener en él una concentración determinada de microorganismos (ver Figura A4-1).

**Figura 63: Esquema básico del tratamiento secundario**

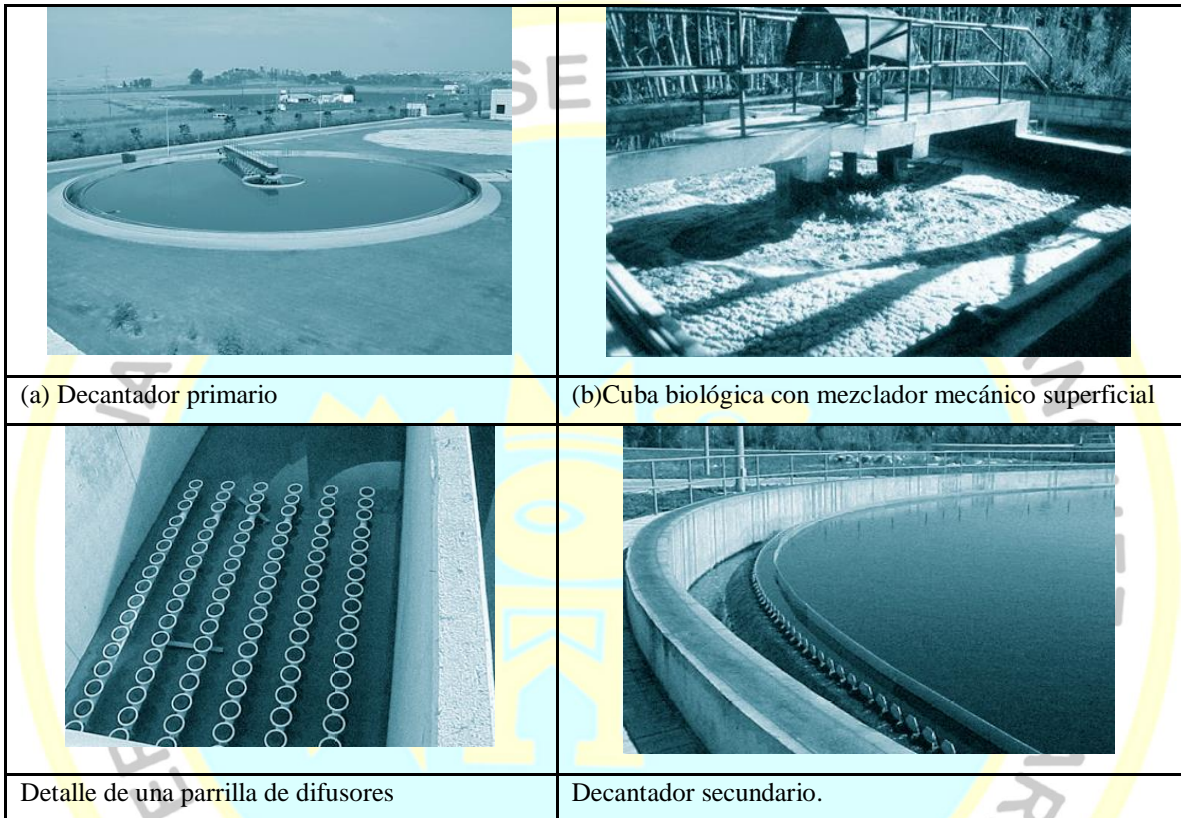


**Nota:** Esquema tomado de la p. 36 de, Alianza Por El Agua, 2008.

El proceso descrito se conoce como “lodos activos”, fue desarrollado en 1914 en Inglaterra por Ardern y Lockett y, hoy en día, esta tecnología en sus distintas modalidades (convencional, contacto-estabilización, aireación prolongada, etc.) es la más ampliamente

aplicada a nivel mundial para el tratamiento de las aguas residuales urbanas. En la Figura 64, se muestran fotografías de tecnologías empleadas en el tratamiento aeróbico de aguas residuales urbanas.

**Figura 64: Fotografías de tecnologías utilizadas en el tratamiento aerobio de aguas residuales urbanas**



**Nota:** Fotografías tomadas de las pp. 34-37 de, Alianza Por El Agua (2008).

### **Anexo A5: Modelo de declaración de impacto ambiental del proyecto**

El modelo de declaración de impacto ambiental, ha sido tomado de (Perú, Ministerio de Economía y Finanzas, 2011, págs. 127-131), Pautas para la identificación, formulación y evaluación social de proyectos de inversión pública a nivel de perfil).

Se deberá realizar una lista de los elementos de cada uno de los tres principales componentes del ecosistema que serán afectados por el proyecto, incluyendo una breve descripción de la manera en que se producirán tales efectos.

Los tres componentes del ecosistema son:

- **El medio físico natural**, referido a los elementos de la naturaleza considerados como inorgánicos: el agua, el suelo y el aire entre los más importantes.
- **El medio biológico**, referido a los elementos de la naturaleza considerados orgánicos (exceptuando al ser humano), es decir, la flora y la fauna.
- **El medio social**, constituido por el ser humano (los hombres y las mujeres) y sus atributos culturales, sociales. Después de identificar las principales variables afectadas, se deberá caracterizar el impacto ambiental que se producirá, considerando cuatro categorías:
- **Tipo de efecto:** que puede ser positivo, cuando el impacto favorece el medio en el que se manifiesta; neutro, cuando no afecta el medio, permitiendo sólo la sostenibilidad del mismo; y, negativo, cuando el impacto perjudica al medio, reduciendo o limitando las características de los ecosistemas.
- **Temporalidad:** considerando si los efectos son permanentes o transitorios; y, en este último caso, si son de corta, mediana o larga duración.
- **Espacio:** de acuerdo a si los efectos son de tipo local, regional o nacional.
- **Magnitud:** considerando que los efectos pueden ser leves, moderados o fuertes.

Toda la información hasta aquí recogida puede ser sistematizada en una tabla como la siguiente.

<b>Resumen de la evaluación del impacto ambiental</b>													
<b>VARIABLES DE INCIDENCIA</b>	<b>EFEECTO</b>			<b>TEMPORALIDAD</b>			<b>ESPACIALES</b>			<b>MAGNITUD</b>			
	<b>POSITIVO</b>	<b>NEGATIVO</b>	<b>NEUTRO</b>	<b>PERMANENTES</b>	<b>TRANSITORIOS</b>			<b>LOCAL</b>	<b>REGIONAL</b>	<b>NACIONAL</b>	<b>LEVE</b>	<b>MODERADO</b>	<b>FUERTE</b>
					<b>CORTO</b>	<b>MEDIANO</b>	<b>LARGO</b>						
<b>MEDIO FISICO NATURAL:</b>													
<b>1. Agua: Agua del río Huaura, agua del litoral de Huacho no será contaminada con los lodos residuales de la PTAR Huacho.</b>	*			*				*					*
<b>2. Suelo: el suelo agrícola será abonado con bioabono PTAR, líquido y sólido</b>	*					*		*				*	
<b>3. Aire: El ozono producido por los aceleradores de electrones será expulsado a la atmósfera circundante, contribuyendo a restituir la capa de ozono.</b>	*				*			*			*		
<b>Paisaje: Las edificaciones e instalaciones tecnológicas estarán ubicadas en lugares apropiados, de modo que no disturben el paisaje rural típico del distrito.</b>			*	*				*				*	

VARIABLES DE INCIDENCIA	EFECTO			TEMPORALIDAD			ESPACIALES			MAGNITUD			
	POSITIVO	NEGATIVO	NEUTRO	PERMANENTES	TRANSITORIOS			LOCAL	REGIONAL	NACIONAL	LEVE	MODERADO	FUERTE
					CORTO	MEDIANO	LARGO						
<b>MEDIO BIOLÓGICO::</b>													
1. Flora: Los jardines y cultivos, serán fertilizados con el bioabono (líquido y sólido) producido en la planta de tratamiento de lodos residuales.	*					*		*				*	
2. Fauna: El ganado no será infestado con quistes y larvas, los peces y camarones se desarrollarán en aguas no contaminadas del río Huara y del litoral de la ciudad de Huacho y por lo tanto tendrán un desarrollo sano.	*			*				*				*	



VARIABLES DE INCIDENCIA	EFECTO			TEMPORALIDAD			ESPACIALES			MAGNITUD			
	POSITIVO	NEGATIVO	NEUTRO	PERMANENTES	TRANSITORIOS			LOCAL	REGIONAL	NACIONAL	LEVE	MODERADO	FUERTE
					CORTO	MEDIANO	LARGO						
<b>MEDIO SOCIAL:</b>													
1. Bienestar: La población y turistas, de la ciudad de Huacho y poblaciones ubicadas río abajo, disfrutarán de un río Huaura y un litoral marino de la ciudad de Huacho no contaminado con lodos residuales de la PTAR Huacho. Estará libre de quistes, huevos de helmintos y cisticercos, y de bacterias patógenas.	*			*				*					*
2. Salud de la población: La salubridad de la población mejorará debido a que no existirá contaminación de bacterias y microorganismos patógenos en las aguas del río Huaura y del litoral de la ciudad de Huacho. Los productos agrícolas estarán libres de agentes inorgánicos contaminantes de los abonos comerciales, debido a que las plantas serán abonadas con un bioabono líquido PTAR esterilizado de alta calidad. La población se liberará de los focos infecciosos que se generan al botar los lodos residuales de la PTAR a los campos o al río.	*			*				*				*	

**Dr. Víctor Andrés Evangelista Benites**  
**PRESIDENTE**

**Dr. William Guzmán Sánchez**  
**SECRETARIO**

**Dr. Berardo Beder Ruiz Sánchez**  
**VOCAL**

---

**Dr. Luís Alberto Cárdenas Saldaña**  
**ASESOR**

Haga clic aquí para escribir texto.

Haga clic aquí para escribir texto.