

**UNIVERSIDAD NACIONAL
JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN**



ESCUELA DE POSGRADO

TESIS

**VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL
USO DE HACES ELECTRÓNICOS PARA
DESINFECTAR LODOS EFLUENTES DEL
SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DE PUNO**

PRESENTADO POR:

Benigno Benito Lizárraga Zavaleta

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN ECOLOGÍA Y
GESTIÓN AMBIENTAL**

ASESOR:

Carlos Job Fiestas Urbina

HUACHO - 2019

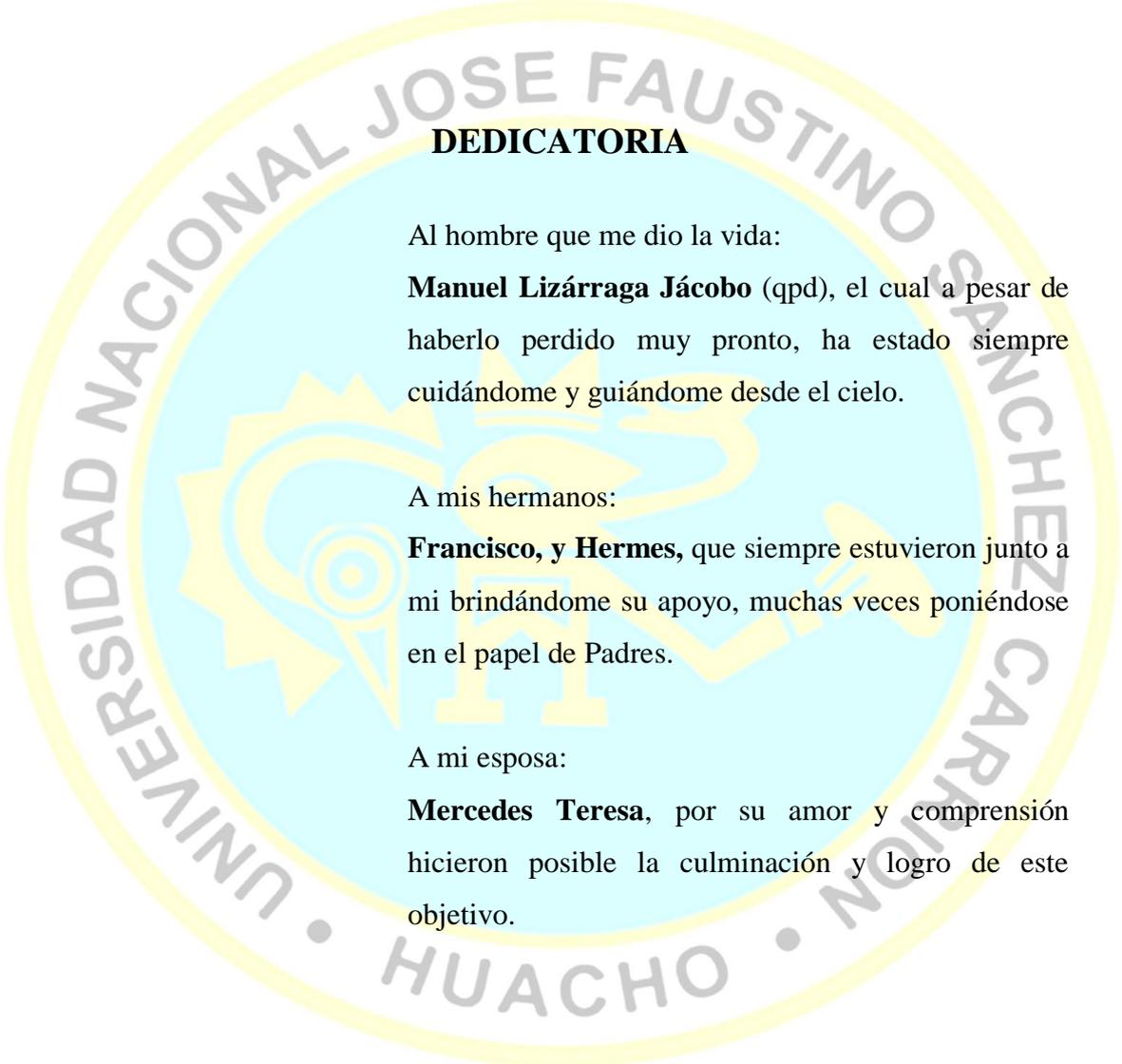
**VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL USO DE HACES
ELECTRÓNICOS PARA DESINFECTAR LODOS EFLUENTES DEL
SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE PUNO**

Benigno Benito Lizárraga Zavaleta

TESIS DE MAESTRÍA

ASESOR: Carlos Job Fiestas Urbina

**UNIVERSIDAD NACIONAL
JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRO EN ECOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL
HUACHO
2019**



DEDICATORIA

Al hombre que me dio la vida:

Manuel Lizárraga Jacobo (qpd), el cual a pesar de haberlo perdido muy pronto, ha estado siempre cuidándome y guiándome desde el cielo.

A mis hermanos:

Francisco, y Hermes, que siempre estuvieron junto a mi brindándome su apoyo, muchas veces poniéndose en el papel de Padres.

A mi esposa:

Mercedes Teresa, por su amor y comprensión hicieron posible la culminación y logro de este objetivo.

Benigno Benito Lizárraga Zavaleta

AGRADECIMIENTO

En primera instancia a mi familia (padres, hermanos, cuñados, sobrinos ...), soporte fundamental de mi vida; estoy y estaré siempre orgulloso de ellos.

A la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, por acogerme y hacer posible mi realización profesional.

A los Docentes de la Maestría en Ecología y Gestión Ambiental de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, quienes supieron internalizar en mi persona el cuidado ambiental de nuestra única aldea global, el planeta tierra.

A los Catedráticos de pregrado y de la Maestría en Ingeniería Química, de la Facultad de Química e Ingeniería Química de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, que contribuyeron a mi formación académica; mi eterno agradecimiento.

Al Dr. Carlos Job Fiestas Urbina, Asesor y amigo; por sus sabios consejos, sobre todo su paciencia demostrada día a día, y que ha hecho posible lograr este objetivo.

A mis amigos inseparables y compañeros de trabajo: Mg. Manuel José Jiménez Escobedo, Dr. Jorge Luis Inche Mitma, Dr. Máximo Cisneros Tejeira, Mg. José Saúl Orbegoso López, Mg. Moisés Emilio Armas Inga, Dr. Teodorico Jamanca Alberto, Mg. Víctor Fredy Espezua Serrano y Mg. Nicanor Manuel Vega Pereda; decirles ... ¡¡Ahora si!! ¡¡por fin he terminado!

A mis Maestros de ayer, hoy y siempre: MSc. Wilber Gil Benites (qpd), Ing. Rafael Antezana Castro (qpd), Dr. Aurelio Arbildo López, Dr. Alfredo Palomino Infante y Dr. Carlos Miguel Chuquilín Terán; mi eterna gratitud.

Benigno Benito Lizárraga Zavaleta

ÍNDICE

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
CAPÍTULO I	2
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1 Descripción de la realidad problemática	2
1.2 Formulación del problema	4
1.2.1 Problema general	4
1.2.2 Problemas específicos	4
1.3 Objetivos de la investigación	5
1.3.1 Objetivo general	5
1.3.2 Objetivos específicos	5
1.4 Justificación de la investigación	5
1.5 Delimitaciones del estudio	7
1.6 Viabilidad del estudio	8
CAPÍTULO II	10
MARCO TEÓRICO	10
2.1 Antecedentes de la investigación	10
2.1.1 Investigaciones internacionales	12
2.1.2 Investigaciones nacionales	29
2.2 Bases teóricas	35
2.3 Bases filosóficas	83
2.4 Definición de términos básicos	84
2.5 Hipótesis de investigación	90
2.5.1 Hipótesis general	90
2.5.2 Hipótesis específicas	90
2.6 Operacionalización de las variables	91
CAPÍTULO III	97
METODOLOGÍA	97
3.1 Diseño metodológico	97
3.2 Población y muestra	100
3.2.1 Población	100
3.2.2 Muestra	100

3.3	Técnicas de recolección de datos	100
3.4	Técnicas para el procesamiento de la información	103
	CAPÍTULO IV	104
	RESULTADOS	104
4.1	Análisis de resultados	127
4.2	Contrastación de hipótesis	130
	CAPÍTULO V	133
	DISCUSIÓN	133
5.1	Discusión de resultados	133
	CAPÍTULO VI	138
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	138
6.1	Conclusiones	138
6.2	Recomendaciones	140
	REFERENCIAS	141
7.1	Fuentes documentales	141
7.2	Fuentes bibliográficas	148
7.3	Fuentes hemerográficas	149
7.4	Fuentes electrónicas	152
	ANEXOS	156
Anexo 1:	MATRIZ DE CONSISTENCIA	158
Anexo 2:	Población urbana distrital de Puno a ser atendida por la PTAR Espinar-Puno	162
Anexo 3:	Propuesta de operaciones y procesos en la línea de lodos efluentes de PTAR.	163
Anexo 4:	Flujo de lodos no digeridos y flujo de sólidos suspendidos secos	164
Anexo 5:	Diagrama de flujo de tratamiento de lodos y balance de materiales	165
Anexo 6:	Sistema de desinfección de lodos por irradiación de electrones	170
Anexo 7:	Inyección de lodos a través de la boquilla sobre la faja transportadora	171
Anexo 8:	Acelerador de electrones circular	171
Anexo 9:	Acelerador de electrones lineal	172
Anexo 10:	Detalle de inversión en estudios de pre-inversión, y expediente técnico	173
Anexo 11:	Detalle de inversión en equipamiento principal	173
Anexo 12:	Detalle de inversión en equipamiento auxiliar	174
Anexo 13:	Detalle de inversión en infraestructura (obras civiles)	174

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Flujos para los sistemas de tratamiento y disposición final de aguas residuales de diferentes PTAR de Puno a un horizonte de 30 años	39
Tabla 2:	Cantidad de lodos producidos por diferentes tratamientos	39
Tabla 3:	Cantidades de lodos producidos en varios sistemas de tratamiento de agua residual	40
Tabla 4:	Densidad, gravedad específica, razón SV/ST y porcentaje de sólidos secos para varios tipos de lodos	41
Tabla 5:	Niveles de indicadores de presencia de bacterias patógenas y virus en lodos	41
Tabla 6:	Principales grupos de organismo patógenos y parásitos contenidos en los lodos residuales	42
Tabla 7:	Composición y características de lodos de PTAR	43
Tabla 8:	Concentración de organismos patógenos en lodos primarios y lodos digeridos	44
Tabla 9:	Criterios microbiológicos para la caracterización de biosólidos	45
Tabla 10:	Valores característicos de parámetros más frecuentes estudiados en lodos	46
Tabla 11:	Concentraciones permisibles para metales pesados en los lodos	49
Tabla 12:	Concentraciones límites de metales pesados en los lodos en diferentes países (mg/kg en base seca)	50
Tabla 13:	Contaminantes de interés emergentes más representativos	51
Tabla 14:	Requerimientos de dosis absorbida para diversos procesos industriales	56
Tabla 15:	Categorías de Aceleradores de haces electrónicos según su potencia	56
Tabla 16:	Categorías de Aceleradores de haces electrónicos según su energía del electrón	56
Tabla 17:	Penetración de haces electrónicos – Finalidad de uso en el mercado	60
Tabla 18:	Valores de sensibilidad D ₁₀ de microorganismos en solución Buffer, responsables de enfermedades	63
Tabla 19:	Precios de aceleradores de electrones según su potencia del haz de electrones	69
Tabla 20:	Operacionalización de variables para la hipótesis 1	94
Tabla 21:	Operacionalización de variables para la hipótesis 2	95
Tabla 22:	Resultados de la dimensión caudal de lodos (Material a irradiar), en un horizonte de 30 años	104
Tabla 23:	Estimación de la población urbana y el agua residual generada por la población urbana distrital de Puno en el horizonte del proyecto	106
Tabla 24:	Resultados de la estimación de la concentración de contaminantes microbiológicos patógenos principales en las aguas residuales de la población urbana del distrito de Puno	107
Tabla 25:	Resultados de la dimensión concentración de contaminantes microbiológicos patógenos en lodos primarios de aguas residuales de la población urbana del distrito de Puno	108

Tabla 26	Resultados de la estimación de la evolución de contaminantes microbiológicos en lodos digeridos de aguas residuales de la población urbana del distrito de Puno	109
Tabla 27	Resultados de la dimensión concentración de macronutrientes (NPK) en bioabono líquido de la línea de tratamiento de lodos de la población urbana del distrito de Puno	113
Tabla 28	Penetrabilidad del haz de electrones en lodos digeridos, y en líquidos de espesado y deshidratación de lodos (profundidad de penetración óptima)	118
Tabla 29	Resultados las variables tecnología de irradiación requerida y viabilidad técnica	119
Tabla 30	Resultados de las dimensiones de la inversión inicial total	121
Tabla 31	Resultados de las dimensiones de costos operativos anuales totales de la planta de irradiación en el horizonte del proyecto (al año 30), y costo operativo total unitario	121
Tabla 32	Resultados de las dimensiones costos operativo anual fijo, costo operativo anual variable, y costo operativo anual total	122
Tabla 33	Evolución en el tiempo de la Variable Independiente X_1 (Material irradiado), y la Variable independiente Z_2 (Ingresos monetarios brutos anuales por ventas)	123
Tabla 34	Resultados de las dimensiones de la viabilidad económica	124
Tabla 35	Resultados de la dimensión valor actualizado de los costos totales anuales	126
Tabla 36	Resultados de los indicadores de viabilidad económica	127
Tabla 37	Comparación de la concentración de la Solución Hidropónica La Molina® y del bioabono líquido producido en la PTAR Espinar – Puno	129
Tabla 38	Variación de los indicadores de viabilidad económica con el precio de venta del bioabono líquido	135

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:	PTAR El Espinar-Puno, estado actual	4
Figura 2:	Valoración agrícola de los lodos residuales por desinfección	7
Figura 3:	Delimitación geográfica del estudio	8
Figura 4:	Plantas de tratamiento de lodos por irradiación en el mundo	11
Figura 5:	Propuesta de operaciones y procesos para la línea de tratamiento de lodos efluentes de la PTAR- Espinar, de la zona urbana del distrito de Puno	36
Figura 6:	Vistas de lodos generados en PTAR	37
Figura 7:	Vista de acopio de biosólidos (lodos estabilizados) de PTAR	38
Figura 8:	Contenido de NPK de algunos productos orgánicos	46
Figura 9:	Composición química (en base seca) de lodos efluentes de PTAR	47
Figura 10:	Elementos principales de un acelerador de electrones	54
Figura 11	Esquema mostrando las partes de un acelerador de electrones LINAC	54
Figura 12	Partes de un acelerador lineal de mediana energía	55
Figura 13	Vista de un acelerador lineal de mediana energía	55
Figura 14	Distribución de dosis en el interior de un material irradiado con haces electrónicos	58
Figura 15	Gráfica que muestra el porcentaje D (%) de dosis absorbida respecto a la dosis superficial, en función de la penetración en el material irradiado	58
Figura 16	Penetración de haces electrónicos de alta y baja energía en agua (densidad unitaria)	59
Figura 17	Etapas de un modelo de Radiólisis del agua y tiempo de duración	61
Figura 18	Inactivación de microorganismos por radiación con haces electrónicos en una muestra de aguas residuales entrante (PTAR A)	64
Figura 19	Inactivación de microorganismos por radiación con haces electrónicos en una muestra de aguas residuales efluente, antes de la cloración (PTAR A)	64
Figura 20	Inactivación de microorganismos por radiación con haces electrónicos en una muestra de aguas residuales entrante (PTAR B)	65
Figura 21	Inactivación de microorganismos por radiación con haces electrónicos en una muestra de aguas residuales efluente, antes de la cloración (PTAR B)	65
Figura 22	Efecto de la irradiación de haces electrónicos sobre hongos y ovas de helmintos de aguas residuales efluentes antes de la cloración (PTAR A)	65
Figura 23	Efecto sobre la DBO y DQO por irradiación con haces electrónicos en una muestra de aguas residuales entrante (PTAR A)	66
Figura 24	Efecto sobre la DBO y DQO por irradiación con haces electrónicos en una muestra de aguas residuales efluentes, antes de la cloración (PTAR A)	66

Figura 25	Desinfección de <i>Escherichia Coli</i> , con diferentes dosis	67
Figura 26	Desinfección de <i>Escherichia Coli</i> , con diferentes dosis	67
Figura 27	Fase de Formulación y Evaluación de un Proyecto de Inversión	72
Figura 28	Diagrama de causa–efecto entre las variables de la hipótesis específica 1	92
Figura 29	Diagrama de causa-efecto entre las variables de la hipótesis específica 2	93
Figura 30	Ubicación de puntos de monitoreo de calidad del agua del lago Titicaca (año 2013)	111
Figura 31	Calidad de Agua Bahía Interior de Puno, Coliformes totales (NMP/100 mL)	111
Figura 32	Calidad de Agua Bahía Interior de Puno, Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)	112
Figura 33	Calidad de Agua Bahía Interior de Puno, Plomo (mg/L)	114
Figura 34	Calidad de Agua Bahía Interior de Puno, Cobre (mg/L)	114
Figura 35	Calidad de Agua Bahía Interior de Puno, Cadmio (mg/L)	115
Figura 36	Calidad de Agua Bahía Interior de Puno, Níquel (mg/L)	115
Figura 37	Acelerador de electrones con tres ventanas de irradiación	120
Figura 38	Valor Actual Neto (VAN) vs. Precio de bioabono líquido (S/ /m ³)	136
Figura 39	Tasa Interna de Retorno (TIR) vs. Precio de bioabono líquido (S/ /m ³)	136
Figura 40	Razón Beneficio/Costo (B/C) _{Convencional} vs. Precio de bioabono líquido	137
Figura 41	Razón (B/C) _{Modificada} vs. Precio de bioabono líquido (S/ /m ³)	137

RESUMEN

El presente estudio propone a la Municipalidad Provincial de Puno recomendaciones tecnológicas para resolver el problema de desinfección de los lodos residuales ($31,5 \text{ m}^3/\text{hora}$) efluentes del nuevo sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Puno; usando la tecnología de irradiación con haces electrónicos de mediana energía, para agregar valor y poder reaprovecharlos como biosólidos de clase A, con una inversión inicial de U.S \$ 5 747 659 (S/ 19 024 752), y a un costo operativo anual de U.S \$ 1 450 332 (S/ 4 800 600).

Objetivo: Determinar la viabilidad técnica y económica del uso de haces electrónicos para desinfectar lodos efluentes del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Puno.

Métodos: Se realizó una investigación aplicada/tecnológica, longitudinal, explicativa y no experimental, acompañado de un análisis técnico económico. Población: La población es la cantidad total de habitantes de la zona urbana del distrito de Puno, que en el presente año 2019 será de 133 928 habitantes, pero a un horizonte de 30 años (en el año 2049) alcanzará a 211 204 habitantes. Muestra: En nuestro caso específico, la muestra es igual a la población.

Resultados: La ciudad de Puno necesita un irradiador de electrones de 5 MeV de energía, con una potencia de 200 kW; operando 16 horas/día y 20 días/mes se desinfecta lodos digeridos, espesados y deshidratados a un flujo de 0,94 kg/s, y líquidos de espesamiento y deshidratación de lodos a un flujo de 30,6 kg/s; a una dosis de 14,5 kGy y 4,0 kGy respectivamente. La razón de la inversión en el acelerador a la potencia del haz de electrones o viabilidad técnica es igual a U.S \$ 7,5/W. Los valores de los indicadores de viabilidad económica son: VAN = S/ 99 303 480, TIR = 42,2%, (B/C) convencional = 1,9; (B/C) modificada = 6,2; Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI) = 2 años y 5 meses, razón Costo/Efectividad (C/É) = S/ 562/habitante. El costo de operación total unitario asciende a U.S \$ 3,3 / m^3 de lodo (S/ 11,0/ m^3 de lodo).

Conclusiones: Es viable técnica y económicamente el uso de haces electrónicos para desinfectar lodos efluentes del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Puno.

Recomendaciones: Implementar una planta de irradiación con haces electrónicos en la línea de tratamiento de lodos de la PTAR Espinar-Puno, para la desinfección y reaprovechamiento de los lodos y sus líquidos de espesamiento y deshidratación, en agricultura y silvicultura.

Palabras clave: Haces electrónicos, tecnología de irradiación, desinfección, lodos digeridos biosólidos, viabilidad técnica, viabilidad económica.

ABSTRACT

The present study proposes to the Provincial Municipality of Puno, and Regional Government of Puno technological recommendations to solve the problem of disinfection of residual sludge (at 31.5 m³ / hour) effluents from the new wastewater treatment system of the city of Puno; using the technology of irradiation with electronic beams of medium energy, to add value and to be able to reuse them as class A biosolids, with an initial investment of U.S \$ 5 747 659 (S/ 19 024 752), and an annual operating cost of U.S \$ 1 450 332 (S/ 4 800 600).

Objective: To determine the technical and economic viability of the use of electronic beams to disinfect effluent sludge from the wastewater treatment system of the city of Puno. **Methods:** Applied / technological, longitudinal, explanatory and non-experimental research was carried out, accompanied by a technical-economic analysis. **Population:** The population is the total number of inhabitants of the urban area of the district of Puno, which in the current year 2019 will be 133 928 inhabitants, but at a horizon of 30 years (in the year 2049) it will reach 211,204 inhabitants. **Sample:** In our specific case, the sample is equal to the population.

Results: The city of Puno needs an electron irradiator of 5 MeV of energy, with a power of 200 kW; operating 16 hours / day and 20 days / month, digested, thickened and dehydrated sludge is disinfected at a flow of 0.94 kg/s, and sludge thickening and dewatering liquids at a flow of 30.6 kg/s; at a dose of 14.5 kGy and 4.0 kGy respectively. The ratio of the investment in the accelerator to the power of the electron beam or technical viability is equal to: 7.5 U. S \$/W. The values of economic viability indicators are: NPV = S / 99 303 480, IRT = 42.2%, (B/C) conventional = 1.9, (B/C) modified = 6.2, Period of Recovery of Investment (PRI) = 2 years and 5 months, ratio Cost / Effectiveness (C / E) = S / 562 / inhabitant. The total unit operating cost amounts to U.S \$ 3.3/m³ of sludge (S / 11.05 / m³ of sludge).

Conclusions: It is technically and economically feasible to use electronic beams to disinfect effluent sludge from the wastewater treatment system of the city of Puno.

Recommendations: Implement an irradiation plant with electron beams in the sludge treatment line, for the disinfection and reuse of sludge and its thickening and dehydration liquids in agriculture in Puno.

Keywords: Electronic beams, irradiation technology, disinfection, sludge digested, biosolids, technical feasibility, economical feasibility.

INTRODUCCIÓN

El tratamiento de las aguas residuales municipales e industriales, es actualmente exigido para mejorar nuestra relación con el medio ambiente, el mismo que termina generando un nuevo problema en forma de lodos o, fangos, puesto que en dichos lodos o fangos se concentran elementos o sustancias responsables de cualidades ofensivas (olores nauseabundos), patógenas, y ecotóxicas; provenientes del agua residual depurada.

La gestión de los lodos o fangos efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTARs) es el problema ambiental más complejo vinculado al tratamiento de aguas residuales, estos lodos o fangos llegan a colmatar y/o provocar el colapso de las plantas de tratamiento si no son retirados, como es el caso de la planta de tratamiento de aguas residuales “El Espinar” de Puno.

Los problemas relacionados con los lodos efluentes de PTARs tienen su origen en que, la mayoría de casos, constituyen un residuo, que se hace necesario gestionar y hace obligatorio tratar. El tratamiento de dichos lodos (si es que se efectúa), se realiza actualmente en las propias instalaciones de tratamiento de las aguas residuales.

La disposición de los lodos residuales efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales e industriales, está asociado con los objetivos y metas, de interés nacional e internacional, de mejorar la calidad ambiental y de salud pública. La aplicación de lodos residuales estabilizados al suelo, es vista como una alternativa ambientalmente aceptable y de sostenibilidad, si se cumple con todas las normas y disposiciones ambientales.

El presente estudio se centra en demostrar la viabilidad técnica y económica de una aplicación tecnológica innovadora para complementar la estabilización de lodos (desinfección por irradiación con haces de electrones) efluentes de la PTAR “El Espinar” de Puno.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

La gestión de los lodos efluentes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, es en la actualidad el problema más complejo inherente al proceso de tratamiento de las aguas residuales, porque estos lodos constituyen un subproducto considerado como residuo, que nadie los quiere por ser un material patógeno e inestable que pone en riesgo la salud pública, y la calidad del medio ambiente.

Uno de los principales desafíos encontrados por SUNASS, Cooperación Alemana implementada por GIZ (2015, pág. 13) respecto a la operación y mantenimiento de las PTAR en el Perú es: Falta de remoción de lodos del 50% de las PTAR de tipo lagunas de estabilización, sobrecarga orgánica o sobrecarga hidráulica en el 50% del total de las PTAR, falta de manuales y programas adecuados de operación, mantenimiento y monitoreo, falta personal capacitado, de equipamiento y de recursos financieros necesarios para una adecuada operación y mantenimiento de las PTAR e insuficientes actividades de operación y mantenimiento de las PTAR.

Según estudios del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente PNUMA citado en Flores (2014, pág. 7) en Puno existen más de 20 lagunas de estabilización en diferentes ciudades, las mismas presentan problemas: unas colapsadas otras con serias deficiencias de funcionamiento por recibir cargas por encima de los caudales de diseño y falta de programas de mantenimiento. Entonces todas las aguas residuales y lodos producidos tratados o no por las poblaciones se vierten directamente al lago Titicaca y otras a través de los ríos por ser una cuenca endorreica.

“La laguna de estabilización del Espinar de la ciudad de Puno Perú en el lago Titicaca, fue diseñada para una población de aproximadamente 40,000 habitantes en 1972, hoy recibe un caudal aproximado 200 Litros/segundo que superan su capacidad para el cual fue diseñado y viene funcionando con serias *deficiencias por el arenamiento y colmatación de lodos no estabilizados*, despidiendo olores, presentándose como una amenaza para la salud pública de la población” (Flores, 2014, pág. 8).

Desde el año 2012, el distrito de Puno cuenta con estudio de factibilidad con código SNIP N° 191815 denominado «*Mejoramiento del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Puno*», en evaluación y con observaciones respecto a los costos de operación y mantenimiento que es determinante para la sostenibilidad de la planta de tratamiento y el compromiso del Gobierno central para su financiamiento por un monto aproximado de S/. 152 millones de nuevos soles (Municipalidad Provincial de Puno, 2012, pág. 38).

No existen en Puno plantas de tratamiento de aguas residuales y gestión de lodos con tecnologías adecuadas que permitan cumplir con las normas ambientales, y falta sinceramiento en las tarifas para garantizar su sostenibilidad y funcionamiento, además de una falta de cultura de pago por parte de la población.

Puno requiere con ¡urgencia! la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales y gestión de lodos, y la limpieza y descolmatación de lodos de la laguna de estabilización del Espinar como una medida preventiva del problema de salud pública.

Como se sabe desde hace muchos años; si no fuera por presencia de alta carga microbiana patógena, coliformes, virus, larvas de helmintos, ácaros que contienen todos los lodos efluentes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales municipales, estos lodos serían un excelente bioabono orgánico para el desarrollo de una agricultura sustentable.

Figura 1: PTAR El Espinar-Puno, estado actual



Nota: Elaboración propia

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Cuál es la viabilidad técnico económica del uso de haces electrónicos para desinfectar lodos efluentes del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Puno?

1.2.2 Problemas específicos

Problema específico 1.- ¿Cuál es la viabilidad técnica del uso de haces electrónicos para desinfectar lodos efluentes del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Puno?

Problema específico 2.- ¿Cuál es la viabilidad económica del uso de haces electrónicos para desinfectar lodos efluentes del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Puno?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Determinar la viabilidad técnica y económica del uso de haces electrónicos para desinfectar lodos efluentes del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Puno.

1.3.2 Objetivos específicos

Objetivo específico 1.- Determinar la viabilidad técnica del uso de haces electrónicos para desinfectar lodos efluentes del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Puno.

Objetivo específico 2.- Determinar la viabilidad económica del uso de haces electrónicos para desinfectar lodos efluentes del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Puno.

1.4 Justificación de la investigación

El presente estudio se justifica plenamente por tener una relevancia tecnológica innovadora, económica, social y ambiental; por tanto, es un instrumento de decisión clave para el reaprovechamiento inocuo de los lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), y pretende aportar al desarrollo sustentable de la agricultura en nuestro país; el Perú a la fecha, es importador neto de fertilizantes químicos al no tener actualmente ninguna planta de producción de fertilizantes que cubra la alta demanda.

Así mismo, esta investigación se justifica por ser pertinente en la visión para el tratamiento de las aguas y la recuperación de sus recursos, en el marco de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) y las metas de universalización del servicio

de agua y saneamiento acordado en el año 2015 por la Organización de Naciones Unidas (ONU), la Política Nacional de Saneamiento (MVCS, 2017a), el Plan Nacional de Saneamiento 2017-2021 del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS, 2017c) y el Plan Nacional de Inversiones del Sector Saneamiento para el periodo 2014-2021 (MVCS, 2014).

Desinfectar lodos a niveles de esterilización con tecnología de haces electrónicos, nos va a permitir obtener biosólidos de clase A y cumplir con el reciente Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos Generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, Decreto Supremo N° 015-2017-Vivienda (MVCS, 2017b).

Si se demuestra la viabilidad técnica y la viabilidad económica, entonces las autoridades del gobierno local de la Municipalidad de Puno, la Empresa Municipal de Saneamiento Básico de Puno (EMSAPUNO S.A.), las autoridades del gobierno central a través de la Agencia de Promoción de la Inversión Privada – Perú (ProInversión), las autoridades del gobierno Regional de Puno, las empresas privadas, y las Asociaciones Público Privadas (APP), tendrán los elementos de juicio para tomar decisiones en el problema de saneamiento y podrán tomar la presente investigación como base para elaborar Proyectos de Inversión Pública (PIP) en el Sistema Nacional de Programación Multianual y Gestión de Inversiones (INVIERTE.PE), que en la línea de tratamiento y estabilización de lodos efluentes de PTAR incluya una etapa de desinfección y/o esterilización para su reaprovechamiento, con equipos de irradiación de electrones de mediana o alta energía.

Mediante el presente estudio se podrá establecer y elaborar propuestas para el tratamiento y el reaprovechamiento de los lodos residuales efluentes del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Puno, Juliaca y otros lugares de la cuenca del Lago Titicaca de manera auto sostenida, contribuyendo de este modo a la financiación de los costos de operación de la PTAR del Espinar de la ciudad de Puno, de modo que no solo sea gasto, sino inversión. También se beneficiará a la población urbana por las mejoras ambientales y sanitarias, tanto económicas por la reducción de tarifas municipales, por saneamiento ambiental, y prevención de la salud.

Usando la tecnología de irradiación con haces electrónicos de mediana energía, la desinfección de los lodos efluentes de las PTARs se puede llevar hasta niveles de esterilización (Kim, Y., Han, B., y Kim J. K., 2003), convirtiendo los lodos residuales en Biosólidos inócuos desde el punto de vista microbiológico, entonces se logra agregar valor a un residuo que es un problema ambiental y de salud pública.

Figura 2: Valoración agrícola de los lodos residuales por desinfección



Nota: (Herrero, 2013, pág. 6)

1.5 Delimitaciones del estudio

El estudio se circunscribe a la ciudad de Puno-Perú (zona urbana) a orillas del lago Titicaca y poblaciones aledañas a la bahía. El horizonte del presente estudio es 30 años a partir del año 2019. Consideramos los datos y cifras publicadas por la Municipalidad Provincial de Puno (2012, pág. 17), el Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI (2015, pág. 9), y la Agencia de Promoción de la Inversión Privada Perú ProInversión (2018a, pág. 6) para estimar el número de habitantes o población urbana de Puno en el horizonte del proyecto.

Así mismo este estudio se delimita solamente a la determinación de la viabilidad técnica y la viabilidad económica para demostrar la hipótesis general.

Figura 3: Delimitación geográfica del estudio



Nota: Software libre: Google Earth Pro (US Dept of State Geographer, 2018)
Vista satelital del área geográfica de estudio (Bahía de Puno)

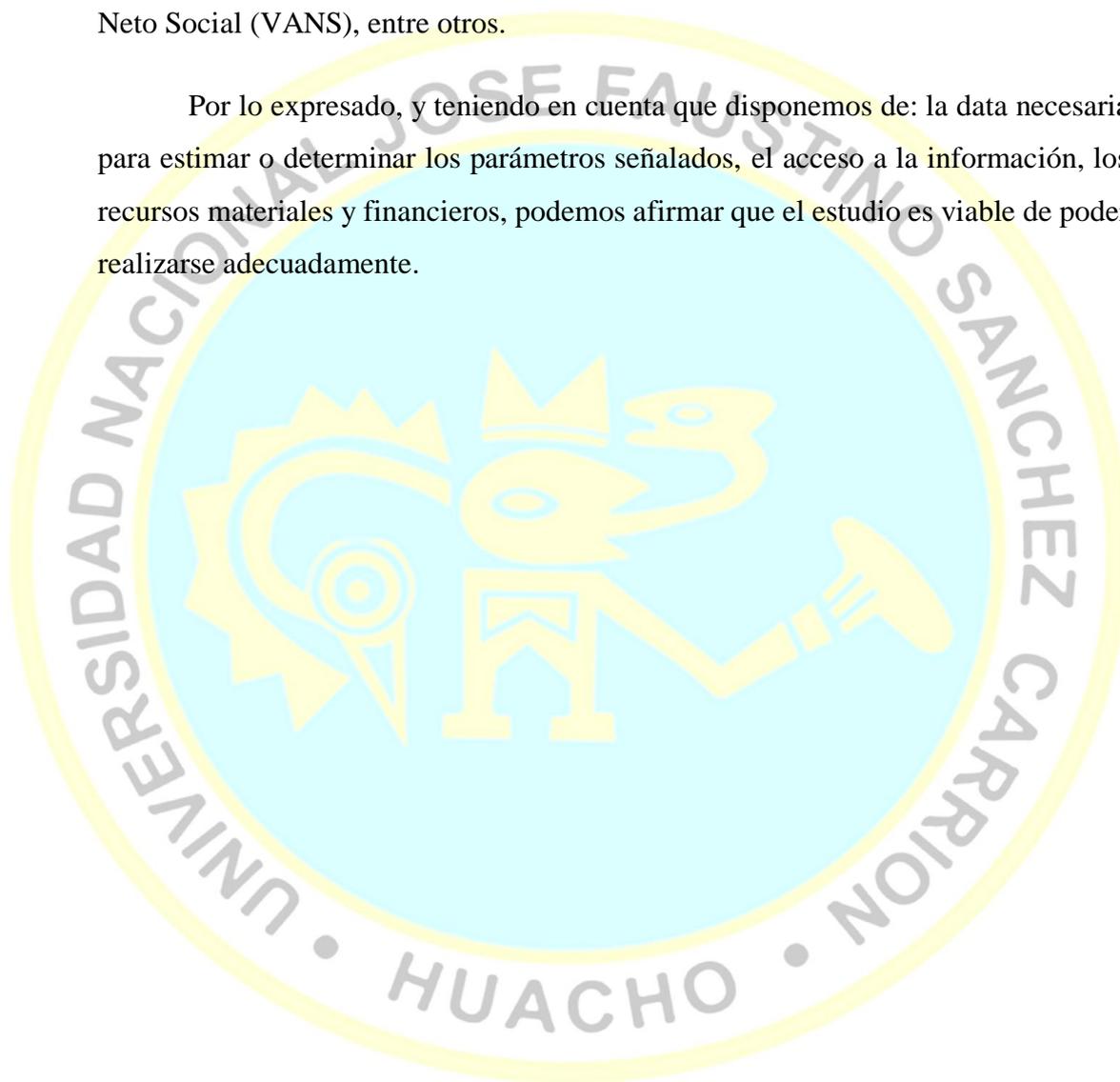
1.6 Viabilidad del estudio

Para el estudio y determinación de la viabilidad técnica; se investiga la cantidad de lodos generados por la población urbana de la bahía de Puno (Toneladas/año, o $m^3/año$); y las ofertas de venta en el mercado internacional de aceleradores de electrones (tamaño, precios, servicios post venta, especificaciones y características de cada marca y modelo etc.) diseñados para irradiar aguas y lodos residuales municipales. Así mismo, se recurre al análisis químico y microbiológico y/o a data experimental publicada de los mismos, para su caracterización y determinación del contenido de materia orgánica, macronutrientes (NPK) y micronutrientes (Ca, Mg, S, Fe, Cu, Zn, Mn, B, Cl) de suelos que favorecen el crecimiento de los diversos cultivos vegetales; del contenido de metales pesados

Plomo (Pb), Mercurio (Hg), Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Arsénico (As), los mismos cuyo contenido o alta concentración podría limitar el reaprovechamiento de lodos estabilizados y desinfectados (biosólidos) en agricultura.

Para el estudio y determinación de la viabilidad económica, se utilizará parámetros económicos tales como: Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR), ratio Beneficio/Costo (B/C), ratio Costo Eficacia (C/E), Valor Actual Neto Social (VANS), entre otros.

Por lo expresado, y teniendo en cuenta que disponemos de: la data necesaria para estimar o determinar los parámetros señalados, el acceso a la información, los recursos materiales y financieros, podemos afirmar que el estudio es viable de poder realizarse adecuadamente.



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

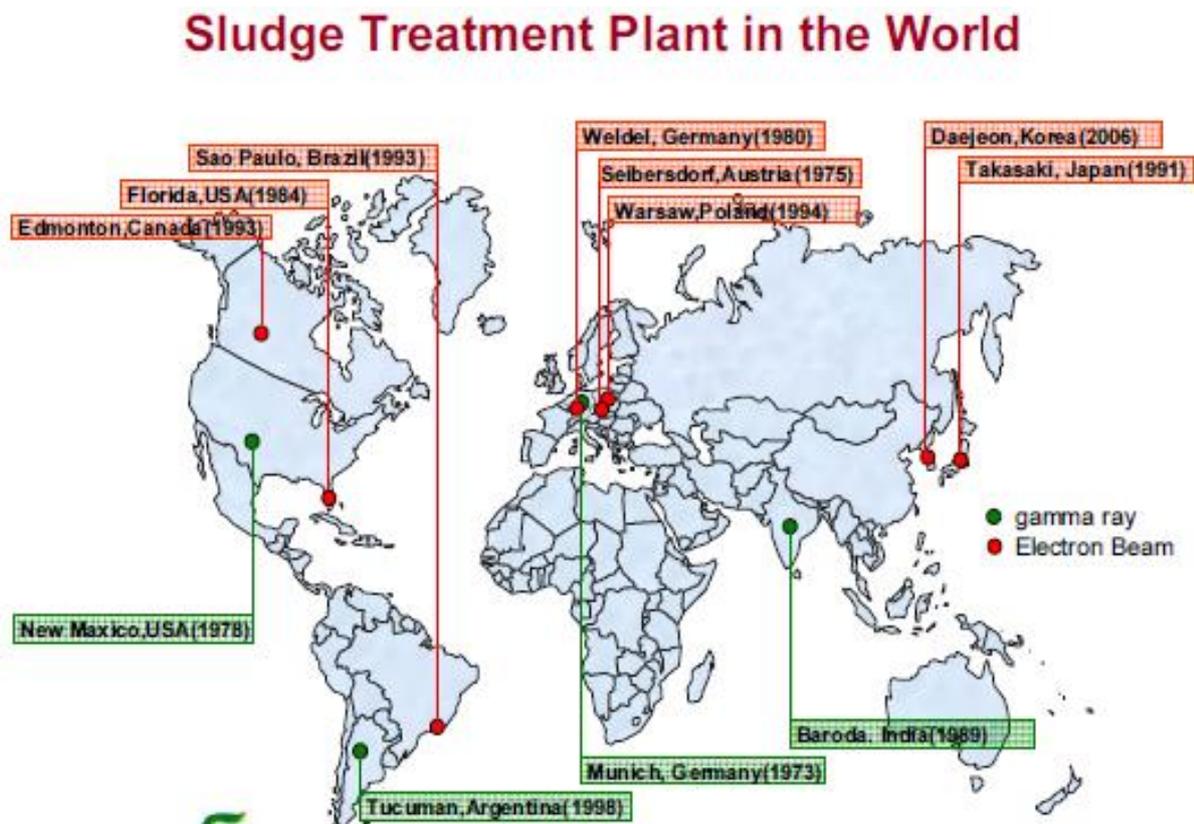
En nuestro país a la fecha, aún no se aplica la tecnología de irradiación con haces electrónicos a la desinfección o esterilización de lodos o aguas residuales efluentes de las PTARs; pero sí existen estudios que proponen dicha tecnología, tales como: “Uso de haces electrónicos de alta energía para esterilizar las aguas negras municipales del distrito Lunahuaná” (Lizárraga, Fiestas, Guerra, y Bautista, 2015), y la tesis doctoral “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” (Fiestas, 2018). Anteriormente (Méndez, 1990), realizó la defensa de su Tesis “Tratamiento de Aguas Residuales mediante Radiación Gamma” para la obtención del Título Profesional de Ingeniero Químico, en la Facultad de Química e Ingeniería Química, de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

En el ámbito nacional, solo se tiene como antecedente la aplicación de radiaciones ultra violeta (Luz UV) para desinfección de los efluentes de la Planta de Tratamiento de Agua del río Surco, usada para regar las áreas verdes del distrito de San Borja, la propuesta y los estudios para la aplicación de rayos UV en la desinfección de aguas se encuentra en la tesis doctoral “Tratamiento biofísico de las aguas residuales para uso en el ecosistema urbano” (Rosadio, 2008).

Los aceleradores de electrones en nuestro país están ya siendo usados en otros rubros, tales como en los sistemas de vigilancia y/o scanneamiento de contenedores en el Puerto del Callao; así como en radioterapia con acelerador lineal en el Centro de radioterapia de Lima ubicado en la Av. Corpac del distrito San Borja, y en el Hospital II Lima Norte-Callao “Luis Negreiros Vega” de Essalud en el Callao.

A nivel internacional, en muchos países del orbe se viene utilizando esta tecnología desde ya hace varios años, como se puede observar en la figura 4.

Figura 4: Plantas de tratamiento de lodos por irradiación en el mundo.



Nota: (Kim, Y., Han, B., Kim, J. K., y Yaacov, 2009, pág. 13)

Como antecedente en la valoración del poder fertilizante de los lodos residuales o excretas humanas, citamos a Víctor Hugo (1862), quien en su obra *Los Miserables*, “la tierra empobrecida por el mar”, textualmente dice: “*La ciencia, después de haber andado a tientas durante mucho tiempo, sabe hoy que el más fecundo y eficaz de los abonos es el abono humano. Todo el abono humano y animal que el mundo pierde, devuelto a la tierra en lugar de ser arrojado al mar, sería suficiente para alimentar al mundo. ¿Esa fetidez sabe usted qué es? Es la pradera en flor, es hierba verde, es tomillo, es salvia, es el ganado, es el mugido satisfecho de grandes bueyes en la tarde, es el trigo dorado, es el heno perfumado, es el pan en su mesa, es sangre caliente en sus venas, es salud, es el gozo, es la vida. Así lo quiere esta creación misteriosa que es la transformación en la tierra y transfiguración en el cielo (...) la nutrición de los campos hace el alimento de los hombres. Usted es dueño de perder esta riqueza y encontrarme ridículo. Eso sería la obra maestra de su ignorancia*”.

2.1.1 Investigaciones internacionales

2.1.1.1 Título de la Tesis Doctoral:

Generación, caracterización y tratamiento de lodos de EDAR

Lugar de ejecución: Córdoba, España

Año de ejecución: 2015

Apellidos y Nombres de autor:

Gonzales Granados, Inmaculada Concepción

Instituciones que respaldan el estudio:

Universidad de Córdoba, España

Facultad de Ciencias: Departamento de Química Inorgánica, e Ingeniería Química, Universidad de Córdoba.

Objetivo general:

Un primer objetivo ha consistido en la evaluación de la generación, tipo de tratamiento y modo de gestión de los lodos producidos en las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales Urbanas (EDAR) de la Comunidad Autónoma Andaluza.

Tipo y diseño metodológico de la investigación

Se han establecido distintos bloques analíticos, compuestos cada uno de ellos por grupos de variables homogéneas, orientados a la aplicabilidad del lodo como enmienda orgánica, y diseñados específicamente para la caracterización de los lodos urbanos, facilitándose gracias a estos bloques la comprensión y evaluación posterior de los resultados.

Población y Muestra:

Se ha realizado un programa de visitas y muestreo, con una duración de 4 meses, durante los cuales se ha recopilado información de las EDARs, mediante unas fichas, en las que se ha recopilado la siguiente información:

- Denominación de EDAR, coordenadas UTM, término municipal.
- Poblaciones servidas.
- Datos básicos de la EDAR (Estado operativo; Población equivalente, Capacidad de tratamiento; Caracterización del efluente de entrada; Descripción del proceso)
- Descripción de la Línea de lodos.
- Diagrama de la Línea de lodos.

- Datos de generación, caracterización y gestión de los lodos.
- Informe analítico de los lodos (en el caso de que se generaran).
- Reportaje fotográfico.
- Croquis de acceso.
- Otro material complementario (folletos, analíticas, diagramas o planos etc...).

Conclusiones:

1. La producción anual de lodos de EDAR en Andalucía es prácticamente proporcional a la población a la que dan servicio las estaciones depuradoras. Las ligeras desviaciones en el volumen de lodo generado vienen determinadas por el diferente tratamiento aerobio o anaerobio, como valores extremos, ya que el grado de estabilización de este residuo condiciona el volumen final del mismo.
2. La evaluación del tratamiento y gestión, que se ha realizado en este trabajo del lodo de las EDAR, ha permitido detectar características comunes en los lodos generados en distintas depuradoras. La aplicación de un análisis multivariante de su composición arroja información sobre las variables agronómicas más relevantes. Esto ha permitido detectar cómo características específicas del agua residual, por ejemplo, un alto contenido en níquel, condicionan la composición físico-química de dicho residuo. La herramienta estadística Análisis de Componentes Principales ha permitido realizar agrupamientos de las EDARs en las que sus lodos se encuentran menos estabilizados o contienen alguna característica específica y diferenciadora.
3. La aplicación de un test de discriminación, basándose en la composición analítica del lodo, ha agrupado las EDARs objeto de estudio, clasificándolas por su funcionamiento. Resaltar que un 22,6 % de las mismas no realiza una correcta deshidratación y un 11,3% no estabiliza los lodos hasta valores razonables. Las características tamaño de la EDAR y zona geográfica no han sido influyentes para clasificar calidades del lodo obtenido.

2.1.1.2 Título de la Tesis de Magíster en Gestión y Planificación Ambiental:

Análisis y criterios mínimos para la aplicación de lodos tratados provenientes de plantas de tratamiento de aguas servidas en agrosistemas de la provincia de Melipilla, región metropolitana, Chile.

Lugar de ejecución: Región Metropolitana de Santiago, Provincia de Melipilla, Chile.

Año de ejecución: 2011

Apellidos y Nombres del autor:

Henríquez Henríquez, Olivia de las Mercedes

Instituciones que respaldan el estudio:

Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales y de Conservación de la Naturaleza

Objetivo general:

El objetivo general del presente estudio es analizar:

- 1) Las experiencias de campo con aplicaciones de lodos en agro sistemas principalmente en las provincias de Melipilla y Maipo, Región Metropolitana, las que se contrastan con estudios realizados en el extranjero, y
- 2) La normativa aprobada en Chile y la existente en el extranjero, a fin de determinar criterios técnicos bajo los cuales dicha aplicación sea beneficiosa y no genere efectos adversos para el agro sistema.

Tipo y diseño metodológico de la investigación

Los métodos que se han utilizado para cada uno de los objetivos específicos indicados, son los siguientes:

- a) Análisis descriptivo de los resultados de las investigaciones de aplicación de lodos en agrosistemas durante tres temporadas en las Provincias de Melipilla y Maipo, RM, obtenidos tanto en suelo como en los cultivos. Además, se identificaron impactos a los componentes del agrosistemas por aplicación de lodos. Los resultados de las 42 experiencias se contrastaron con otras investigaciones realizadas y con la literatura internacional.
- b) Análisis técnico-ambiental de la normativa vigente, específicamente del D.S. N°4/2009, respecto a las restricciones y requisitos de la aplicación de lodos en agro sistemas, y comparación con la legislación extranjera, principalmente americana y europea.
- c) Método de Superposición en SIG/ArcView, de capas de información de suelos proveniente del Estudio Agrológico de Suelos de la RM (CIREN-CORFO, 1996), con el fin de cuantificar la superficie agrícola apta para la aplicación de lodos en la

provincia de Melipilla. Esto se realizó con la herramienta de SIG a través del software ARC VIEW 9.2.

Lo anterior consideró las exigencias de la normativa vigente (D.S.N°4/2009), específicamente aspectos tales como: distancia a áreas residenciales, viviendas individuales y fuentes de agua potable; drenaje, materia orgánica, series de suelos, textura y clases de capacidad de uso de los suelos; uso y cobertura vegetal; acuíferos vulnerables y exigencias hidrológicas. Las capas de información generadas fueron sometidas a través de un proceso de exclusión y de superposición, adaptando diferentes escalas de trabajo que dieron como resultado final, el área factible de recibir lodos.

d) Cálculo de los costos de producir una hectárea de maíz, para ello se utilizaron como insumos, los fertilizantes minerales tradicionales, y lodos. Se utilizó una ficha técnica de los costos de producción de una hectárea de maíz (ODEPA, 2009), cultivo que ha sido probado en la mayoría de los planes de manejo controlados que operan actualmente y se han obtenido buenos resultados.

e) Se contó con la información respecto del alza de los precios de los fertilizantes nitrogenados (urea) y fosfatados (superfosfato triple) en el 43 período 2006-2010 y se incluyeron valores de mercado estimativos, respecto de los costos de transporte de lodo a relleno sanitario, transporte a monorelleno y transporte a suelo agrícola, bajo las restricciones que establece la normativa vigente.

f) Posterior al análisis de la normativa vigente y de su comparación con otras normas, se han sugerido aspectos y criterios recomendables de abordar en la norma, que permita salvaguardar la calidad ambiental de los agrosistemas respecto de posibles efectos de aplicación de lodos.

Población y Muestra:

Son los lodos urbanos, proyectada para el año 2012 en $1\ 000\ \text{Mg d}^{-1}$ (en base húmeda) en la Región Metropolitana (RM), cuya adecuada disposición final no ha sido resuelta hasta ahora. Este agro sistema (RM) se ha seleccionado y acotado por sus condiciones agrícolas, ya que es una alternativa de disposición de lodos, dada la creciente producción de lodos en la RM, la presencia de componentes en los lodos que restringen su aplicación y las dificultades en su manejo y aplicación.

Instrumentos utilizados

Las fuentes de información relevantes sobre aplicación de lodos, utilizadas en el presente estudio.

Conclusiones:

1. En términos generales, se concluye que la hipótesis del presente trabajo se cumple, es decir que los lodos generados en PTAR pueden aplicarse en agrosistemas sin provocar efectos adversos, siempre y cuando se considere los requisitos de la normativa vigente y criterios adicionales.
2. La aplicación de lodos tiene efectos positivos en los suelos: disminuye la densidad aparente, aumenta la estabilidad de agregados, incrementa la retención de agua, aporta nutrientes y materia orgánica, y mejora el rendimiento de diferentes cultivos.
3. Las concentraciones de Elementos Traza Metálicos (ETM) presentes en los lodos se encuentran por debajo de lo exigido en la normativa, pese a ello, algunos estudios señalan una acumulación de ciertos elementos traza metálicos en especies vegetales y en suelos.
4. El “Reglamento para el manejo de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas servidas (D.S. N°4/2009)”, que entró en vigencia en abril del 2010, entrega los principales criterios para la protección de los agrosistemas ante una aplicación de lodos en los suelos de Chile. Sin embargo, se recomienda incorporar criterios técnicos y ambientales adicionales.
5. El D.S. N°4/2009 es exigente en relación a los límites de concentración de los elementos traza metálicos permitidos en lodos y suelos, incluso más riguroso que las normativas extranjeras (EPA, Directiva Europea, Argentina, Brasil, México).
6. El D.S. N°4/2009 no plantea la fitodisponibilidad de elementos traza metálicos ni restringe su presencia en los cultivos. Cabe mencionar que algunos estudios detectaron incrementos de ETM en los cultivos a raíz de la aplicación de lodos.
7. La normativa chilena permite una elevada tasa máxima de aplicación de lodos ($90 \text{ mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en base seca), en comparación a otros países.
8. Experiencias de terreno señalan que los nutrientes de los lodos pueden sustituir a los fertilizantes minerales como urea y superfosfato triple, en un 50% a partir de la segunda temporada de aplicación y en un 100% durante la tercera temporada, para cultivos de maíz.

9. Una tasa de 15 Mg ha⁻¹ de aplicación de lodo al tercer año satisface la demanda de N de maíz, y se exceden otros nutrientes.
10. El reglamento de manejo de lodos no exige un balance de masa respecto a los contenidos de N y P en los lodos y suelos, ni toma en cuenta los requerimientos nutricionales de los cultivos. Aspecto relevante para prevenir lixiviación de nitratos y eutrofización de cuerpos de aguas.
11. El D.S. N°4/2009 no indica seguimiento de aguas superficiales y/o subterráneas, tampoco entrega indicadores para la detección de olores.
12. No existen estudios en animales o fauna silvestre alimentados con cultivos enmendados con lodos. Sin embargo, el D.S. N°4/2009 señala una restricción al acceso de animales y personas para evitar riesgos sanitarios.
13. La aplicación de lodos en suelos evita la emisión de metano, que se produciría al depositarlos en un relleno sanitario o monorelleno, minimizando así los GEI.
14. El costo de esparcimiento e incorporación del lodo en un predio es más elevado que la aplicación de los fertilizantes minerales. Sin embargo, este costo no debe considerarse parte de la producción agrícola, sino formar parte de la gestión asociado al tratamiento de aguas servidas.
15. La aplicación de lodos en suelos es altamente rentable para el generador de lodos, dado que su costo es aproximadamente cuatro veces menor que su disposición en un monorelleno o relleno sanitario.

2.1.1.3 Título de la Tesis Doctoral:

Estudio de contaminantes orgánicos en el aprovechamiento de lodos de depuradora de aguas residuales urbanas

Lugar de ejecución: Alicante, España

Año de ejecución: 2008

Apellidos y Nombres del autor:

Gómez-Rico Núñez de Arenas, María Francisca

Instituciones que respaldan el estudio:

Universidad de Alicante, España

Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Alicante

Objetivo general:

Este trabajo se centra en el estudio de la contaminación derivada de las distintas formas de aprovechamiento de lodos, así como en la disminución de dicha contaminación bajo ciertas condiciones.

Tipo y diseño metodológico de la investigación:

Investigación experimental que usa Métodos Analíticos y Matemáticos. Análisis de contaminantes orgánicos en lodos, suelos con lodo aplicado, compost y residuos de combustión a distintas temperaturas. Este apartado resume el procedimiento a seguir para el análisis de PAHs, PCBs, NPEs y DEHP que son los contaminantes para los que la Unión Europea (UE) propone unas concentraciones límite en lodo para uso en suelos agrícolas.

Métodos Matemáticos. Análisis estadístico multivariable de compuestos presentes en distintos lodos mediante análisis de componentes principales (PCA), Clúster y de discriminante.

Población y Muestra:

El estudio abarca sobre los lodos producidos por la población de la comunidad Valenciana de España.

Instrumentos utilizados:

Se han utilizado para análisis químico los equipos siguientes: Cromatógrafo de gases GC8000 acoplado a un detector de espectrometría de masas MD800.

Conclusiones:

Caracterización: Se han estudiado los niveles de compuestos contaminantes orgánicos de la comunidad Valenciana y se han comparado con los valores límite propuestos por la Unión Europea en el año 2000 para aplicaciones agrícolas. Los valores obtenidos son similares a los observados en otras regiones de España y otros países, pudiendo destacar que existe una gran dificultad para cumplir los límites en el caso de alquilbenceno sulfonatos lineales (LAS) y compuestos nonilfenólicos (NPEs: nonilfenol, nonilfenol monoetoxilado, y nonilfenol dietoxilado). Respecto a nuevas propuestas de límites para futura revisión de la Directiva Europea sobre lodos, los NPEs continúan teniendo dificultades para cumplir los límites, aunque los LAS

no son considerados. Por tanto, la aplicación de lodos en suelos debe realizarse con precaución.

2.1.1.4 Título de la Tesis para obtener el Título de Químico Farmacéutico Biólogo:

Bacillus cereus como indicador en la desinfección de aguas residuales con electrones de alta energía

Lugar de ejecución: Toluca, México

Año de ejecución: Año 2000.

Apellidos y Nombres del autor:

Mejía Zárate, Esthela

Institución que respaldan el estudio:

Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Química,

Objetivo General:

El objetivo de esta investigación es evaluar el uso de *Bacillus cereus* como indicador biológico en la desinfección por radiación, empleando electrones de alta energía.

Tipo y diseño metodológico de la Investigación:

El tipo de estudio fue experimental, y se siguió una metodología para cumplir con dicho objetivo, el trabajo se desarrolló en tres etapas, la primera consistió en la adquisición, propagación y conservación de las cepas de *Bacillus cereus*, considerando *Escherichia coli* y *Salmonella typhimurium* como patógenas presentes en las aguas residuales. Además de la estandarización del inóculo y condiciones del acelerador de electrones tipo Pelletron. En la segunda etapa se realizó la irradiación de muestras acuosas de los microorganismos simulando contaminación biológica y la aplicación a muestras problema de una planta tratadora localizada en la zona Lerma de aguas residuales mixtas. Y la tercera etapa se realizó un análisis de regresión a la supervivencia reportada para cada microorganismo.

Muestra:

Se tomó una muestra del efluente de una planta tratadora de aguas residuales mixtas localizada en la zona Lerma en un contenedor de 2 L. y se trasladó al laboratorio de Biología Microbiana. A una parte de la muestra se le adicionó *B. cereus* cuya concentración inicial fue $3,36 \times 10^7$ UFC/mL y la otra parte se tomó como control, de ambas muestras se llenaron bolsas con 0,3 mL y se les dio el mismo proceso de las muestras anteriores y se irradiaron a dosis de 500, 2000 Gy.

Instrumentos utilizados:

- Refrigerador Whirlpool
- Incubadora Thelco
- Baño maria, New Bruswick Scientific
- Cuenta colonias New Bruswick Scientific
- Vortex New Bruswick Scientific
- Estufa felisa
- Sellador bolsas
- Autoclave
- Acelerador de Electrones tipo PELLETRON.

Conclusiones:

El Bacillus cereus cumple la función de indicador biológico en la desinfección de aguas residuales empleando electrones de alta energía.

De los microorganismos estudiados, la *E. coli* resulto ser la más sensible a la radiación en comparación con la *S. typhimurium* y *B. cereus*.

Dosis mínima de 500 Gy, es suficiente para eliminar microorganismos patógenos en aguas residuales.

El uso de las radiaciones ionizantes como alternativa de desinfección es aplicable a la desinfección de aguas residuales.

2.1.1.5 Título de la Tesis para obtener el grado de Maestro en Ecología:

Evaluación de la irradiación de lodos residuales

Lugar de ejecución: Toluca, México.

Año de ejecución: 1994

Apellidos y Nombres del autor:

Colín Cruz, Arturo

Instituciones que respaldan el estudio:

- Universidad Autónoma del Estado de México, convenio 489/92.
- Secretaría de Educación Pública, convenio Sep C90-07-0540/1.
- International Atomic Energy Agency (IAEA), convenio Mex/7/005/1.
- Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, convenio de colaboración.
- Academia Regional de Ciencias Ambientales Región V ANUIES, convenio de colaboración.

Objetivo general:

El presente trabajo tiene como objetivo el de obtener un diagnóstico sobre la situación que se guarda en la Región Centro de la República Mexicana con relación a los lodos residuales, para evaluar técnicamente el proceso de irradiación con gammas de Cobalto-60 (Co-60) en muestras de lodos residuales, como método alternativo de tratamiento para la desinfección y degradación de compuestos orgánicos presentes en los lodos residuales.

Tipo y diseño metodológico de la investigación:

El tipo de estudio fue experimental, y se siguió una metodología que se puede resumir en tres etapas.

Primera etapa: Consistió en la obtención de un diagnóstico regional a través de la caracterización física, química y microbiológica de los lodos residuales en los sistemas de tratamiento de aguas, cuyo trabajo previo, fue el levantamiento de un inventario regional de sistemas de tratamiento de aguas residuales, para obtener así la producción, usos, tratamientos y disposición final de lodos residuales.

Segunda etapa: Consistió en establecer y evaluar técnicamente el tratamiento de irradiación haciendo referencia a los sistemas convencionales de composteo y disminución de la insolubilidad y disponibilidad de metales pesados. Para ello, se irradiaron muestras de lodos residuales y se realizaron los análisis físicos, químicos y microbiológicos correspondientes.

Tercera etapa: Para la evaluación de la dinámica de contaminantes y el efecto en el suelo producido por los lodos residuales como posible receptor de éstos, se

elaboraron mapas edafológicos con el objeto de poder situar los lugares apropiados para la disposición final de los lodos residuales que cumplieran con las características para tal fin.

Población y Muestra.

El estudio abarca el territorio comprendido por el Estado de México, Morelos, Hidalgo, Querétaro y Tlaxcala. Con una superficie territorial de 62 807 km², correspondientes al 3,1 % del Territorio Nacional. Esta área de estudio se ubica entre los meridianos 97° 37' y 100° 36' y los paralelos 18° 21' y 21° 24'. El área pertenece a las Cuencas hidrológicas del Lerma-Santiago, Balsas y Panuco, en donde se tiene una gran variedad de climas, que van desde el seco, templado sub húmedo, al cálido sub húmedo, con precipitaciones de 300 mm a 2000 mm en el año, dicha área presenta diversas características, con una población de 13 187 595 habitantes, que representan aproximadamente 15,8 % de la población de la República Mexicana, perteneciente básicamente al Estado de México, debido a la situación geográfica del Estado al rodear principalmente al Distrito Federal los municipios conurbados, pero en la región de estudio, la contaminación de origen industrial, es del orden de 43 % en relación al país. Se puede estimar la producción de **lodos residuales**, si se considera que la producción por individuo es de 60 gramos al día, corresponderá alrededor de 288 808 Toneladas al año, para los cinco Estados en estudio, sin considerar las descargas de tipo industrial y de vertimientos importantes en cuanto a descargas sólidas a los efluentes.

Instrumentos utilizados

En la primera etapa, el muestreo se realizó con el método descrito por Telliard (1988) y aceptado por la EPA (15). Para los análisis in situ, como pH y temperatura fueron efectuados en el sitio por cada Universidad, y los restantes, se envasaron en frascos de polietileno con un kilogramo de lodo aproximadamente, se etiquetaron, sellaron y trasladaron por vía terrestre, con característica de residuo peligroso. Cada Universidad tomó una muestra de un-kilogramo más para realizar sus análisis correspondientes.

En la segunda etapa, para la irradiación de lodos residuales, se tomaron muestras de 5 litros debidamente estabilizadas, luego una fracción de 2 litros se

expuso a radiación gamma de Co-60, en un contenedor de vidrio dentro de la cámara de irradiación del Gammacell 220 del ININ.

Para la elaboración de los mapas edafológicos de los Estados de México, Morelos, Hidalgo, Querétaro y Tlaxcala se siguió el sistema de clasificación de suelos FAO/UNESCO-1968(90) (FAO, Organización Mundial para la Alimentación y la Agricultura, UNESCO, Organización de Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura).

Conclusiones

Con los resultados obtenidos en la presente "Evaluación de la irradiación de Lodos Residuales", se tiene que:

- A.** La irradiación con gammas de cobalto-60 es eficaz para desinfectar lodos residuales, disminuyendo la población de microorganismos mesófilos aerobios en 6 órdenes de magnitud logarítmica a dosis de 7 kGy.
- B.** La irradiación de lodos residuales con gammas de cobalto-60, a dosis de 10 kGy, disminuye la concentración de 22 compuestos orgánicos en un 70 % y la eliminación total de 6 compuestos de los 22 determinados, sobre muestras reales de lodos residuales, como se observa en los cromatogramas reportados.
- C.** La cantidad de lodos residuales generados en el área de estudio, (Estado de México, Morelos, Hidalgo, Querétaro y Tlaxcala) son en cantidad y contenido suficientes para procesarlos mediante el tratamiento por irradiación propuesto.
- D.** El comportamiento de las distintas concentraciones de metales pesados encontradas en las muestras de lodos residuales analizadas, muestran una tendencia a rebasar los niveles máximos permisibles para su aplicación en suelos, siendo ésta una limitante para su disposición final. En este caso; como las observadas para el cadmio en los Estados de México, Morelos, Hidalgo y Querétaro, en níquel el Estado de México y Morelos y en cromo el Estado de México.
- E.** Para irradiar y compostear lodos residuales, se deberá considerar la concentración y toxicidad de los metales pesados limitantes, por lo tanto, en el presente estudio se concluye que, la mezcla de lodo (58 %) con basura urbana (42 %) es adecuada para obtener una composta dentro de los niveles máximos permisibles de metales pesados para su aplicación en la restauración y recuperación de suelos.

F. El tratamiento por irradiación está limitado por una elevada concentración de metales pesados, ya que éstos, no se disminuirán con la irradiación.

G. Se tienen datos básicos como volumen de lodos en la región centro del país, número de instalaciones, tratamientos aplicados, destino, distribución y disposición final, composición química y biológica suficientes para establecer la factibilidad técnica del tratamiento de lodos residuales por irradiación.

H. Los mapas edafológicos muestran que el tipo de suelos existentes en la región de estudio, son la base para determinar la aplicación de los lodos residuales tratados por irradiación y composteo. Como ejemplo, es útil la aplicación de éste producto a suelos del tipo acrisol, ya que son suelos con poca materia orgánica, pobres en nutrientes y de un delgado espesor, por lo que, la aplicación de estos lodos tratados produce un mejoramiento del mismo.

I. El valor agronómico de los lodos residuales es importante por su composición química, propiedades físicas y biológicas, por lo que, el contenido de materia orgánica (16 % - 80 %), nitrógeno (0,21 % - 4,01 %), fósforo (0,03 %- 0,48 %) y potasio (397 ppm - 2167 ppm), son útiles como mejoradores del suelo y como nutrientes de los vegetales.

Por lo tanto, éste material es de gran beneficio en el acondicionamiento de suelos y/o como fertilizante orgánico con aplicaciones controladas.

J. Aunque no es objeto del presente trabajo, pero se presume que este tipo de acciones tienen un costo, que mediante el cual se asegura o se niega lo posible con lo factible. Algunos costos y cotizaciones de tratamiento irradiación por tonelada de peso seco de lodos: propuesto por Scott et. al en 1985 fue de 71 – 293 USA \$, en 1988 por Hashimoto de 12,000 Yenes Japonés y en 1993 por Mckewon para México de 12,29 Dólares Canadienses. Lo que muestra una tendencia a la baja de la aplicación de la tecnología de radiaciones.

2.1.1.6 Título del artículo (paper):

DESIGN OF ELECTRON BEAM SLUDGE HYGIENIZATION PLANT

Apellidos y nombres de los autores:

Kim Y., Han B., Kim K., Ben Yaacov N, Jeong Y

Lugar de ejecución: Korea, e Israel

Año de ejecución: 2009

Instituciones que respaldan el estudio

- EB TECH Co. Ltd., Daejeon, Korea
- Bar Idam Ltd., Shimshit, Israel
- Kongju National University, Korea.

Finalidad del estudio

Se ha demostrado que una dosis de 2,3 kGy destruye más del 99,9% de las bacterias presentes en los lodos de depuradora conduce a la casi completa eliminación huevos de helmintos y la inactivación de los agentes causantes de enfermedades en los animales [Sabharwal et al., 2004].

Las dosis de esta magnitud se emplean para el tratamiento de radiación de lodos de aguas residuales en una planta industrial en Geiselbullach, Alemania [Lessel y Suess, 1984], y las dosis ligeramente superiores (4 kGy) son utilizados en una planta piloto de cerca de Boston, EE.UU. [Trump et al., 1984]. Se requieren dosis más altas (hasta 10 kGy) para inactivar más organismos resistentes a la radiación. Las dosis de 10 kGy fueron utilizados en una planta de tratamiento de aguas residuales en Albuquerque EE.UU. [Sivinski y Ahlstrom, 1984], y en una instalación en Ucrania [Vysotskaya, 1.983].

En la década de 1980, las plantas piloto basadas en aceleradores de electrones, se puso en servicio cerca de Miami, EE.UU. [Cooper et al., 1998], y en Takasaki, Japón [Hashimoto et al., 1988].

En una planta de tratamiento de lodos con haz de electrones es operado en Takasaki, lodo deshidratado circula a través de una amplia boquilla plana en una cinta transportadora de acero inoxidable.

Más plantas a gran escala utilizando una fuente de rayos gamma se encuentra en funcionamiento en Vadodara, India [Sabharwal et al., 2004]. Acerca de 3 kGy de dosis absorbida se elimina el 99,99% de las bacterias patógenas a partir de lodos líquidos de depuradora constantemente, de manera fiable, segura y simple.

Conclusiones

La irradiación con haz de electrones a lodos de aguas residuales, mostraron una buena eliminación de microorganismos en un sistema de irradiación continua con un transportador alimentador tipo de boquilla nd. En más de 3 kGy todos los microorganismos son desinfectados en un orden de 3 a 4, y en 10 kGy la fracción superviviente de microorganismos en la torta de lodo, mostraron sustancial eliminación del riesgo de infección por patógenos.

Una planta de tratamiento de lodos industriales con una capacidad para tratar 7 000 m³ de lodo deshidratado por mes (18% de contenido de sólidos totales) a 10 kGy, ha sido diseñada con un acelerador de electrones (2,5MeV, 100 kW) y operando sus instalaciones. El costo de operación por metro cúbico de lodos irradiados sería de alrededor de USD 4,4, y puede ser reducido a USD 2,2.

2.1.1.7 Título del Artículo (paper):

Disinfection and reduction of organic load of sewage water by electron beam radiation

Apellidos y nombres de los autores:

Y. Avasn Maruthi, N. Lakshmana Das, Kaizar Hossain, K. S. S. Sarma, K. P. Rawat & S. Sabharwal.

Lugar de ejecución: Andhra Pradesh, India

Año de ejecución: 2011

Instituciones que respaldan el estudio:

- Department of Environmental Studies, GIS, GITAM Institute of Science
- Radiation Technology Development Division, Bhabha Atomic Research Centre (BARC), Mumbai, India.

Finalidad del estudio:

Investigar los efectos de la irradiación con haz de electrones, sobre los microorganismos para su inactivación a gran escala, principalmente en los patógenos, así como en la reducción de la carga orgánica presente en las aguas residuales y lodos.

Conclusiones:

En la búsqueda de metodologías y alternativas de desinfección más limpias, la tecnología de tratamiento con radiación ionizante producida por aceleradores de electrones (haz de electrones-EB) presenta una alternativa ecológica sin el uso de productos químicos.

En el método convencional de desinfección, la cloración del agua da como resultado la formación de órgano-cloro tóxico productos que son mutagénicos y cancerígenos por naturaleza.

Según los resultados obtenidos, la tasa de dosis de 3 kGy mostró ser la más eficiente para la desinfección de aguas residuales, así mismo esa tasa de dosis mostró una mejora sustancial en la calidad de las aguas residuales con una disminución eficiente en la carga orgánica que conducen a un mejor proceso de biorremediación.

En la irradiación, la materia orgánica en las aguas residuales se degradará a través de una transformación de formas moleculares complejas, a formas más simples que son metabolizadas fácilmente por la microflora del suelo nativo durante la irrigación.

De manera similar, a una tasa de dosis alta (6 kGy) el porcentaje de eliminación de la carga orgánica en las aguas residuales aumentó al 50% de su carga inicial.

2.1.1.8 Título del Artículo (paper):

Application of radiation technology to sewage sludge processing: review

Lugar de ejecución: Beijing, China

Año de ejecución: 2007

Apellidos y nombres de los autores: Wang Jianlong, Wang Jiazhuo

Instituciones que respaldan el estudio: Tsinghua University, Beijing, Institute of Nuclear and New Energy Technology, China, Laboratory Environmental Technology, Beijing.

Finalidad del estudio:

Revisión de los efectos de la irradiación en lodos:

1. El efecto de la radiación sobre los microorganismos patógenos
2. El efecto de la radiación sobre los contaminantes orgánicos
3. Otros efectos causados por la radiación ionizante

Conclusiones:

La radiación ionizante es muy eficiente en la eliminación de patógenos, destrucción de contaminantes orgánicos, modificación de propiedades de acondicionamiento y espesamiento del lodo de aguas residuales.

El lodo irradiado a un nivel seguro, tiene un uso potencial en la agricultura dentro del permiso legislativo como acondicionador de suelos o fertilizante, que puede beneficiar económicamente a las administraciones municipales y los granjeros, esto puede tener un gran significado para algunos países en desarrollo en la mejora del rendimiento de los cultivos y, finalmente, la reducción de la pobreza.

El lodo era de interés de muchos investigadores en el pasado, pero hubo poco progreso en el uso práctico, especialmente en la aplicación a gran escala, principalmente debido a la actitud conservadora de los gobiernos. Sin embargo, esta actitud conservadora resulta en gran medida del poco saber sobre esta tecnología.

De hecho, el procesamiento de la radiación es una industria regular y ha estado operando de manera segura por más de 40 años. Los trabajadores en las instalaciones viven una vida normal, la vida cumple con las normas estándar de salud y seguridad. Más allá de las experiencias exitosas de operación de 40 años, el uso avanzado en la tecnología de control y monitoreo, junto con el cuidado diseño, operación y mantenimiento bajo las pautas de la International Atomic Energy Agency (IAEA) y otras organizaciones internacionales pueden proporcionar suficiente garantía de seguridad.

Numerosas investigaciones básicas sobre el empleo de tecnología de radiación para procesar lodos de aguas residuales municipales se han reportado en las últimas décadas. Sin embargo, aún queda trabajo por hacer para promover esta tecnología prometedora hacia su amplia aplicación. Uno de los problemas más urgentes que deben abordarse es el análisis de factibilidad económica y su

demostración. Más plantas piloto de demostración también juegan un papel importante en el desarrollo de su aplicación práctica.

2.1.2 Investigaciones nacionales

2.1.2.1 Título de la Tesis para Optar el Título de Ingeniero Industrial:

Valoración de lodos sedimentados generados en las lagunas de estabilización de Epsel para uso como abono orgánico

Lugar de ejecución: Chiclayo (Empresa EPSEL), Perú

Año de ejecución: 2014

Apellidos y Nombres del autor: Burga Rafael, Alberto Fernando

Institución que respaldó el estudio:

Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo; Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Industrial.

Objetivo general:

El presente trabajo tiene como finalidad la valorización de los lodos que se generan en las lagunas de estabilización de la empresa Epsel S.A., partiendo de la falta de tratamiento sobre estos lodos;

Tipo y diseño metodológico de la investigación:

Se estableció la metodología para obtener el abono orgánico a partir de los lodos, resultando el proceso de compostaje por pilas de volteo como el más viable.

Conclusiones:

- ✓ El proyecto muestra como alternativa viable la valorización de los lodos sedimentados de las lagunas de estabilización de EPSEL S.A. para uso como abono orgánico.
- ✓ La producción de abono orgánico en la región es viable debido a la gran demanda existente por el uso de fertilizantes, teniendo una proyección para el año 2014 de 926 751 toneladas y que aumentará en 15,54% para el año 2020; de esta manera tenemos mercado asegurado para nuestro producto.
- ✓ La caracterización de los lodos residuales generados en las lagunas de estabilización de la Empresa EPSEL S.A. en sus propiedades físicas y químicas,

da resultados viables para la producción de abono, presentando características como pH igual a 7,95, relación C/N de 15/1 que se encuentran dentro de los parámetros para poder usar como enmienda de suelos y no alterar las propiedades físicas de los mismos.

- ✓ El proceso de compostaje de pilas por volteo, es el método más viable en cuanto a bajo costo se refiere, simplicidad de proceso, además de ser un proceso natural es una opción efectiva para contribuir a la regeneración de suelos; ya que brinda efectos positivos en la biología del mismo como una alternativa ante los fertilizantes químicos.
- ✓ La planta de compostaje situada en la ciudad de Chiclayo favorece por la cercanía de la materia prima reduciendo los costos de transporte. Para la distribución de la planta se estableció el área de recepción de 717,45 m², formación de pilas 1 434,91 m², maquinaria 762,14 m², envasado 358,73 m² y 210 m² para áreas adicionales; teniendo un total de 3 483,23 m² para toda la planta.
- ✓ Desde el punto de vista económico, la alternativa tecnológica evaluada es viable en virtud de la relación beneficio-costos evaluada ya que los ingresos superan los egresos.

2.1.2.2 Título de la Tesis Doctoral:

Tratamiento biofísico de las aguas residuales para el uso en el ecosistema urbano.

Lugar de ejecución: Distrito de Surco, Lima – Perú

Año de ejecución: 2008

Apellidos y Nombres del autor: Rosadio Bernal, Raúl.

Institución que respaldó el estudio:

Universidad Nacional “Federico Villarreal” – Perú. Escuela Universitaria de Post Grado

Área de Ingeniería, Arquitectura y Ciencias Básicas

Objetivo general:

Evaluar la eficiencia del sistema biofísico en el mejoramiento de la calidad de agua del Río Surco a niveles exigidos por la OMS para el riego de áreas verdes desde la perspectiva del desarrollo sostenible como alternativa para el tratamiento de aguas residuales.

Tipo y diseño metodológico de la investigación:

El estudio es experimental: se trabajó con las variables calidad de agua sin tratar y tratada. De manera específica: nivel de contaminación de los parámetros fisicoquímicos y biológicos en los diferentes puntos de muestras tomada en el proceso de tratamiento.

El tipo de investigación, es descriptivo, correlacional y explicativo, porque describe conceptos, relaciona el tipo de tratamiento con las causas y los efectos y los explica. El tipo de investigación nos señaló la estrategia de la investigación: El diseño, los datos que se recolectan, la manera de obtenerlos, el muestreo y otros componentes del proceso de investigación. Es también longitudinal, porque se estudia las variables propuestas en un periodo de tiempo.

Muestra:

El universo de estudio lo constituyen los 3 litros/segundo de aguas provenientes del rio surco que ingresan a la planta de tratamiento. La superficie aproximada de la planta de tratamiento es un área de 450 m².

Instrumentos utilizados:

- Equipo Esterilizador Ultravioleta, cuyas características son:
 - Cantidad : Una unidad
 - Marca : AQUAFIL-USA
 - Modelo : UV-50
 - Material : Carcaza de Acero Inoxidable
 - N° de Lámparas UV : 5 Lámparas
 - Presión mínima : 90 psi
 - Flujo de servicio : 50 GPM
 - Presión máxima : 125 psi
 - Voltaje de trabajo : 220 VAC / 60 Hz
- Incubador de DBO a temperatura constante de 20 °C (determinación de DBO₅)
- Estufa con temperatura de 105 °C, Marca Yamato (determinación de sólidos suspendidos)
- Mufla con temperatura de 500 °C (determinación de sólidos volátiles).
- Medidor de Oxígeno
- Medidor de pH
- Reactor con temperatura de 150 °C (determinación de DQO)
- Bomba de vacío

- Turbidímetro
- Centrífuga para concentrar el lodo para la determinación de parásitos
- Equipo de filtración: Filtro de grava Multigranular
- Equipo pulidor de agua: Microfiltro pulidor
- Equipos de bombeo Marca Hidrostal, de 3.4 HP de potencia, trifásico de 220 VAC / 60 Hz

Método:

El estudio fue ejecutado por la Municipalidad del distrito de San Borja, en el parque de la Felicidad, situado en la provincia y departamento de Lima, capital del Perú. Tiene como objetivo descontaminar el agua del río surco por medio del sistema biofísico. Es multibarrera y combina dos técnicas: Una biológica, encargada de bajar la carga orgánica y la otra física, Radiación Ultra Violeta (UV), para desinfectar las aguas pretratadas biológicamente. Este sistema ha mejorado la experiencia de la PTAR del “María Reiche” de Miraflores. Los estudios se han realizado en la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática de la Universidad Nacional “Federico Villarreal” y la ONG AQUAVIDA.

Conclusiones:

De acuerdo a los resultados, el sistema de tratamiento biofísico de aguas residuales está enmarcado dentro del desarrollo sostenible; porque cumple con las tres dimensiones principales de todo sistema de sostenibilidad: 1) Económica 2) Social y 3) Ambiental.

2.1.2.2 Título de la Tesis para obtener título profesional de Ingeniero Químico:

Tratamiento de aguas residuales mediante radiación gamma.

Lugar de ejecución: Lima, Perú

Año de ejecución: 1990

Apellidos y Nombres del autor: Méndez Quincho, Leonor Carmen

Instituciones que respaldan el estudio:

Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM), Perú; Facultad de Química e Ingeniería Química, UNMSM.

Objetivo General:

Evaluar la tratabilidad de las aguas residuales mediante radiación gamma para su reúso en riego agrícola, en función de los tipos de cultivos.

Tipo y diseño metodológico de la investigación:

En el diseño experimental del estudio y selección de la dosis de irradiación para diferentes niveles de tratamiento, se consideró informaciones anteriores, tales como la de conservación de alimentos (25) según la cual para la degradación de carbohidratos, proteínas y lípidos se requiere dosis entre 5 y 70 KGy. Otros trabajos sobre desinfección de aguas residuales y lodos en México (26) y Estados Unidos (1) indican la necesidad de dosis de radiación gamma entre 1 y 1,75 kGy para conseguir una reducción bacteriana de un 99%, y para inactivar el 90% de huevos de *Áscaris lumbricoides* es necesario una dosis de 0,5 kGy.

Muestra:

Las muestras de aguas residuales se tomaron en el complejo de tratamiento de aguas residuales de San Juan de Miraflores, en donde se trata mediante lagunas facultativas los desechos líquidos del distrito de San Juan de Miraflores, Ciudad de Dios y Pamplona Alta. Se realizó los muestreos a partir de las 8:00 a.m. a fin de tener una muestra representativa, dado que el promedio en la concentración de contaminantes se presenta entre las 8:00 a 10:00 a.m.

Instrumentos utilizados:

Las pruebas de tratabilidad se realizaron en los siguientes Laboratorios:

IPEN: Dosimetría del equipo experimental y dobles enlaces.

CEPIS: DQO, N – Total, N – Amoniacal, pH, sólidos suspendidos y variabilidad de huevos de *Áscaris suum*.

DITESA: DBO, OD, C. Totales, C. fecales y conductividad eléctrica.

Método:

La primera serie de pruebas consistió en evaluar la degradabilidad de la materia orgánica e inorgánica (ver tabla 13) para lo cual se irradió entre 0 y 5 KGy, encontrándose que no existe una reducción apreciable en la concentración de la materia orgánica e inorgánica. A excepción de la materia orgánica biodegradable (DBO), que es representativa a causa de la inactivación de los microorganismos que actúan en la degradación de la materia orgánica.

Dosis (KGy)	0	1	2	3	5	N° de Análisis
Determinaciones						
DBO (mg/L)	X	X	X	X	X	4
OD (mg/L)	X	X	X	X	X	4
DQO (mg/L)	X	X	X	X	X	4
N – NH ₃ (mg/L)	X	X	X	X	X	4
N–Total (mg/L)	X	X	X	X	X	4
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	X	X	X	X	X	4
pH (unidades)	X	X	X	X	X	4
Cond. Eléctrica (µmho/cm)	X	X	X	X	X	2
Dobles enlaces	X	X	X	X	X	3

Tabla N° 13: Determinaciones vs. dosis de radiación gamma absorbida para determinar la degradabilidad de la materia orgánica.

En una segunda etapa, se procedió a irradiar el afluente crudo hasta una dosis de radiación gamma absorbida máxima de 52,5 kGy de acuerdo a lo indicado en la tabla 14.

Dosis (KGy)	0.00	7.00	23.00	30.00	52.5	N° de Análisis
Determinación DQO (mg/L)	X	X	X	X	X	5

Tabla N° 14: DQO vs. dosis de radiación gamma absorbida

Pero en esta oportunidad solo se determinó la demanda química de oxígeno (DQO), encontrándose que para las dosis aplicadas tampoco se presenta reducción apreciable. En vista de los resultados dentro del rango de aplicación práctica y teniendo en cuenta las recomendaciones sobre la calidad de las aguas residuales para su reúso en agricultura, se diseñó una segunda etapa, orientada a ver la efectividad de la inactivación de los huevos de *Áscaris suum*, nemátodo propio del ganado bovino y porcino, y obtenido del camal de Yerbateros; este nemátodo tiene características semejantes con los *Áscaris lumbricoides* que son exclusivos del hombre y se irradió a dosis que variaron de 0 a 5 KGy (ver tabla 15).

Dosis (KGy)	0.00	1.00	1.20	1.40	1.60	1.80	3.0	5.0	N° de Análisis
Determinaciones									
Áscaris (% huevos larvados)	X	X	X	X	X	X	X	X	8

Tabla N° 15: Programa de la evaluación de la influencia de la radiación gamma en la larvación de *Áscaris suum*.

La tercera etapa estuvo dirigida a determinar la tasa de degradación de bacterias, y al efecto se seleccionó el coliforme fecal, que viene a ser los indicadores de la contaminación fecal y el medio de evaluación de la efectividad del tratamiento de las aguas residuales. En la Tabla 16 se indica la dosis aplicada con este propósito.

Dosis (KGy)	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	1.20	1.40	N° de Análisis
Determinaciones									
C. Totales (NMP/100 mL)	X	X	X	X	X	X	X	X	8
C. Fecales (NMP/100 mL)	X	X	X	X	X	X	X	X	8

Tabla N° 16: Programa de evaluación de la influencia de la radiación gamma en la concentración de coliformes.

Conclusiones:

Como resultado del presente trabajo se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- El método de tratamiento con radiaciones gamma es efectivo para eliminar bacterias y parásitos.
- El tratamiento con radiaciones gamma no es efectivo para reducir DBO, o materia orgánica.
- El estudio indica que aún no es económicamente rentable tratar las aguas residuales con radiaciones gamma, puesto que el costo de tratamiento comparado con el costo de las lagunas de oxidación es muy elevado; siendo el costo de tratamiento por lagunas para obtener la calidad de agua residual del caso C (cultivos para el consumo humano en crudo) de 0,04 US. \$/m³, mientras que por radiaciones es de 0,57 US. \$/m³.

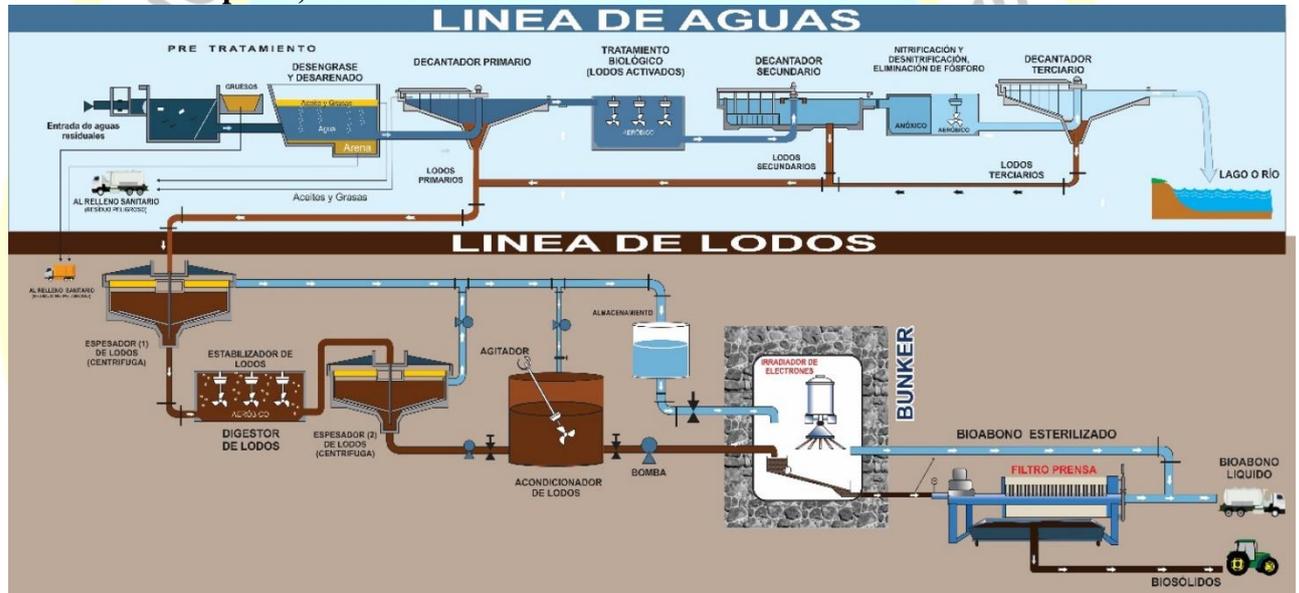
2.2 Bases teóricas

2.2.1 Material a irradiar: Lodos residuales efluentes de PTAR o fangos. - Los lodos residuales o fangos (material a irradiar), son residuos sólidos, semisólido o líquidos, generados en las diferentes etapas físicas, químicas y/o biológicas del proceso de depuración de aguas residuales urbanas (ver figura 05), que aún *no han sido sometidos a un proceso de estabilización*; siendo el material que *ingresa a la etapa o línea de tratamiento de lodos para su estabilización y desinfección completa* y convertirse en biosólidos.

Los lodos efluentes de PTAR: “Resulta de un procesos de acumulación consecutiva de tres fenómenos combinados como son la producción de microorganismos, la acumulación de materias en suspensión y la acumulación de materias orgánicas no biodegradables en las condiciones de trabajo” (Giaye, 2015, pág. 4).

Lodo generado en PTAR: Es el sedimento acuoso o pastoso en el que concentran los sólidos sedimentados o decantados del agua residual, del reactor biológico o de un proceso terciario (MVCS, 2017d, pág. 36).

Figura 5: Propuesta de operaciones y procesos para la línea de tratamiento de lodos efluentes de la PTAR- Espinar, de la zona urbana del distrito de Puno.



Nota: Elaboración propia / adaptado de (Ayuntamiento Zaragoza, 2012) citado en (Mantilla, 2016, pág. 11)

Figura 6: Vistas de lodos generados en PTAR



Nota: (Barrios, 2009, pág. 2)

Estabilización o tratamiento de lodos residuales para obtener biosólidos. – El término estabilización debe entenderse como un conjunto de procesos (físicos, químicos, y biológicos) que *dan como producto terminado a un lodo denominado biosólidos* con propiedades tales que después del proceso puede ser reaprovechado sin afectar la salud pública o el medio ambiente.

Estabilización de lodo: “Es el proceso de reducción de fracción orgánica (Sólidos Volátiles – SV) en relación a la materia seca (Sólidos Totales – ST) para controlar la degradación biológica en el producto, los potenciales de generación de olores, de atracción de vectores y de patogenicidad aplicados a lodos de PTAR” (MVCS, 2017b). La estabilización o tratamiento de lodos persigue los siguientes objetivos:

- (1) La estabilización física (la reducción de volumen por espesamiento, la deshidratación, y la higienización por desinfección y/o esterilización).
- (2) La estabilización química (la no emisión de gases ni olores desagradables, y la mineralización por oxidación de la materia orgánica volátil).
- (3) La estabilización biológica (la reducción de la presencia de microorganismos patógenos, parásitos y virus para reducir su actividad biológica; por lo tanto, la reducción del poder de fermentación o del potencial de putrefacción de la materia orgánica).

Un lodo estabilizado o biosólido será de buena calidad (de clase A) si no contiene microorganismos patógenos, sin olor y con propiedades que no atraigan vectores de transmisión de enfermedades (insectos, roedores, etc.), es decir está completamente higienizado.

Figura 7.- Vista de acopio de biosólidos (lodos estabilizados) de PTAR



Nota: (Barrios, 2009, pág. 3)

2.2.1.1 Caudal de lodos (flujo volumétrico)

Es la cantidad de volumen de lodos producidos en el tiempo en una PTAR; se mide en metros cúbicos por día ($m^3/\text{día}$), y/o Litros por segundo ($L/s = \text{Ips}$); también se mide en (Kg de Materia Seca de lodo/ m^3 de agua depurada). El caudal de lodos producidos o generados es principalmente dependiente de:

- El tamaño (número de habitantes) de la población atendida por la PTAR, y
- El tipo de tecnología (aeróbica o anaeróbica) utilizada en el proceso de depuración de las aguas residuales. Se sabe que los procesos aireados (aeróbicos) son los que producen más lodos que los procesos anaeróbicos. Ver Tabla 2.

Según la Agencia de Promoción de la inversión Privada-Perú (ProInversión, 2018a), “a un horizonte de 30 años la población atendida por la PTAR Puno próxima a construirse, alcanzará a 314 000 habitantes beneficiados, mientras que la PTAR de Juliaca alcanzará a 670 000 habitantes beneficiados”. Así mismo en ambos casos se usará la tecnología aeróbica de lodos activados con decantación primaria, nitrificación y desnitrificación, y desinfección del agua residual con rayos ultravioleta; adicionalmente para Puno incluye un proceso de precipitación química de fósforo, un emisario sublacustre y una línea de tratamiento de lodos. Así mismo, para el caso de los sistemas de tratamiento y disposición final de las aguas residuales, se considerarán como mínimo los siguientes caudales promedio (Q_p), ver Tabla 1.

Tabla 1: Flujos para los sistemas de tratamiento y disposición final de aguas residuales de diferentes PTAR de Puno a un horizonte de 30 años.

1.- Juliaca:	752 L/s	4.- Ayaviri:	51 L/s
2.- Puno:	359 L/s	5.- Juli:	40 L/s
3.- Ilave:	95 L/s	6.- Moho:	20 L/s

Nota: (ProInversión, 2018a, pág. 5)

Cuántía de producción de lodos efluentes de PTAR. – Para estimar la producción de lodos efluentes tratados en una PTAR, se puede utilizar los valores que corresponda de la Tabla 2 y Tabla 3, y/o la información similar siguiente:

“Un habitante produce entre 15 – 20 Kg de Materia Seca /año (0,2 kg de Materia Seca /m³ de agua depurada)” (Giaye, 2015, pág. 4).

“Cada persona en los Estados Unidos produce cerca de 30 - 50 lb (13,6 – 22,7 Kg) secas de biosólidos (previamente conocido como aguas residuales tratadas) anuales” (Platt et al, 2014) citado en (Osoreo-Hampton, 2017, pág. 1).

Tabla 2: Cantidad de lodos producidos por diferentes tratamientos

Tratamiento	Masa de lodos secos (g/habitante. día)	Sólidos secos (%)	Cantidad de lodos (L/habitante. día)
Lodo crudo primario	54	5	1,08
Lodo digerido primario	34	10	0,34
Lodo crudo secundario	74	5	1,48
Lodo digerido secundario	48	8	0,6
Lodo crudo de tratamiento biológico	85	4.5	1,87
Lodo digerido de tratamiento biológico	55	7	0,79

Nota: Traducido de (Graño, 2001, pág. 164).

De acuerdo con (Andreoli, C. V., Sperling, M., y Fernandes F., 2007, pág. 7) en “Características de los lodos en cada etapa del proceso de tratamiento: Lodos mezclados (primario y secundario) provenientes de sistemas de lodos activados convencional, y digeridos por proceso anaeróbico tienen una concentración de sólidos secos de (3 – 6)% y una masa producida de sólidos suspendidos en los lodos de (38 – 50) g SS/habitante/día”.

Tabla 3: Cantidades de lodos producidos en varios sistemas de tratamiento de agua residual.

CARACTERÍSTICAS DE LODOS RESIDUALES PRODUCIDOS DESDE LA FASE LÍQUIDA (DIRIGIDO A LA ETAPA DE TRATAMIENTO DE LODOS)				
SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	Kg SS/Kg COD aplicado	Contenido de Sólidos secos (%)	Masa de lodos (g SS/habitante día) (a)	Volumen de lodos (L/habitante día) (b)
Tratamiento primario (convencional)	0,35 – 0,45	2 - 6	35 - 45	0,6 – 2,2
Tratamiento primario (tanque séptico)	0,20 – 0,30	3 - 6	20 - 30	0,3 – 1,0
Laguna facultativa	0,12 – 0,32	5 - 15	12 - 32	0,1 – 0,25
Estanque anaeróbico – Estanque facultativo				
Estanque anaeróbico	0,20 – 0,45	15 - 20	20 - 45	0,1 – 0,3
Estanque facultativo	0,06 – 0,10	7 - 10	6 - 10	0,05 – 0,15
Total:	0,26 – 0,55	-	26 - 55	0,15 – 0,45
Laguna facultativa aireada	0,08 – 0,13	6 - 10	8 - 13	0,08 – 0,22
Estanque de mezcla completa aireado y con sedimentación.	0,11 – 0,13	5 - 8	11 - 13	0,15 – 0,25
Tanque séptico + filtro anaeróbico				
Tanque séptico	0,20 – 0,30	3 - 6	20 - 30	0,3 – 1,0
Filtro anaeróbico	0,07 – 0,09	0,5 – 4,0	7 - 9	0,2 – 1,8
Total	0,27 – 0,39	1,4 – 5,4	27 - 39	0,5 – 2,8
Lodos activados convencional				
Lodo primario	0,35 – 0,45	2 - 6	35 - 45	0,6 – 2,2
Lodo secundario	0,25 – 0,35	0,6 – 1,0	25 - 35	2,5 – 6,0
Total	0,60 – 0,80	1 - 2	60 - 80	3,1 – 8,2
Lodos activados con aireación extendida	0,50 – 0,55	0,8 – 1,2	40 - 45	3,3 – 5,6
Filtro de goteo de alta velocidad				
Lodo primario	0,35 – 0,45	2 - 6	35 - 45	0,6 – 2,2
Lodo secundario	0,20 – 0,30	1 – 2,5	20 - 30	0,8 – 3,0
Total	0,35 – 0,75	1,5 – 4,0	55 - 75	1,4 – 5,2
Biofiltro sumergido aireado				
Lodo primario	0,35 – 0,45	2 - 6	35 - 45	0,6 – 2,2
Lodo secundario	0,25 – 0,35	0,6 - 1	25 - 35	2,5 – 6,0
Total	0,60 – 0,80	1 - 2	60 - 80	3,1 – 8,2
Reactor UASB	0,12 – 0,18	3 - 6	12 - 18	0,2 – 0,6
UASB + postratamiento aeróbico (c)				
Lodos anaeróbicos (UASB)	0,12 – 0,18	3 - 4	12 - 18	0,3 – 0,6
Lodos aeróbicos (post tratamiento) (d)	0,08 – 0,14	3 - 4	8 - 14	0,2 – 0,5
Total	0,20 – 0,32	3 - 4	20 - 32	0,5 – 1,1

Nota: Traducido de: (Andreoli, C. V., Sperling, M., y Fernandes F., 2007, pág. 5).

Nota: En las unidades con largos tiempos de retención de fangos (por ejemplo: Estanques, fosas sépticas, reactores UASB, filtros anaeróbicos) todos los valores incluyen un espesamiento (que reduce la masa y el volumen de fangos) dentro de la propia unidad. SS = Sólidos Suspendidos. COD = Demanda Química de Oxígeno. (a) Asumiendo 0,1 Kg COD/habitante.día y 0,06 Kg SS/habitante.día. (b) Litros de lodo/habitante.día = [(g SS/habitante.día) / (sólidos secos (%))] \times (100/1000) asumiendo la densidad de lodo como 1000 Kg/m³.

Tabla 4: Densidad, gravedad específica, razón SV/ST y porcentaje de sólidos secos para varios tipos de lodos.

Tipos de lodo	Razón SV/ST	Sólidos secos (%)	Gravedad específica de sólidos	Gravedad específica de lodos	Densidad de lodo (Kg/m ³)
Lodo primario	0,75–0,80	2-3	1,14-1,18	1,003-1,01	1003-1010
Lodo secundario anaeróbico	0,55-0,60	3-6	1,32-1,37	1,01-1,02	1010-1020
Lodo secundario aeróbico (lodo activado convencional)	0,75-0,80	0,6-1,0	1,14-1,18	1,001	1001
Lodo secundario aeróbico (lodo activado, aireación ext.)	0,65-0,70	0,8-1,2	1,22-1,27	1,002	1002
Tanque de estabilización de lodos	0,35-0,55	5-20	1,37-1,64	1,02-1,07	1020-1070
Lodos primarios espesados	0,75-0,80	4-8	1,14-1,18	1,006-1,01	1006-1010
Lodos secundarios espesados (lodo activado convencional)	0,75-0,80	2-7	1,14-1,18	1,003-1,01	1003-1010
Lodos secundarios espesados (lodo activado, aireación ext.)	0,65-0,70	2-6	1,22-1,27	1,004-1,01	1004-1010
Lodos mixtos espesados	0,75-0,80	3-8	1,14-1,18	1,004-1,01	1004-1010
Lodos mixtos digeridos	0,60-0,65	3-6	1,27-1,32	1,007-1,02	1007-1020
Lodos deshidratados	0,60-0,65	20-40	1,27-1,32	1,050-1,1	1050-1100

Nota: Traducido de (Andreoli, C. V., Sperling, M., y Fernandes F., 2007, pág. 14)
SV = Sólidos Volátiles, ST = Sólidos Totales

2.2.1.2 Concentración de contaminantes microbiológicos. - Culminado el proceso de tratamiento de aguas residuales, el agua efluente de la PTAR se encuentra prácticamente cuasi libre de microorganismo patógenos; sin embargo, en las etapas de sedimentación primaria y sedimentación secundaria los microorganismos patógenos se concentran en los lodos. En la Tabla 5, Tabla 7, y Tabla 8 se puede observar la concentración de contaminantes microbiológicos de diferentes tipos de lodos.

Tabla 5: Niveles de indicadores de presencia de bacterias patógenas y virus en lodos

Lodos sin tratar	Coliformes totales	Coliformes fecales	Streptococci fecal	Especies de salmonella	Pseudomonas aeruginosa	Virus entéricos (NMP)
Primario	10 ⁶ - 10 ⁸	10 ⁶ - 10 ⁷	~10 ⁶	4x10 ²	3x10 ³	0,002-0,004
Secundario	10 ⁷ - 10 ⁸	10 ⁷ - 10 ⁹	~10 ⁶	9x10 ²	1x10	0,015-0,026
Mezcla	10 ⁷ - 10 ⁹	10 ⁵ - 10 ⁶	~10 ⁶	~5x10 ²	~10 ³ - 10 ⁵	-

Nota: (Morales Rojo, 2005, pág. 21)

Las unidades son: Número de organismos por gramo de peso seco

Según (Morales Rojo, 2005, pág. 21), “existen tres tipos de microorganismos contenidos en los lodos que representan una amenaza para la salud pública, estos son las bacterias, los parásitos, y los virus. *Salmonellae* es el grupo de bacterias predominante en los lodos, y numerosas otras bacterias patógenas están presentes. *Salmonellae* puede inactivarse por medio de incineración, y procesos como la digestión (aerobia o anaerobia) no conseguirá eliminarlo, pero si reducir considerablemente el riesgo de alguna infección. Los parásitos presentes en los lodos incluyen los huevos de cisticercos, nemátodos y especies de áscaris, un solo embrión de cualquiera de estas especies es suficiente para causar una infección. Al igual que las bacterias la digestión de lodos solo reduce el número de parásitos. Dentro de los virus podemos encontrar los causantes de la polio, la hepatitis, el cólera, tifoidea, así como rotavirus causantes de problemas gastrointestinales”.

Tabla 6: Principales grupos de organismo patógenos y parásitos contenidos en los lodos residuales

GRUPO	AGENTES	EFECTOS EN LA SALUD
Bacterias	<i>Salmonella Typhi</i>	Fiebre tifoidea, paratifoidea
	<i>Salmonella paratyphi A y B</i>	Disentería basilar
	<i>Shigella sp</i>	Cólera
	<i>Vibrio cholerae</i>	Gastroenteritis agudas, diarreas
	<i>Escherichia Coli</i>	Diarreicas
	<i>Salmonella sp</i>	Diarreicas
Virus	<i>Virus Hepatitis A y E</i>	Hepatitis
	<i>Virus de la Polio</i>	Poliomielitis
	<i>Virus de Norwalk</i>	Gastroenteritis aguda y crónica
	<i>Rotavirus</i>	Meningitis
	<i>Enterovirus</i>	Enteritis
Protozoo a	<i>Entamoeba histolítica</i>	Disentería amebiana
	<i>Giardia lamblia intestinales</i>	Gastroenteritis
Helmintos	<i>Taenia saginata</i>	Cisticercosis
	<i>Ascaris lumbricoides</i>	Ascariasis
	<i>Tricheuris tricheuria</i>	Tricocefalosis o tricuriasis
	<i>Toxocara spp</i>	Toxoplasmosis

Nota: Cordero (2010) citado en (García Cárdenas, 2016, pág. 21)

Para desinfectar y/o esterilizar los lodos residuales de todos estos microorganismos, proponemos en este estudio utilizar la irradiación con haces electrónicos de mediana energía. Se sabe que la irradiación de lodos residuales con haces electrónicos de mediana y/o alta energía se puede conseguir altos niveles de desinfección, hasta niveles de esterilización (eliminación total absoluta de microorganismos), y convertirlo en un material totalmente inocuo (biosólido), agregando un valor económico y ambiental, cumpliendo con la Normatividad vigente para su uso en agricultura.

Tabla 7: Composición y características de lodos de PTAR

PARÁMETROS	Lodos primarios	Lodos secundarios (mezcla de lodos activados)	Lodos primarios + secundarios (digeridos)
SS (g/habitante.día)	30 - 36	18 - 29	31 - 40
Contenido de agua (%)	92 - 96	97,5 - 98	94 - 97
SSV (%SS)	70 - 80	80 - 90	55 - 65
Grasas (%SS)	12 - 14	3 - 5	4 - 12
Proteínas (%SS)	4 - 14	20 - 30	10 - 20
Carbohidratos (%SS)	8 - 10	6 - 8	5 - 8
pH	5,5 - 6,5	6,5 - 7,5	6,8 - 7,6
Nitrógeno (%SS)	2 - 5	1 - 6	3 - 7
Fósforo (%SS)	0,5 - 1,5	1,5 - 2,5	0,5 - 1,5
Bacterias patógenas (NMP/100 mL)	$10^3 - 10^5$	$10^2 - 10^3$	$10 - 10^2$
Organismos parásitos (NMP/100 mL)	8 - 12	1 - 3	1 - 3
Metales pesados (%SS): Zn, Cu, Pb	0,2 - 2	0,2 - 2	0,2 - 2
Cantidad de fango* (L/habitante. día)	0,7*	1,7*	0,9*

Nota: Adaptado de: Hernández M. A. (1992) citado en (Oropeza, 2006, pág. 62); (Giaye, 2015, pág. 22); y * (Torres, 2012, pág. 7).

SS: Sólidos Suspendidos. SSV: Sólidos Suspendidos Volátiles, NMP: Número Más Probable.

Tabla 8: Concentración de organismos patógenos en lodos primarios y lodos digeridos.

PATÓGENO	TIPO DE LODO	DENSIDAD DE PATÓGENOS
Huevos de Helmintos	Lodo primario	$10^3 - 10^4/\text{kg ST}$
	Lodo digerido	$10^2 - 10^3/\text{kg ST}$
	Lodo parcialmente deshidratado	$10^1 - 10^3/\text{kg ST}$
	Lodo parcialmente deshidratado de tratamiento aeróbico.	$10^2 - 7,5 \times 10^4/\text{kg ST}$
	Lodo anaeróbico	$6,3 \times 10^3 - 1,5 \times 10^4/\text{kg ST}$
Quistes de protozoarios	Lodo primario	$7,7 \times 10^4 - 3 \times 10^6/\text{kg ST}$
	Lodos digeridos	$3 \times 10^4 - 4,1 \times 10^6/\text{kg ST}$
	Lodo deshidratado	$7 \times 10^1 - 10^2/\text{kg ST}$
Bacterias	Lodo	$10^1 - 8,8 \times 10^6/\text{kg ST}$
	Lodo de aireación extendida	$10^8/\text{kg ST}$
Virus	Lodo primario	$3,8 \times 10^3 - 1,2 \times 10^5/\text{L}$
	Lodo digerido	$10^1 - 10^3/\text{L}$
	Lodo biológico	$10^1 - 8,8 \times 10^6/\text{L}$

Nota: Traducido de Feix and Wiart (1998), Thomaz Soccol et al.(1997, 2000) citado en (Andreoli, C. V., Sperling, M., y Fernandes F., 2007, pág. 45)

Clasificación de biosólidos en términos de calidad microbiológica. - En el Perú, los lodos tratados para ser considerados biosólidos reaprovechables, deben reunir algunas características y criterios para su clasificación, tales como:

Biosólido de Clase A: Son aquellos aplicables al suelo sin restricciones sanitarias.

Biosólido de Clase B: Son aquellos aplicables al suelo con restricciones sanitarias según localización de los suelos y/o tipo de cultivo.

“Para el reaprovechamiento de los biosólidos de clase A y/o de clase B, los productores deben cumplir de forma conjunta con los parámetros de estabilización, toxicidad química e higienización, de acuerdo a las condiciones establecidas en el presente Reglamento para cada tipo de biosólido” MVCS (2017b, pág. 35).

Tabla 9: Criterios microbiológicos para la caracterización de biosólidos

PAÍS	Coliformes fecales (NMP/g)	<i>Salmonella sp</i> (NMP/g)	Huevos de Helmintos (HH/g)	Virus (UFP/g)
EE. UU (1)	Clase A: <1x10 ³ Clase B: <2x10 ⁶	Clase A: <3/4	Clase A: <1/4	Clase A: <1/4
México (2)	Clase A: <1x10 ³ Clase B: <1x10 ³ Clase C: <2x10 ⁶	Clase A: <3 Clase B: <3 Clase C: <300	Clase A: <1 Clase B: <10 Clase C: <35	---
Brasil (3)	Clase A: <1x10 ³ Clase B: <1x10 ⁶	Ausencia en 10 g	Clase A: <1/4 Clase B: <10	Clase A: <1/4
Chile (4)	Clase A: <1x10 ³	Clase A: <3/4	Clase A: <1/4	---
Argentina (5)	Clase A: <1x10 ^{3*} Clase B: <2x10 ^{6*}	Clase A: <3/4	---	---
Colombia (6)	Clase A: <1x10 ³ Clase B: <2x10 ⁶	Clase A: ausente Clase B: <1x10 ³	Clase A: <1/4	---
Perú (7)	Clase A: <1x10 ^{3*} Clase B: Nivel de higienización demostrable...	Clase A: <1/10 Clase B: Nivel de higienización demostrable...	Clase A: <1/4 Clase B: Nivel de higienización demostrable	---

Nota: Adaptado de: (Torres, P., Madera, C., y Silva, J., 2009, pág. 23), y MVCS (2017b, pág. 36). (1) Norma 40 CFR parte 503 (EPA, 2003); (2) NOM-004-2002 (SERMANAT, 2002); (3) Resolución N° 376 de 29 de agosto de 2006 (Conama, 2006); (4) Decreto Supremo N°123 (30/08/2006) (Conama 2000, Mena, 2008); (5) Resolución N°97/01 (22/11/2001) (Mena, 2008); (6) Propuesta de Norma, versión de abril, 2009 (Minambiente, 2009); (7) Decreto Supremo N°015-2017-VIVIENDA MVCS (2017b, pág. 36). * Valores para *Escherichia coli*.

2.2.1.3 Concentración de macronutrientes (NPK) y micronutrientes de cultivos

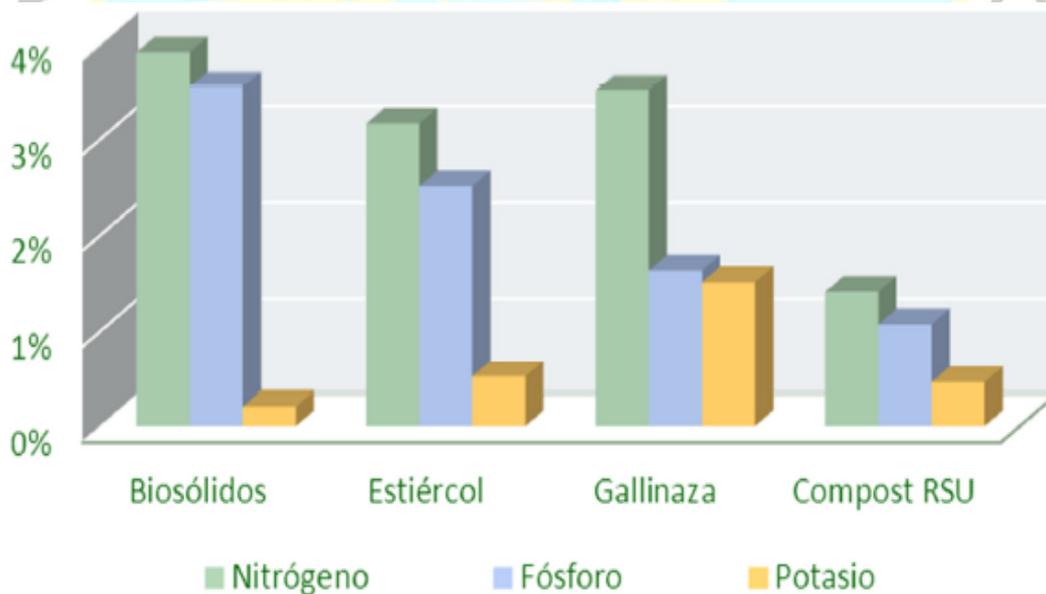
vegetales. - La concentración típica de macronutrientes (Nitrógeno, Fósforo y Potasio: NPK), y micronutrientes (Zn, Cu, Fe) en los biosólidos se puede observar en la Tabla 7, Tabla 10, y las Figuras 8 y 9 siguientes:

Tabla 10: Valores característicos de parámetros más frecuentes estudiados en lodos

Indicadores	Máximo	Mínimo
DQO total (mg/L)	90 000	6 000
DBO total (mg/L)	30 000	2 000
Nitrógeno total (mg/L)	1 500	200
Fósforo total (mg/L)	300	40
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	100 000	7 000
Sólidos suspendido volátiles (mg/L)	60 000	4 000
pH	8.5	7.0
Coliformes fecales (NMP/100 mL)	10 ⁸	10 ⁶

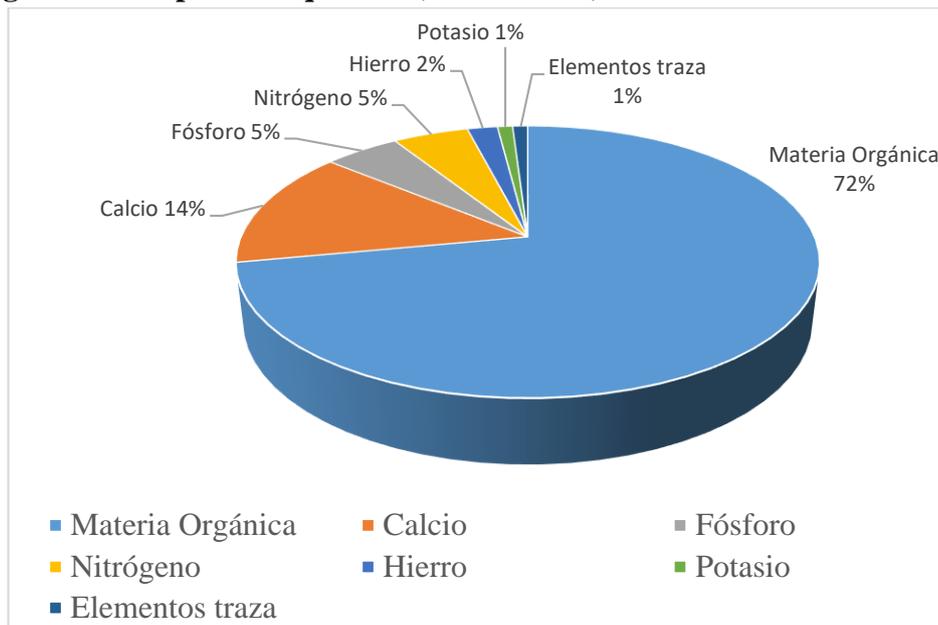
Nota: (Amador, A.; Veliz, E.; y Bataller, M., 2015, pág. 3)
 NMP: Número más probable. DQO: Demanda Química de Oxígeno
 DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno.

Figura 8: Contenido de NPK de algunos productos orgánicos



Nota: (Herrero, 2013, pág. 5)

Figura 9: Composición química (en base seca) de lodos efluentes de PTAR



Nota: (Herrero, 2013, pág. 4)

Así mismo, es pertinente indicar que para efectos de la *deshidratación de lodos estabilizados* mediante lechos de secado; la Norma OS.090. (Tratamiento de Lodos) establece lo siguiente: “5.9.6.1 Los lechos de secado son generalmente el método más simple y económico de deshidratar los lodos estabilizados. 5.9.6.2 Previo al dimensionamiento de los lechos se calculará la masa y el volumen de los lodos estabilizados. En el caso de zanjas de oxidación el contenido de sólidos en el lodo es conocido. En el caso de lodos digeridos anaeróbicamente, se determinará la masa de lodos considerando una reducción de 50 a 55% de sólidos volátiles. La gravedad específica de los lodos digeridos varía entre 1.03 y 1.04. Si bien el contenido de sólidos en el lodo digerido depende del tipo de lodo, los siguientes valores se dan como guía:

Para el lodo primario digerido: de 8 a 12% de sólidos.

Para el lodo digerido de procesos biológicos, incluido el lodo primario: de 6 a 10% de sólidos” (MVCS, 2006, pág. 320575).

En el caso de los lodos efluentes de todas las futuras PTAR de Puno, según (ProInversión, Proyecto SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS

RESIDUALES DE LA CUENCA DEL LAGO TITICACA, 2018c, pág. 30), se va exigir el cumplimiento de los siguientes parámetros:

“Sequedad (Kg Sólidos totales/Kg Lodo) %: ≥ 20

Estabilidad (Kg Sólidos Volátiles/Kg Lodo) %: ≤ 60 ”

A fin de dar cumplimiento a los anteriores parámetros, necesariamente se implementará una línea de tratamiento de lodos para su espesamiento y estabilización.

Características de los lodos efluentes de PTAR. - Estas son dependientes de su origen, de su tiempo de retención en las etapas de tratamiento en la PTAR, y el tipo de tecnología de tratamiento que ha recibido en la línea de tratamiento de aguas. Tienen las siguientes características:

- Es un material semisólidos putrescible, patógeno e inestable, atractivo de vectores, cuyo contenido en materia sólida va influir en su tratamiento, transporte y reutilización.
- “La composición de los lodos de PTAR no difiere significativamente del resto de enmiendas orgánicas utilizadas en agricultura” (Herrero, 2013, pág. 5). Ver figura 8.
- Su alto contenido de materia orgánica y elementos fertilizantes (ver Figura 09 y Tabla 10), hacen atractivo su reutilización a bajo costo, como enmienda y/o acondicionador de suelos.
- Su contenido en materias ecotóxicas indeseables, tales como: metales pesados, micro contaminantes orgánicos (COPs, plaguicidas, hidrocarburos aromáticos policíclicos PAHs, policlorobifenilos PCBs, alquilbenceno sulfonatos lineales LAS), y los contaminantes de interés emergentes (fármacos para uso humano o veterinario, drogas de abuso, tensoactivos, productos de higiene y cuidado personal) definen la calidad del lodo y/o el biosólido, y pueden limitar su reaprovechamiento en agricultura.

- La calidad de los lodos según Morales Rojo, (2005), “depende fundamentalmente de cuatro grupos de contaminantes principales: (1) Metales pesados, (2) Patógenos, (3) contaminantes orgánicos, y (4) Nutrientes”.

2.2.1.4 Concentración de contaminantes químicos.

Como consecuencia de las diferentes etapas o procesos de depuración de aguas residuales, los lodos tienden a acumular nutrientes fertilizantes, microorganismos patógenos, y productos ecotóxicos. Los contaminantes químicos siguientes son considerados productos ecotóxicos y pueden llegar a ser limitantes para reaprovechar los lodos y/o biosólidos en agricultura:

- a) **Los metales pesados principales.** - Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Níquel (Ni), Plomo (Pb), Zinc (Zn), Mercurio (Hg), Cromo (Cr), Arsénico (As), Selenio (Se), Molibdeno (Mo); como elementos o sus sales, (ver tabla 11).

“Otro indicador que debe valorarse en la caracterización de los lodos es el contenido de metales pesados, los cuales están representados por un grupo de elementos químicos que poseen una elevada toxicidad para los seres vivos, aunque se presentan en concentraciones permisibles en los lodos para su manejo de forma segura (Tabla 11)” (Amador, Veliz, y Bataller, 2015, pág. 3).

Tabla 11: Concentraciones permisibles para metales pesados en los lodos

Metal	Concentración (mg/Kg de lodo seco)
Cadmio	20 – 40
Cobre	1 000 – 1 750
Níquel	300 – 400
Plomo	750 – 1200
Zinc	2 500 – 4 000
Mercurio	16 – 25
Cromo	1 000 – 1 500
Arsénico	20 - 40
Selenio	50 - 100
Molibdeno	10 - 25

Nota: (Amador *et al.*, 2015, pág. 3)

Algunos metales pesados, por ejemplo: Hierro (Fe), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Cromo (Cr), Cobalto (Co), Níquel (Ni), Selenio (Se); son esenciales para mantener el metabolismo del cuerpo humano en concentraciones trazas. Sin embargo, en concentraciones más altas conducen al envenenamiento.

Así mismo, metales pesados, tales como: El Hierro (Fe), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Manganeseo (Mn), Molibdeno (Mo), Cobalto (Co), Níquel (Ni), y el Selenio (Se); son esenciales e imprescindibles para el crecimiento de los cultivos vegetales en concentraciones no mayores a fracciones de ppm, y se encuentran formando parte en los abonos foliares; pero en concentraciones elevadas son tóxicos para las plantas.

Tabla 12: Concentraciones límites de metales pesados en los lodos en diferentes países (mg/kg en base seca)

Contaminante	Bélgica	Canadá	Alemania	Italia	España	EE. UU	Perú
Zinc (Zn)	1 000	500	400	400	4 000	2 800	2 400
Plomo (Pb)	600	150	150	200	1 200	300	400
Cadmio (Cd)	5	3	1	3	40	21	40
Cromo (Cr)	150	50	100	150	750	---	1 200
Cobre (Cu)	100	60	100	200	1 750	1 500	1 500
Níquel (Ni)	50	60	50	50	400	420	400
Mercurio (Hg)	5	0.15	1	2	25	17	17
Arsénico (As)	---	---	---	---	---	41	40

Nota Adaptado de: (Amador *et al.*, 2015, pág. 5), y (MVCS, 2017b, pág. 36).

En el Perú, en el caso la concentración exceda uno de los valores indicados en la última columna de la Tabla 12, el lodo no puede ser calificado como biosólido de clase A ni de Clase B.

b) Contaminantes orgánicos. – Pueden causar un riesgo para el medio ambiente cuando se desea reaprovechar los lodos, *aún no se encuentran regulados por las normas ambientales de la mayoría de países*; y se tiene a los siguientes:

Los Compuestos Orgánicos Persistentes COPs y los Compuestos Orgánicos Volátiles VOCs.- Entre ellos los plaguicidas (docena sucia, insecticidas, fungicidas, herbicidas, nematicidas); los Policlorobifenilos (PCBs), los Hidrocarburos

Aromáticos Policíclicos (PAHs), los Haluros Orgánicos Adsorbibles (AOX), los Alquilbenceno Sulfonatos Lineales (LAS), los compuestos Nonilfenólicos (NPEs), los plastificantes Di(2-etilhexil ftalato) (DEHP), los Policlorodibenzo-p-dioxinas (PCDDs), los Policlorodibenzofuranos (PCDFs).

Los contaminantes de interés emergentes (CIE). – “Una amplia gama de CIE está siendo estudiada en el medio acuático alrededor del mundo. Se incluyen los pesticidas, productos farmacéuticos, drogas ilícitas, compuestos de “estilo de vida”, de cuidado personal, surfactantes, aditivos industriales y subproductos, retardantes de llama, aditivos alimentarios, entre muchos, los cuales, por sus bajas concentraciones, no son eliminados eficazmente con los tratamientos de agua convencionales; *estos pueden ser acumulados y causar un gran impacto en la salud y el medioambiente, y generar algunos problemas como disruptores endocrinos y problemas hormonales*, entre otros” (Gil M. J., Soto A. M., Usma J. I., Gutierrez O. D., 2012, pág. 64). Estos aún no están regulados por las normas ambientales, y se detallan en la tabla 13 siguiente:

Tabla 13: Contaminantes de interés emergentes más representativos

Grupo de contaminantes	Subgrupo	Compuestos de interés emergentes
Fármacos	Antibióticos	Lincosamidas, macrólidos, sulfamidas, tetraciclinas, quinolonas
	Analgésicos y antiinflamatorios	Paracetamol, ibuprofeno, diclofenaco, ácido acetil salicílico, oxicam
	Psiquiátricos	Benzodiazepinas, barbitúricos
	B-bloqueantes	Metopropol, propranolol, timolol
	Medios de contraste de rayos X	Iopromide, iopamidol, diatrizoato
	Esteroides y hormonas	Estradiol, estrona, estriol, dietilestilbestrol
	Citostáticos	Vincristina, etopósido, cisplatino
Productos del cuidado personal	Parabenos	Metilparabeno, etilparabeno, propilparabeno
	Filtros solares	Benzofenonas, cinamato, bencilidenos, derivados de alcanfor
	Perfumes	Fragancias nitro, policíclicas y macrocíclicas
Tensoactivos	Sulfonatos	α -Olefin sulfonato de sodio,
	Alcanolamidas	Lauril monoetanolamida

	Alquifenoles	Nonilfenol, octilfenol
Aditivos y agentes industriales	Benzotriazoles	Benzotriazol, toliltriazol
	Quelantes	EDTA
Edulcorantes	-----	Sacarina, sucrolosa, espartano, ciclamato, stevia, NHDC
Drogas de abuso	Cocaínicos	Cocaína, benzoilecgonina
	Opiáceos	Morfina, codeína
	Opioides	Heroína, metadona

Nota: (Arbeláez, 2015, pág. 5)

“En el transcurso de los últimos seis años, un equipo interdisciplinario de científicos e ingenieros ha estudiado el efecto de la irradiación de electrones de alta energía en la eliminación (destrucción definitiva) de los productos químico-orgánicos tóxicos presentes en soluciones acuosas, y los factores que se han identificado como importantes para destruir con eficacia los productos químicos. Los resultados de esos estudios son aplicables al tratamiento de desechos y a la descontaminación de los emplazamientos de desechos peligrosos. Dichos estudios se realizaron en la instalación de investigaciones con haces electrónicos (EBRF) de Miami, Florida” (Swinwood, Waite, Kruger, y Rao, 1994, pág. 12).

2.2.2 Tecnología de irradiación requerida:

Sistema electromecánico ON/OF generador de haces electrónicos (Irradiador de electrones). – Tecnología cuyas características y/o especificaciones técnicas, y precio en el mercado internacional definen la viabilidad o no viabilidad tecnológica.

Un irradiador de electrones es un instrumento eléctrico que tiene por finalidad acelerar un haz de electrones hasta energías altas, medianas, o bajas, de acuerdo a la aplicación que se le dé. Todos los aceleradores de electrones operan bajo el mismo principio, donde las partículas cargadas (electrones) son acelerados bajo la acción de campos eléctricos los cuales pueden ser creados directamente mediante electrodos de alto voltaje, o indirectamente mediante campos magnéticos variables.

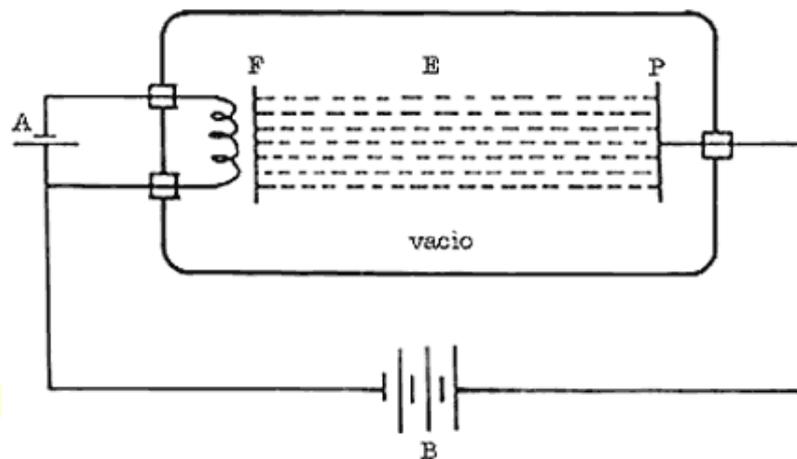
Haz de electrones. - Es un flujo de electrones acelerados por campos eléctricos hasta velocidades cercanas a la velocidad de la luz, moviéndose todos en la misma dirección. El haz de electrones puede ser enfocado, curvado y escaneado mediante el empleo de campos magnéticos y eléctricos para conformar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

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 de **electrón voltios (eV)** que corresponde a la cantidad de energía ganada por un electrón (**e**) acelerado a través de una diferencia de potencial eléctrico de un (1) voltio (**V**); si la diferencia de potencial eléctrico es de un (1) kilovoltio (**kV**), entonces la energía ganada por el electrón es de 1(**keV**), y si el potencial eléctrico es de un (1) Mega voltio (**MV**), la energía ganada es de 1(**MeV**); las equivalencias entre unidades son: $1 \text{ MeV} = 10^3 \text{ keV} = 10^6 \text{ eV}$. 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.

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).

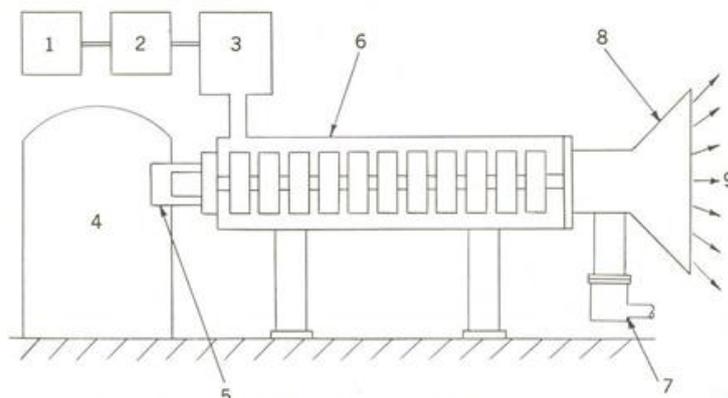
Figura 10.- Elementos principales de un acelerador de electrones. El filamento F lleva una corriente eléctrica proporcionada por la fuente de alimentación A; los electrones E (haz de electrones) que emite son acelerados hacia la placa P por el voltaje B.



Nota: (Rickards, 2013)

Un acelerador lineal (LINAC), consta de las partes indicadas en la figura 10, y figura 11 siguiente:

Figura 11.- Esquema mostrando las partes de un acelerador de electrones LINAC

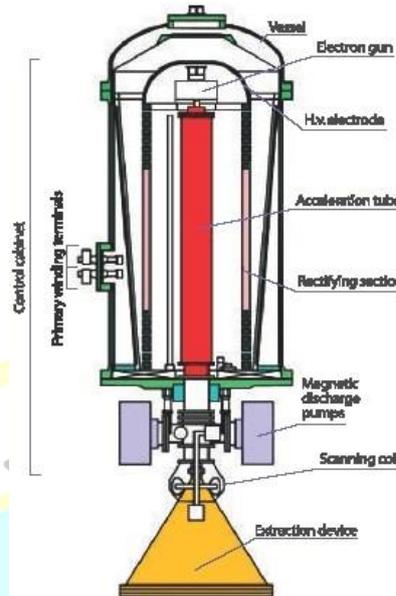


Acelerador Lineal (Linac): 1. Fuente de energía eléctrica AC, 2. Modulador, 3. Klystron o Magnetron, 4. Suministro de energía, 5. Cañón de electrones, 6. Sección de aceleración, 7. Bomba de vacío, 8. Escaneador de ventana, 9. Haz de electrones.

Nota: (EB TECH CO., 2018)

Todos los parámetros de un 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 (ON/OFF).* Los aceleradores no emiten radiación cuando el suministro de corriente eléctrica está apagado.

Figura 12: Partes de un acelerador lineal de mediana energía



Nota: (EB TECH CO., 2018)

Figura 13: Vista de un acelerador lineal de mediana energía



Nota: (International Atomic Energy Agency (IAEA), 2019)

Dosis absorbida. – Es la energía ionizante suministrada a un material por unidad de masa de dicho material. La unidad internacional de dosis es el Gray (Gy), definida como la absorción de un Joule por kilogramo. Una unidad más conveniente para la mayoría de aplicaciones de los procesos de radiación, es el kilo Gray ($kGy = kJ/kg = J/g$).

La especificación más importante en cualquier proceso de irradiación es la dosis absorbida.

Tabla 14: Requerimientos de dosis absorbida para diversos procesos industriales.

Inhibidor de brotes	0,1–0,2 kGy	Esterilización	10–30 kGy
Desinfestación de insectos	0,3–0,5 kGy	Polimerización	20–50 kGy
Control de parásitos	0,3–0,5 kGy	Injerto de monómeros	20–50 kGy
Retraso en la maduración	0,5–1,0 kGy	Reticulación polimérica	50–150 kGy
Control de hongos	1,5–3,0 kGy	Degradación polimérica	500-1500 kGy
Control de bacterias	1,5–3,0 kGy	Coloración de gemas	>>>1500 kGy

Nota: (Cleland, 2006, pág. 384)

2.2.2.1 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; son unidades de potencia: El Vatio (W), el kilovatio (kW) equivale a 1000 (W), y el Megavatio (MW) igual a 1 000 000 (W). La potencia del haz de electrones depende de la energía de los electrones y el nivel de corriente el haz. Este parámetro determina la tasa de producción de material irradiado, de la velocidad de irradiación y la categoría de los aceleradores de electrones, ver Tabla 15 y Tabla 16 siguientes:

Tabla 15: Categorías de Aceleradores de haces electrónicos según su potencia.

Potencia	Valores
Alta - potencia	0,5 MW – 1 MW
Mediana - potencia	20 kW – 100 kW

Nota: (Sabharwal, 2013, pág. 11)

Tabla 16: Categorías de Aceleradores de haces electrónicos según su energía del electrón

Energía	Valores
Alta - energía	7 MeV - 10 MeV
Mediana - energía	400 keV – 5 MeV
Baja - energía	80 keV – 300 keV

Nota: (IAEA, International Atomic Energy Agency, IIA, International Irradiation Association, 2010, pág. 16)

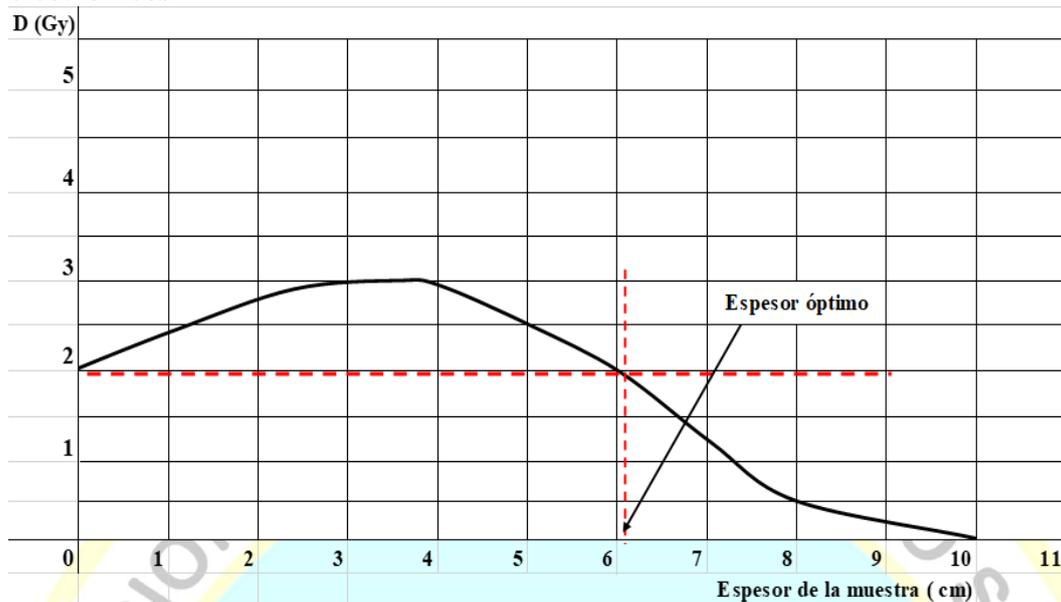
Transporte del haz de electrones. - Los haces electrónicos pueden ser fácilmente transportados en condiciones de alto vacío. Una de las características más importantes de los haces electrónicos es la posibilidad de transportarlos a largas distancias lo cual puede ser realizado con gran precisión. Los 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.

Inducción de radioactividad por haz de electrones. - 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.

2.2.2.2 Penetrabilidad del haz de electrones en lodos, y efectos de la radiación electrónica sobre microorganismos. - La penetración de los haces de electrones 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.

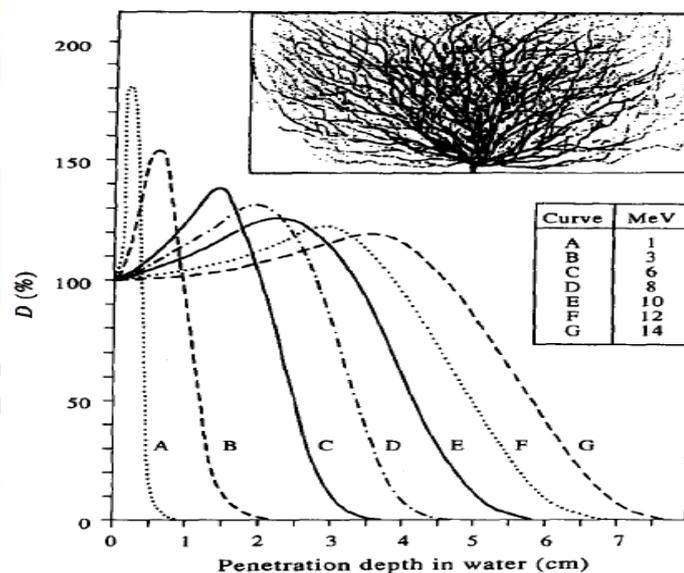
Según Cleland (1997, pág.3) citado en Fiestas y Legua (2017, pág. 2) “En materiales irradiados con electrones de alta energía, la dosis absorbida aumenta con el incremento del espesor hasta alrededor del punto medio del rango electrónico y luego decae hasta un valor relativamente bajo cerca del final del rango”.

Figura 14: Distribución de dosis en el interior de un material irradiado con haces electrónicos



Nota: (Fiestas, C. J.; y Legua, J. A., 2017, pág. 2)

Figura 15: Gráfica que muestra el porcentaje D (%) de dosis absorbida respecto a la dosis superficial, en función de la penetración en el material irradiado



Nota: (Getoff, 1996, pág. 582).

Como se puede observar en la figura 15, la penetrabilidad de los haces de electrones en agua es de 0 a 3.5 cm a 10 MeV sin que se pueda inducir radioactividad.

En la figura 16 se puede observar la longitud en centímetros de penetración en agua de los haces electrónicos de alta energía, y la longitud en micras de penetración en agua de los haces electrónicos de baja energía.

Teniendo en cuenta que los lodos digeridos tienen una humedad de 94 – 97 % con densidades cercanas a la densidad unitaria (1 g/mL), la longitud de penetración en dichos lodos no debe ser muy diferente a las longitudes de penetración en agua.

Dadas la densidad de la sustancia irradiada y la energía de los electrones, los espesores máximos óptimos de penetración, pueden ser calculados con las siguientes ecuaciones (Fiestas y Legua, 2017, pág. 3):

$$e_{\text{máx}} = \frac{0,33 (E - 0,2)}{\rho}, \text{ un lado} \quad \text{Ec. (1)}$$

$$e_{\text{máx}} = \frac{0,82 (E - 0,2)}{\rho}, \text{ lados opuestos} \quad \text{Ec. (2)}$$

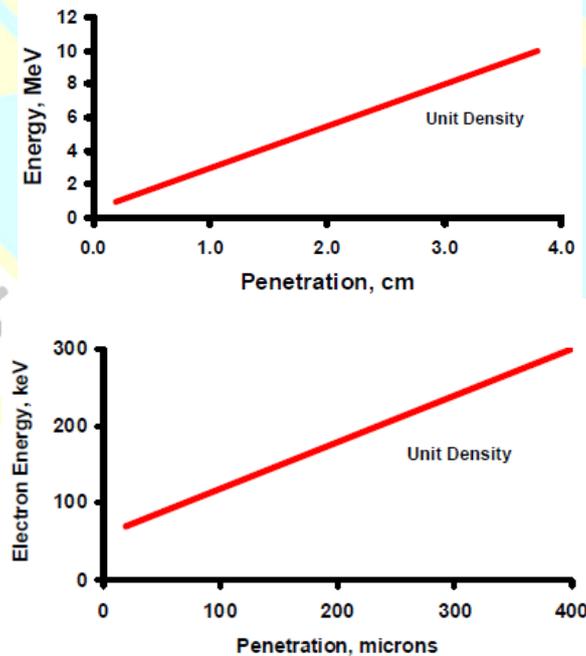
Donde:

$e_{\text{máx}}$ = Espesor máximo óptimo de penetración de la radiación en el material (cm)

E = Energía de los electrones que inciden sobre la sustancia irradiada (MeV)

ρ = Densidad del material o sustancia irradiada (g/cm^3).

Figura 16: Penetración de haces electrónicos de alta y baja energía en agua (densidad unitaria)



Nota: (IAEA, International Atomic Energy Agency, IIA, International Irradiation Association, 2010, págs. 5, 7)

La longitud de penetración en materiales de densidad diferente al agua, se puede observar en la tabla 17 siguiente:

Tabla 17: Penetración de haces electrónicos – Finalidad de uso en el mercado

Segmento de mercado	Energía del Electrón	Penetración típica
Curado de superficies	80 – 300 keV	0,4 mm
Film retráctil	300 – 800 keV	2 mm
Cable y alambre	0,4 – 3 MeV	5 mm
Esterilización	3 – 10 MeV	38 mm

Nota: Traducido de: (IAEA, International Atomic Energy Agency, IIA, International Irradiation Association, 2010, pág. 7)

Efectos de la radiación electrónica sobre microorganismos.

“La radiación ionizante de aceleradores de electrones o de fuentes radioactivas, provoca la alteración de las membranas celulares y luego destruye bacterias, hongos, virus, etc., y rompe las cadenas químicas o enlaces en algunas sustancias tóxicas orgánicas como pesticidas, herbicidas, PCB, etc., incluidas en el contenido de lodos” (Graño, 2001, pág. 163).

Los efectos de la radiación en los organismos vivos están asociados principalmente con los cambios químicos, pero también son dependientes de factores físicos y fisiológicos, tales como: La tasa de dosis, la distribución de la dosis, y la calidad de la radiación que está en sus parámetros físicos.

“En los lodos residuales, el mayor componente es el agua. Por lo tanto, es de esperar que los efectos de la radiación ionizante en los lodos estén dominados por la interacción de la radiación de electrones con el agua (Radiólisis del agua). Cuando el agua pura se expone a la radiación ionizante como la radiación de electrones, la Radiólisis del agua puede ser representado por la siguiente ecuación” (Spinks y Woods, 1990) citado en (Wang Jianlong y Wang Jiazhuo, 2007, pág. 4):



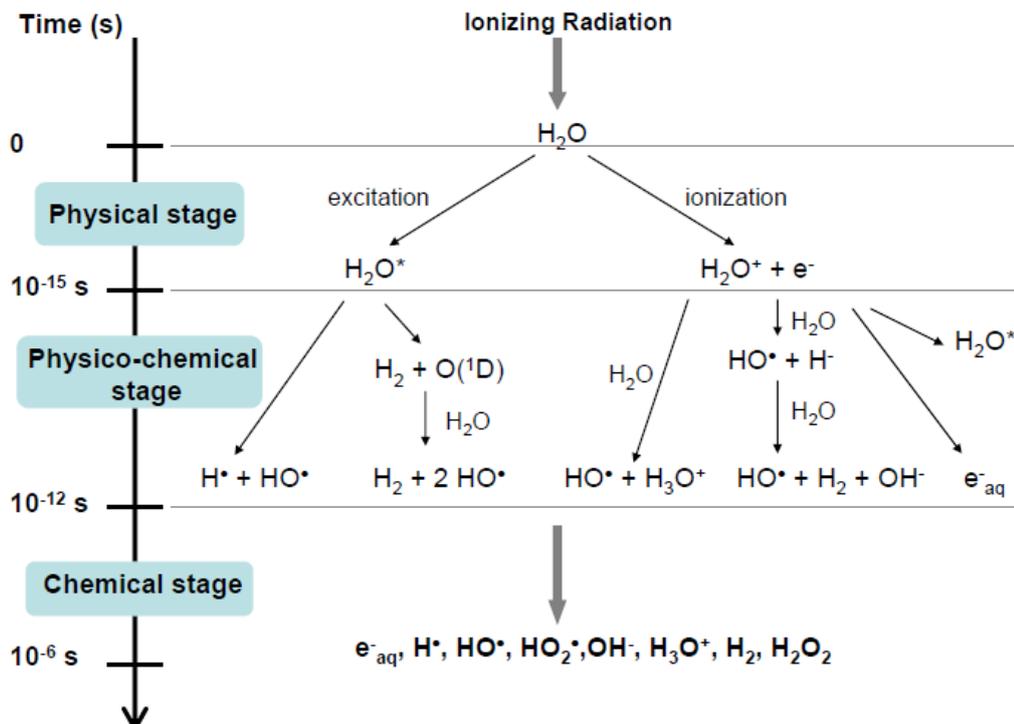
$$\Delta H = 100 \left(\frac{\text{eV}}{\text{mol H}_2\text{O}} \right)$$

“Donde el número en corchetes [valor G] indica el número relativo de cada especie formada por 100 eV de energía absorbida” (Mejía, 2000, pág. 11). Teniendo en

cuenta agua pura, por cada 100 eV de energía absorbida por mol de agua, se genera las diferentes especies indicadas a la derecha de la ecuación anterior. “En medios acuosos, el radical libre hidroxilo oxidante HO^* , los electrones reductores hidratados e^-_{aq} , y el radicales libre H^* (hidrógeno naciente) son los productos predominantes, altamente reactivos, transitorios y responsables de los diversos efectos, que incluyen: La reducción de patógenos, la oxidación de contaminantes orgánicos peligrosos, la destrucción de estructuras moleculares de contaminantes, la eliminación de olor molesto; en consecuencia los cambios en las características de los lodos procesados por la radiación ionizante” (Wang Jianlong y Wang Jiazhuo, 2007, pág. 4) y (Spinks y Woods, 1990).

Los efectos de la irradiación con haces de electrones sobre las aguas residuales y los lodos efluentes de PTARs son: La inactivación de microorganismos patógenos, y la reducción de la carga orgánica, reduciendo así la DBO y DQO.

Figura 17: Etapas de un modelo de Radiólisis del agua y tiempo de duración



Nota: (Le Caër, 2011, pág. 239)

Los efectos de la radiación en los organismos vivos pueden dividirse en: Efectos directos, y efectos indirectos; normalmente la ocurrencia de los efectos

indirectos tiene mayor relevancia en el efecto total. “Los productos radiolíticos del agua (radicales libres OH^* , H^* , iones OH^- , H_3O^+ , e^-_{aq} , H_2O_2 , e H_2) son los responsables más importantes de los efectos indirectos; el secado y el congelamiento de estos organismos vivos pueden reducir estos efectos indirectos” (Borrely, Cruz, Del Mastro, Sampa, y Somessari, 1998, pág. 8).

“El tratamiento con haces de electrones actúa como desinfectante, el mecanismo de matar patógenos depende en gran medida de la naturaleza del desinfectante y el tipo de microorganismo. En general se propone cuatro mecanismos que explican la inactivación o destrucción de organismos: Daños en la pared celular, alteración de la permeabilidad celular, cambio de la naturaleza coloidal del protoplasma celular, y la inactivación de los sistemas enzimáticos críticos responsables de las actividades metabólicas” (Maruthi *et al.*, 2011, pág. 5).

“El efecto de las radiaciones ionizantes sobre los microorganismos puede modelarse mediante una ecuación diferencial de primer orden. La probabilidad de destrucción de microorganismos K , por unidad de dosis absorbida, es representada por la siguiente ecuación” (Fiesta y Legua, 2017, pág. 11):

$$K = -\frac{dN}{N dD} \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde:

dN : Cantidad diferencial de microorganismos destruidos.

N : Población 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)

Separando variables en la Ec. (3) se tiene:

$$\frac{dN}{N} = -K \cdot dD \quad \text{Ec. (4)}$$

Integrando la Ec. (4) y considerando las condiciones iniciales: Para $D = 0$, $N = N_0$, resulta:

$$N_{(D)} = N_0 \cdot e^{-K \cdot D} \quad \text{Ec. (5)}$$

Si se divide entre el volumen V a ambos miembros de la Ec. (5), entonces esta se puede escribir en términos de la concentración de microorganismos ($C_{(D)}$).

$$C_{(D)} = C_0 \cdot e^{-K \cdot D} \quad \text{Ec. (5. a)}$$

Donde:

$C_{(D)} = N_{(D)}/V$, Concentración de microorganismos en (NMP/mL)

$C_0 = N_0/V$, Concentración inicial de microorganismos (NMP/mL)

D = Dosis de radiación ionizante absorbida por los microorganismos (kGy).

K = Probabilidad de destrucción de microorganismos por unidad de dosis absorbida (1/kGy). Los valores de K son obtenidos a partir de la experimentación específica para cada microorganismo.

Sensibilidad de un organismo a la radiación ionizante (D_{10}). – La sensibilidad de un organismo a la radiación se expresa convenientemente como la dosis absorbida en kilo Grey (kGy) requerida para matar al 90% de la población de organismos presentes, y el resultado es expresado como valores de D_{10} . De otra forma, es la dosis absorbida en kilo Grey (kGy) para reducir la población al 10% de la cantidad inicial.

Es decir en la Ec. (5): Cuando $D = D_{10}$, entonces $N_{(D_{10})} = 10\% \cdot N_0 = (0.10)N_0$

Reemplazando este concepto en la Ec. (5) se obtiene:

$$D_{10} = \frac{\text{Ln}10}{K} \quad \text{Ec. (6)}$$

Tabla 18: Valores de sensibilidad D_{10} de microorganismos en solución Buffer, responsables de enfermedades

MICROORGANISMOS	Valores D_{10} (kGy)	ENFERMEDAD	Referencias
<i>Escherichia Coli B/r</i>	0.34	Gastroenteritis	5
<i>Salmonella typhimurium</i>	0.30	Gastroenteritis	5
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	0.30	Tuberculosis	15
<i>Shigella dysenteriae</i>	0.60	Disentería	15
<i>Poliovirus (2)</i>	1.85	Poliomielitis	32
<i>Vibrio cholerae</i>	0.48	Cólera	15

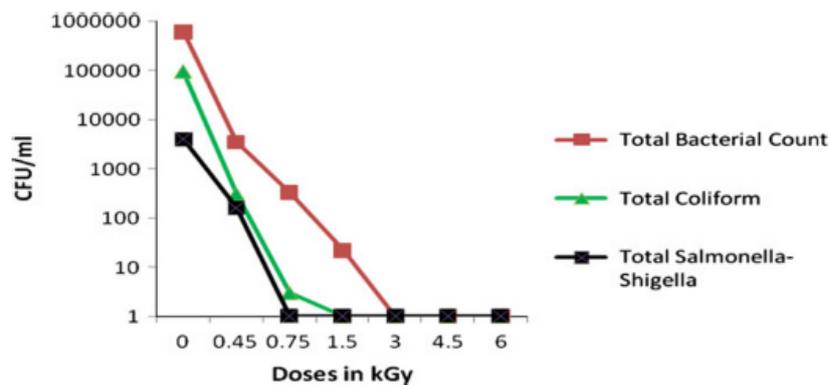
Nota: Traducido de: (Borrely S. I., Cruz A. C., Del Mastro N. L., Sampa M. H. O., Somessari E. S, 1998, pág. 9).

Dosis de inactivación. – La dosis de inactivación asegura que una concentración extremadamente alta, del orden de 10^{11} (NMP/mL) se reduzca en 12 décadas.

$$D_{\text{inactiv.}} = 12 D_{10} \quad \text{Ec. (7)}$$

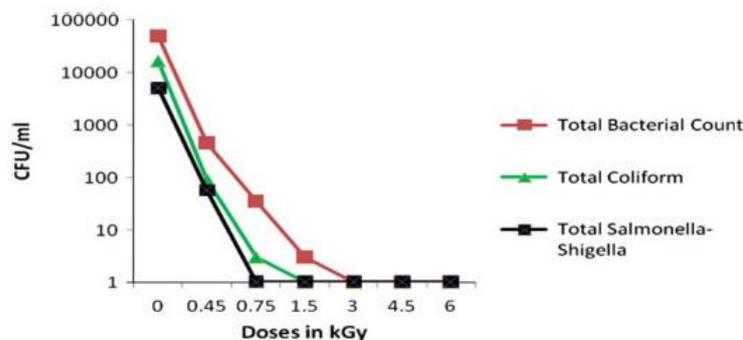
Seguidamente en la Figura 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, y 26 se muestra los efectos de la irradiación con haces de electrones sobre microorganismos y la carga orgánica de aguas residuales municipales, según (Maruthi Y. A., Das N. L., Hossain K., Sarma K. S. S., Rawat K. P., Sabharwal S., 2011, págs. 51, 52):

Figura 18: Inactivación de microorganismos por radiación con haces electrónicos en una muestra de aguas residuales entrante (PTAR A)



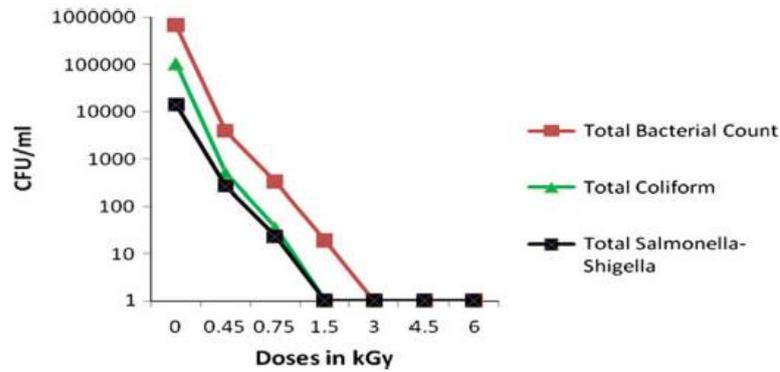
Nota: Maruthi *et al.* (2011, pág. 51)

Figura 19: Inactivación de microorganismos por radiación con haces electrónicos en una muestra de aguas residuales efluente, antes de la cloración (PTAR A)



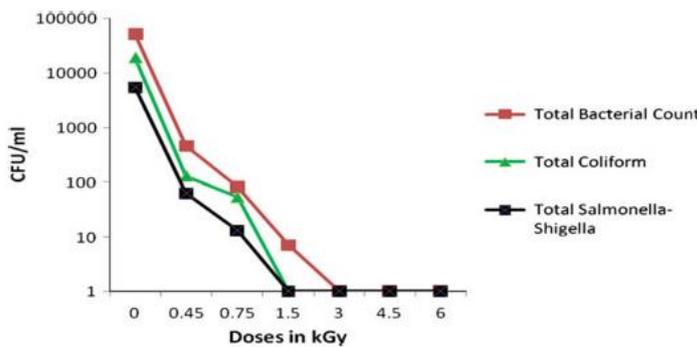
Nota: Maruthi *et al.* (2011, pág. 51)

Figura 20: Inactivación de microorganismos por radiación con haces electrónicos en una muestra de aguas residuales entrante (PTAR B)



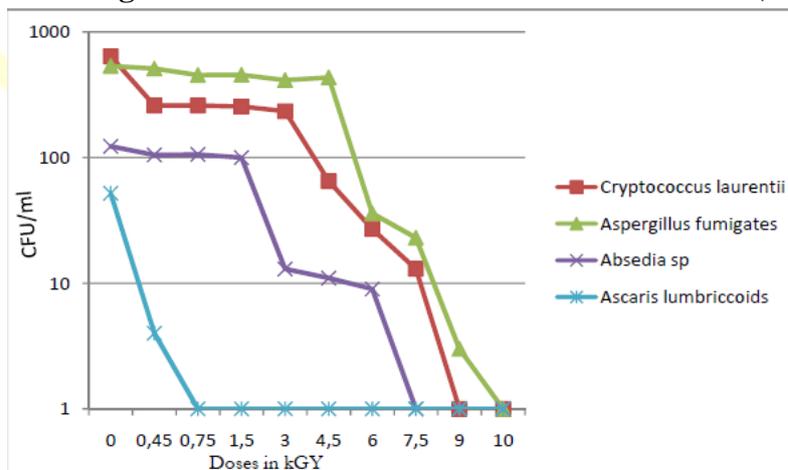
Nota: Maruthi *et al.* (2011, pág. 51).

Figura 21: Inactivación de microorganismos por radiación con haces electrónicos en una muestra de aguas residuales efluente, antes de la cloración (PTAR B)



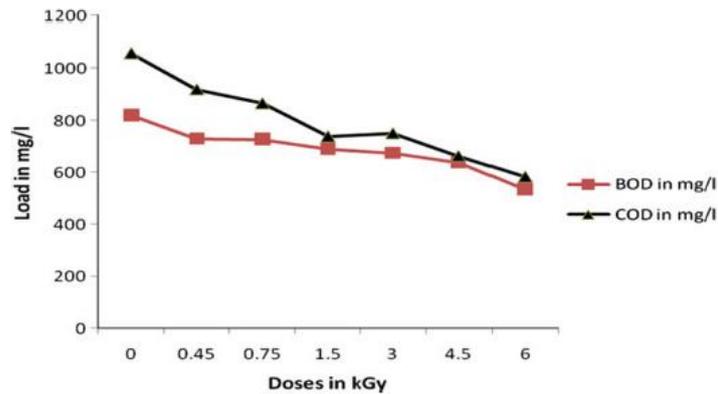
Nota: Maruthi *et al.* (2011, pág. 52)

Figura 22: Efecto de la irradiación de haces electrónicos sobre hongos y ovas de helmintos de aguas residuales efluentes antes de la cloración (PTAR A)



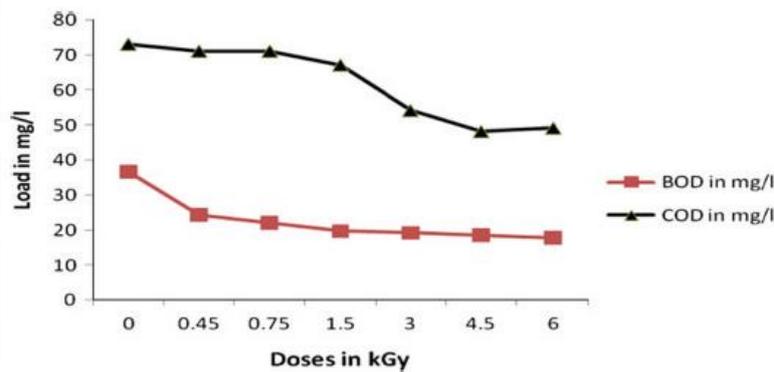
Nota: Maruthi *et al.* (2011, pág. 38)

Figura 23: Efecto sobre la DBO y DQO por irradiación con haces electrónicos en una muestra de aguas residuales entrante (PTAR A)



Nota: Maruthi *et al.* (2011, pág. 52)

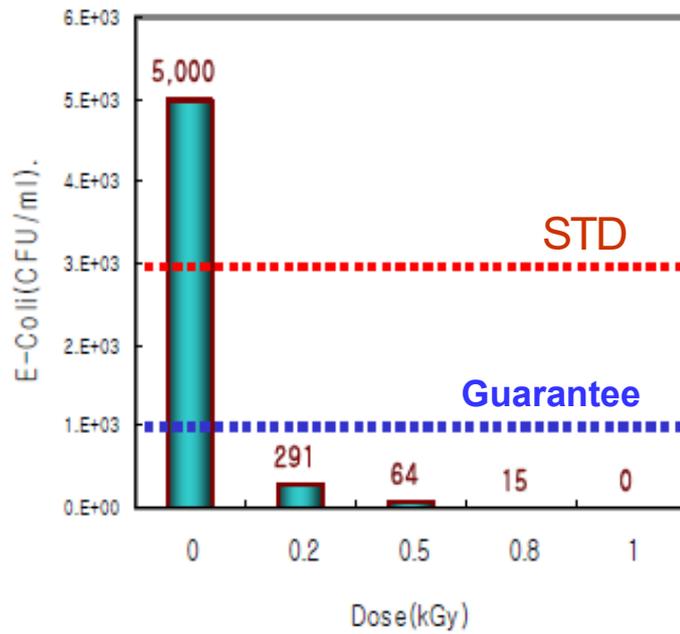
Figura 24: Efecto sobre la DBO y DQO por irradiación con haces electrónicos en una muestra de aguas residuales efluentes, antes de la cloración (PTAR A)



Nota: Maruthi *et al.* (2011, pág. 52)

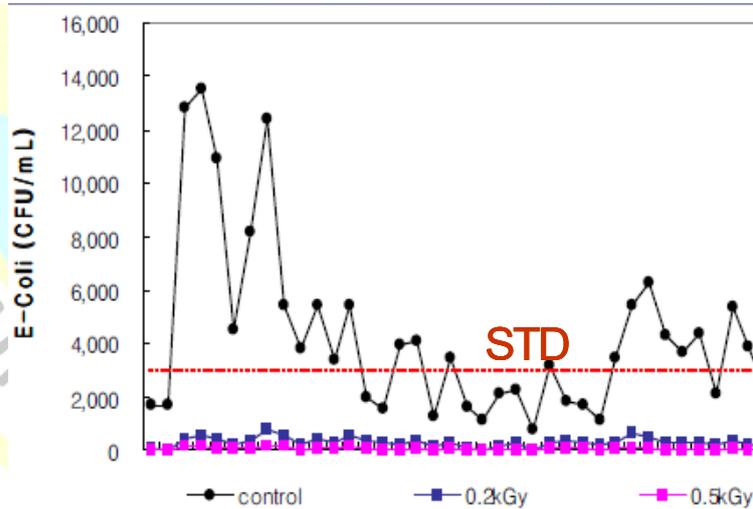
En las figuras 25, y 26 se puede observar que casi el 100% de *Escherichia Coli* y las formas de *E. Coli* totales se inactivan con una dosis de 0,8 kGy, incluso con una dosis más baja de 0,2 kGy la *E. Coli* y las formas de *E. Coli* totales se inactivan con éxito para cumplir con las normas ambientales de descarga de efluentes. Además de la desinfección de las formas de *E. Coli* totales, aproximadamente el 50% de la eliminación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) se manifiesta a una dosis de 0,2 kGy (Kim, Y., Han, B., y Kim J. K., 2003, pág. 4).

Figura 25: Desinfección de *Escherichia Coli*, con diferentes dosis



Nota: (Kim, Y., Han, B., y Kim J. K., 2003, pág. 4)

Figura 26: Desinfección de *Escherichia Coli*, con diferentes dosis



Nota: (Kim, Y., Han, B., y Kim J. K., 2003, pág. 4)

2.2.2.3 Eficiencia del sistema de irradiación (η) y aplicaciones. – La eficiencia de un sistema de irradiación de electrones está definida como la relación de la potencia del haz de electrones a la potencia eléctrica consumida por el sistema.

$$\eta = \frac{\text{Potencia del haz de electrones}}{\text{Potencia eléctrica consumida}} \quad \text{Ec. (8)}$$

En la práctica, la eficiencia alcanzada por un sistema de irradiación se encuentra entre 60% a 80%, un valor típico es 70% (Kim, Y., Han, B., Kim, J. K., y Yaacov, 2009, pág. 25).

Aplicaciones de aceleradores de electrones:

Los aceleradores de electrones tienen múltiples aplicaciones, entre las cuales destacan en:

Saneamiento ambiental

- Tratamiento de lodos cloacales
- Tratamiento de aguas residuales
- Degradación de derrames de petróleo
- Degradación de humos tóxicos
- Degradación de efluentes farmacéuticos hospitalarios

Seguridad alimentaria

- Mejoramiento de la calidad higiénico-sanitaria e inocuidad alimentaria
- Desinfestación de insectos, en granos cereales, menestras y otros.
- Tratamiento cuarentenario para solucionar problemas sanitarios
- Conservación de la vida útil de tubérculos, bulbos, frutas y hortalizas

En concordancia con la energía entregada (dosis en kGy absorbidos por el material), se logra efectos distintos, por lo que la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha clasificado las dosis en irradiación de alimentos de la forma siguiente (Narvaiz, 2000, pág. 2):

Dosis Baja (hasta 1 kGy): Es usada para demorar los procesos fisiológicos, como maduración y senescencia de frutas frescas y vegetales, y para controlar insectos y parásitos en los alimentos.

Dosis Media (hasta 10 kGy): Es usada para reducir los microorganismos patógenos y descomponedores de distintos alimentos; para mejorar propiedades tecnológicas de los alimentos, como reducir los tiempos de cocción de vegetales deshidratados; y para extender la vida en anaquel de varios alimentos.

Dosis Alta (superior a 10 kGy): Usada para esterilización de carnes, mariscos y pescados, y otras preparaciones en combinación con un leve calentamiento para inactivar enzimas, y para la desinfección de ciertos alimentos o ingredientes, como ser especias.

2.2.2.4 Precios de la tecnología requerida. – Los precios en el mercado internacional es función de la potencia, modelo, el tipo de tecnología, y el fabricante (marca).

Tabla 19: Precios de aceleradores de electrones según su potencia del haz de electrones.

Potencia del haz de electrones (kW)	Precio total (U.S M\$)	Precio unitario (\$/W)
20	0,6	30
40	0,8	20
100	1,0	10
200	1,5	7,5
400	2,0	5,0
1 000	2,2	2,2

Nota: (ebTECH, 2009, pág. 30)

2.2.3. Viabilidad técnica. – Es definida como la inversión realizada en la facilidad tecnológica para obtener una potencia determinada del haz de electrones, su indicador es el valor en (U.S \$/W).

2.2.3.1 Tamaño, modelo y tipo de tecnología. – El tratamiento o proceso al cual está destinado la irradiación con haces electrónicos, define el tamaño y modelo; pero el tipo de tecnología la va a definir los precios en el mercado internacional y la disponibilidad de compra-venta.

Por ejemplo, para el tratamiento o proceso de desinfección o esterilización (como es nuestro caso de desinfección y/o esterilización de lodos), International Atomic Energy Agency (IAEA), International Irradiation Association (IIA), (2010); recomienda usar haces de electrones con una energía de 3 MeV a 10 MeV (ver Tabla 12) lo que significa utilizar irradiadores de electrones de mediana-energía, o de alta-

energía. El tamaño (dimensiones) y modelo del irradiador depende de la potencia del haz de electrones, que a su vez depende de la cantidad de material a irradiar.

En nuestro caso, determinaremos la cantidad de lodos (m^3/mes o $m^3/día$) producidos por la población de Puno y Juliaca, para determinar la Potencia del irradiador de electrones, en consecuencia, así buscar el tamaño, el modelo y el tipo de tecnología para su adquisición en el mercado internacional, y realizar nuestra propuesta adecuadamente.

2.2.3.2 Razón de la inversión inicial y costos totales de la planta de irradiación a la Potencia del haz de electrones. – Esta dimensión cuyas unidades son (U.S \$/kW), nos va a proporcionar el criterio fundamental para determinar la viabilidad técnica para invertir en la adquisición de la planta de irradiación de lodos con haces electrónicos, que principalmente incluye: Terreno, Irradiador de Electrones, equipos de dosimetría, equipos auxiliares, soporte tecnológico, obras civiles (búnker y edificaciones conexas), instalaciones de energía, agua y desagüe.

Como es lógico, *se decidirá escoger aquella propuesta o alternativa* (Razón de la inversión inicial y costos totales de la planta de irradiación a la Potencia del haz de electrones) *de menor valor en U.S. \$/kW*.

2.2.4 Inversión inicial total. – Es la inversión necesaria para iniciar un proyecto, antes de que este empiece a producir. Establece el nivel o cuantía de la inversión necesaria, antes de la puesta en marcha o arranque del proyecto.

2.2.4.1 Estudios preliminares o de preinversión, para adquisición de la planta de irradiación de lodos.

Está referido al proceso de transformación de la idea del proyecto a estudios técnico-económicos que permita decidir acerca de la ejecución o no de un proyecto para resolver un problema; en nuestro caso el problema es medio ambiental y de salud pública. “La preinversión tiene como objetivo evaluar la conveniencia de realizar un Proyecto de Inversión Pública (PIP) en particular, es decir debe ser socialmente rentable, sostenible y concordante con los lineamientos de política local, regional, y/o sectorial” (MEF, 2015, pág. 5).

Según el nuevo sistema de inversión pública (MEF, 2018a), las etapas que corresponde a la gestión de los estudios de preinversión en la formulación y evaluación de un PIP son las siguientes:

Elaboración de perfil reforzado. – Para proyectos cuyos montos de inversión sean mayores o iguales a 407 000 UIT.

Elaboración de perfil. – Para solo los proyectos complejos (no estandarizables) cuyos montos de inversión sean menores a 407 000 UIT y mayores o iguales de 15 000 UIT. Así mismo, también debe elaborarse un perfil para *proyectos no estándares*, cuyos montos sean mayores a 750 UIT y menores a 15 000 UIT.

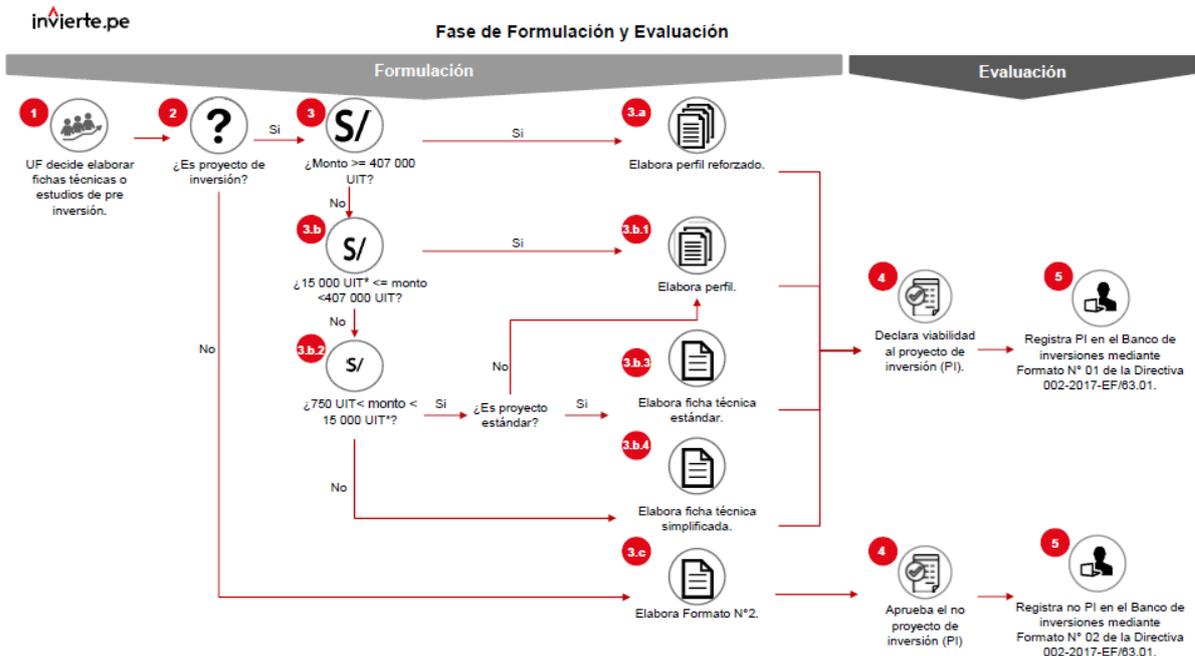
Elaboración de ficha técnica estándar. – Para proyectos estándar cuyos montos sean mayores a 750 UIT y menores a 15 000 UIT.

Elaboración de ficha técnica simplificada. – Para casos de inversiones cuyos montos sean menores a 750 UIT.

Según el Decreto Supremo N° 298-2018-EF (MEF, 2018b) la UIT (Unidad Impositiva Tributaria) para el año 2019 será de Cuatro Mil Doscientos y 00/100 Soles (S/ 4 200).

Los estudios de preinversión, normalmente se realizan por contrato de servicios de consultoría en el marco establecido por el Sistema Nacional de Programación Multianual y Gestión de Inversiones, *su costo en Soles (S/) debe constar en los Términos de Referencia (TdR)* celebrados entre el consultor y la entidad usuaria, *y se cancela cuando se declara la viabilidad* del proyecto de inversión. Finalmente, el proyecto de inversión se registra en el Banco de Inversiones mediante formato N° 01 de la Directiva 002 – 2017 -EF/63.01.

Figura 27: Fase de Formulación y Evaluación de un Proyecto de Inversión



Nota: (MEF, 2018a, pág. 9)

2.2.4.2 Fase de Inversión. – Un Proyecto de Inversión Pública, ingresa a la fase de inversión luego de su declaratoria de viabilidad.

2.2.4.2.1 Estudios definitivos (Expediente Técnico de Obra). – Se realizan por contrato de servicios de consultoría, en el marco establecido por el Sistema Nacional de Programación Multianual y Gestión de Inversiones, y el Organismo Supervisor de Contrataciones del Estado - OSCE, *su costo en Soles (S/) debe constar en los Términos de Referencia (TdR) del contrato celebrados entre el consultor y la entidad usuaria.*

“El expediente técnico de obra es el conjunto de documentos de carácter técnico y/o económico que permiten la adecuada ejecución de una obra” (OSCE, Organismo Supervisor de Contrataciones del Estado, 2018, pág. 2); comprende los siguientes documentos: Memoria descriptiva, especificaciones técnicas, planos de ejecución de obra, metrados, presupuesto de obra, valor referencial, fecha del presupuesto, análisis de precios unitarios, calendario de avance de obra valorizado, fórmulas polinómicas.

Si el caso requiere también debe incluirse: Estudio de suelos, estudios geológicos, estudios de Impacto ambiental, Otros estudios complementarios (consultorías, certificaciones, licencias, autorizaciones, etc.).

2.2.4.2.2 Inversión en equipamiento principal. – Consiste en la inversión para adquisición del sistema de irradiación que incluye:

Irradiador de electrones.

Faja transportadora de lodos.

Bunker (blindaje contra las radiaciones).

Equipos de laboratorio de dosimetría, y

Soporte tecnológico.

Normalmente esta inversión se cotiza en moneda extranjera, dólares americanos (U. S. \$), según modelo y especificaciones técnicas de diseño, ver algunos indicadores de precios en Tabla 19. Así mismo, es parte de la inversión en equipamiento principal las inversiones para la adquisición de *equipos de laboratorio de control de calidad de biosólidos*, tales como:

Equipos de laboratorio de análisis químico, y

Equipos de laboratorio de análisis microbiológico.

2.2.4.2.3 Inversión en equipamiento auxiliar. – Consiste en las inversiones a realizar para la adquisición de equipos auxiliares del proceso de irradiación de lodos para convertirlos en biosólidos, tales como:

Bombas para transporte de fluidos

Tanques de dilución y almacenamiento temporal de lodos

Agitadores u homogeneizadores de lodos

Sistemas de tuberías

Montacargas

Camión cisterna

2.2.4.2.4 Inversión en Infraestructura y obras civiles. – Comprende las inversiones en Soles (S/) para la adquisición de los siguientes rubros:

Terreno para las instalaciones de la planta de irradiación (0,5 Ha).

Cercado del terreno y seguridad de las instalaciones

Edificaciones o ambientes para: laboratorio de dosimetría, y laboratorio de control de calidad de biosólidos (laboratorio de análisis químico, y laboratorio de análisis microbiológico).

Almacén de biosólidos.

Instalaciones sanitarias.

Instalaciones eléctricas.

Capacitación de operadores de la planta de irradiación

Supervisión, e Imprevistos.

2.2.4.2.5 Servicios especializados. – Comprende los siguientes rubros:

Licenciamiento de la planta de irradiación por el IPEN

Configuración del sistema y puesta en marcha de la planta de irradiación.

Capacitación y entrenamiento de operadores de la planta de irradiación

2.2.4.2.6 Capital de trabajo. – Recursos requeridos por una empresa para poder operar con normalidad en un corto plazo (en nuestro caso, en el primer mes de operación). Comprende los siguientes rubros:

Sueldo de personal laboral

Combustible para camión volquete, y montacargas

Servicios de agua potable y alcantarillado

Servicios de energía eléctrica

Servicios de telefonía fija e internet

Servicios de transporte de bioabono líquido

2.2.5 Costos operativos anuales totales de la planta de irradiación en el horizonte del proyecto.

Son los gastos anuales que están relacionados con la operación de un negocio. Recursos utilizados solo para mantener la existencia del negocio.

“Los costos operativos son todos aquellos que se dan desde la puesta en marcha del proyecto hasta el final de su vida útil” (Esan, y conexion, 2016).

2.2.5.1 Costos operativos anuales fijos. – Están constituidos en general por las denominadas cargas de estructura, que tienen por misión permitir a la empresa mantener su capacidad de servicio. El importe de los costos fijos es constante a lo

largo del ejercicio en tanto no varíen los precios de los factores (alquiler, seguros, etc.). Su importe no se ve afectado por el volumen de la actividad (Gonzales, 2005, pág. 10).

Según Zugarramurdi, A., Parín, M. A., y Lupin, H. M., (1998) los costos operativos anuales fijos se clasifican en:

Costos indirectos. – Que a su vez incluyen:

Costos de inversión (Depreciación, impuestos, seguros, financiación, otros gravámenes).

Gastos Generales (Investigación y desarrollo, relaciones públicas, contaduría y auditoría, asesoramiento legal y patentes).

Costos de Dirección y Administración. -Incluye los costos de todos los servicios adyacentes a la planta de producción pero que no están en relación directa con ella.

Por ejemplo:

Laboratorio de control de calidad

Servicios médicos hospitalarios

Servicios de seguridad (por ejemplo: del edificio, mercaderías almacenadas)

Cafetería

Administración: salarios y gastos generales

Comunicaciones y transporte interplantas.

Protección (en los lugares de trabajo)

Costos de Ventas y Distribución. – Este rubro está compuesto usualmente por:

Salarios y gastos generales de oficinas de ventas

Salarios, comisiones y gastos de viaje de empleados del dpto. de ventas

Gastos de embarque y transporte

Gastos extras asociados con las ventas

Servicios técnicos de ventas

Preparación y envío de muestras para compradores potenciales

Participación en ferias

Costos de promoción en general

Atención de reclamos (grandes empresas)

2.2.5.2 Costos operativos anuales variables. – Un costo variable es aquel que se modifica de acuerdo a variaciones del volumen de producción (o nivel de actividad), se trata tanto de bienes como de servicios (WIKIPEDIA, 2012). Donde el nivel de actividad o volumen de producción es el grado de uso de la capacidad de producción.

“Constituyen costos operativos anuales variables” (Zugarramurdi, A., Parín, M. A., y Lupin H. M., 1998):

- Costos de materia prima
- Costos de mano de obra directa
- Costos de supervisión
- Costos de servicios
- Costos de mantenimiento
- Costos de suministros
- Costos de regalías y patentes
- Costos de envases

2.2.5.3 Costo operativo total unitario. – Es la razón de la suma de costos operativos anuales fijos y variables, a la cantidad anual de biosólidos producidos en el horizonte del proyecto. El indicador del costo total unitario es la cuantía de (S/ m³) o (S/ TM).

2.2.6 Ingresos Brutos anuales en el horizonte del proyecto.

El ingreso bruto incluye todos los ingresos que el negocio gana durante el horizonte del proyecto. Ingresos anuales por ventas de lodos desinfectados y/o esterilizados (biosólidos) en el horizonte del proyecto.

2.2.6.1 Ingresos monetarios anuales por comercialización de biosólidos producidos. – Están constituidos por el valor de las ventas de biosólidos producidos por año de operación. Su indicador es la cuantía de (S/ /año).

2.2.7 Viabilidad Económica.

“La viabilidad económica es poder vender el producto a un precio mayor al costo que se paga para obtenerlo. Cuando una vez alcanzada su capacidad de producción plena, es capaz de obtener de su actividad, una vez deducidos todos los

costos, un excedente (beneficio) suficiente para hacer frente al costo de la deuda, la remuneración de los accionistas y la financiación de una parte de su crecimiento” (Erikverdale, 2010).

Son indicadores de la viabilidad económica: El Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR), la relación Beneficio / Costo (B/C), el tiempo en años de recuperación de la inversión, y la relación Costo / efectividad (C/ε).

2.2.7.1 Valor actualizado de los beneficios anuales brutos en el horizonte del proyecto.

Definido como la sumatoria de los ingresos brutos por ventas de productos o servicios, actualizados a una tasa de rendimiento “ i_t ” fija en el horizonte del proyecto “ t ”.

2.2.7.2 Valor actualizado de los costos totales de inversión anuales en el horizonte del proyecto.

Está definido como la sumatoria de los costos de inversión actualizados a una tasa de rendimiento “ i_t ” fija en el horizonte del proyecto “ t ”.

El Valor Actual Neto (VAN) (Andrade, 1986, págs. 93-94).

El Valor Actual Neto (VAN), conocido también como Valor Presente Neto (VPN), se define como la diferencia de la sumatoria de los beneficios actualizados y los costos actualizados a una tasa de interés fija determinada. También se define al VAN como la sumatoria de los beneficios netos anuales generados por el proyecto, actualizados a una tasa de interés predeterminado pertinente a cada año.

Representación Matemática del VAN

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1 + i_t)^t} - \left[\sum_{t=0}^n \frac{I_t}{(1 + i_t)^t} + \sum_{t=0}^n \frac{G_t}{(1 + i_t)^t} \right] \quad \text{Ec. (9)}$$

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1 + i_t)^t} \quad \text{Ec. (10)}$$

$$\text{VAN} = \sum_{t=0}^n \frac{\text{BN}_t}{(1 + i_t)^t} \quad \text{Ec. (11)}$$

Donde:

VAN = Valor Actual Neto

B_t = Beneficio Bruto en el horizonte (t)

I_t = Gastos de Inversión en el horizonte (t)

G_t = Gastos de Operación en el horizonte (t)

C_t = Costo del proyecto en el horizonte (t)

BN_t = Beneficio Neto en el horizonte (t)

i_t = Tasa de rendimiento requerida o costo de oportunidad de capital en el horizonte (t)

t = Horizonte del proyecto

De acuerdo con lo dispuesto por el MEF en nuestro caso consideramos las tasas de rendimiento o tasas de descuento social siguientes (MEF, 2019, págs. 1, 2):

i_t = Tasa de descuento social (del año 1 al año 20) = 8%

i_t = Tasa de descuento social a largo plazo (del año 21 al año 30) = 5.5%

INTERPRETACIÓN DEL VAN (Andrade, 1986, pág. 95).

Cuando el Valor Actual Neto (VAN) es mayor que cero ($\text{VAN} > 0$) que equivale a decir que los beneficios del proyecto son superiores a sus costos, se da por aceptado el proyecto y se recomienda su ejecución inmediata.

Cuando el Valor Actual Neto (VAN) es igual a cero ($\text{VAN} = 0$), es decir que los beneficios del proyecto igualan a sus costos, permanece postergado, por lo que se recomienda analizar otras variables para justificar su ejecución.

Cuando el Valor Actual Neto (VAN) es menor que cero ($\text{VAN} < 0$), que significa que los beneficios son inferiores que los costos, se desecha el proyecto.

2.2.7.3 La Tasa de Interés Interna de Retorno (TIR) (Andrade, 1986, págs. 97-99)

Definiciones:

La Tasa Interna de Retorno (TIR) de un proyecto de inversión es la tasa de descuento que iguala el valor actual de los beneficios y el valor actual de los costos previstos.

Es aquella tasa de descuento tal como “i” para la cual el Valor Actual Neto (VAN) resulta igual a cero.

Representación Matemática de la TIR

$$\sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+i)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+i)^t} \quad \text{Ec. (12)}$$

$$\sum_{t=0}^n \frac{BN_t}{(1+i)^t} = 0 \quad \text{Ec. (13)}$$

Donde:

i = Tasa Interna de Retorno

B_t = Flujo de Beneficios Brutos en el Periodo t

C_t = Flujo de Egresos Brutos en el Periodo t

BN_t = Flujo de Fondos Netos en el periodo t

n = Último Periodo del Movimiento de Caja

INTERPRETACIÓN DE LA TIR (Andrade, 1986, pág. 99).

Si definimos que la Tasa Interna de Retorno es igual a “i”, y “r” la rentabilidad mínima aceptable del capital bancario, el análisis e interpretación del proyecto en base a la TIR tendrá la siguiente calificación:

Proyecto con $i > r$, equivale a decir que el interés equivalente sobre el capital que el proyecto genera, es superior al interés mínimo aceptable del capital bancario. En este caso el proyecto es positivo, óptimo aceptable, por lo que se recomienda su inmediata ejecución.

Proyecto con $i = r$, indica que el interés equivalente sobre el capital que el proyecto genera, es igual al interés mínimo aceptable, en este caso el proyecto es indiferente ya que su costo de oportunidad de capital iguala al costo de capital bancario.

Proyecto con $i < r$, esto equivale a decir que el costo de oportunidad de capital es inferior al costo de capital bancario, lo cual indica que el rendimiento del proyecto es menor al que se obtendría en otra alternativa de inversión; por lo tanto, se recomienda la no ejecución del proyecto.

2.2.7.4 Razón beneficio anual actualizado a costo total anual actualizado del proyecto (B/C) (Andrade, 1986, págs. 112-113).

El coeficiente o razón Beneficio / Costo, es un indicador muy parecido al Valor Actual Neto conceptualmente y como medida de valor, pero puede conducir a errores de decisión al igual que cualquier indicador de evaluación, por falta de criterio y manejo apropiado.

Definición:

El coeficiente o razón Beneficio / Costo (B/C), es el cociente que resulta de dividir la sumatoria de los beneficios actualizados entre la sumatoria de los costos actualizados a una tasa de interés fija predeterminada.

REPRESENTACIÓN MATEMÁTICA DE (B/C).

$$B/C = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+i)^t}} \quad \text{Ec. (14)}$$

Donde:

B_t = Beneficios Brutos en el periodo t

C_t = Costos o egresos en el periodo t

i = Tasa de rendimiento

n = horizonte del proyecto

INTERPRETACIÓN DE LA RAZÓN B/C (Andrade, 1986, pág. 115)

Proyecto con $B/C > 1$, equivale a decir, que el valor bruto de sus beneficios es superior a sus costos; en este caso la regla de decisión será llevar a cabo el proyecto de inversión, como tal se acepta y se recomienda por su ejecución.

Proyecto con $B/C = 1$, equivale a decir que sus beneficios son iguales a sus costos; en este caso sería indiferente aceptar o rechazar el proyecto, por tanto, antes de decidir por uno u otro se recomienda examinar el proyecto.

Proyecto con $B/C < 1$, equivale a decir que el valor de sus beneficios es inferior a sus costos; en este caso, la regla de decisión es desechar el proyecto por ser negativo.

La razón B/C modificada incluye los costos de mantenimiento y operación (M&O) en el numerador y la trata de forma similar a los contrabeneficios. El denominador, entonces, incluye solamente los costos de inversión inicial. Una vez que todas las cantidades se expresan en términos de VP o VA, la razón B/C modificada se calcula de la siguiente manera (Blank, L., y Tarquin, A., 2007, pág. 335):

$$(B/C)_{\text{modificada}} = (\text{beneficios} - \text{contrabeneficios} - \text{costos M\&O}) / \text{Inversión inicial}$$

2.2.7.5 Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI) (Esan, 2017).

El periodo de recuperación de la inversión (PRI) es un indicador que mide en cuanto tiempo se recuperará la inversión a valor presente. Puede revelarnos con precisión, en años, meses y días, la fecha en la cual será cubierta la inversión inicial.

Para calcular el PRI se usa la siguiente fórmula:

$$PRI = a + \frac{(b - c)}{d} \quad \text{Ec. (15)}$$

Donde:

a = Año inmediato anterior en que se recupera la inversión

b = Inversión inicial

c = Flujo de efectivo acumulado del año inmediato anterior en el que se recupera la inversión.

d = Flujo de efectivo del año en el que se recupera la inversión

2.2.7.6 Razón Costo / efectividad o Índice Costo Efectividad (CE) (Soto, 2011, pág. 2).

Según Soto (2011, pág.2). “Esta metodología consiste en identificar los beneficios del proyecto y expresarlos en unidades no monetarias, para luego calcular el costo promedio por “unidad de beneficio” del proyecto (o de cada alternativa que comprende).

Por “unidad de beneficio” se entiende al número de personas, atenciones, casos resueltos, o cualquier otra unidad de medida que el proyecto pretenda generar como expresión aproximada de los beneficios sociales que persigue.

La rentabilidad social utilizando esta metodología se expresa a través del siguiente indicador: Índice o Ratio Costo-Efectividad (CE). Este índice expresa el costo social promedio en valores actuales, de una unidad de beneficio no monetaria. Por ello en una evaluación entre varias alternativas de un mismo proyecto, se considera como “mejor alternativa” aquella que obtiene menor índice costo-efectividad. Sin embargo, para considerar como “rentable socialmente” o “socialmente rentable” a la alternativa o al propio PIP, el índice CE debe ser igual o inferior a la “línea de corte” o parámetro mínimo de dicho índice para su tipo de proyecto (esto lo establece el sector público institucional al cual pertenece el proyecto)”:

Rentabilidad Económica

$CE \leq \text{Línea de corte}$

FÓRMULA GENERAL DEL ÍNDICE COSTO-EFECTIVIDAD (Guibo, 2012, pág. 27)

$$ICE = \frac{\text{VAC de Inversión, O\&M}}{\text{Población Beneficiada}} \quad \text{Ec. (16)}$$

Donde:

ICE = Índice Costo-Efectividad

VAC = Valor Actual de los Costos a precios sociales

CRITERIO DE DECISIÓN:

Si ICE del Proyecto < ICE de la línea de corte, entonces se acepta el Proyecto
Si ICE del Proyecto >ICE de la línea de corte, entonces se rechaza el Proyecto

2.3 Bases filosóficas

La presente investigación se circunscribe en la visión para el tratamiento de las aguas residuales y la recuperación de sus recursos, en el marco filosófico de los objetivos del desarrollo sostenible (ODS) y las metas de universalización del servicio de agua y saneamiento, acordados en el año 2015 por la ONU (Organización de las Naciones Unidas); específicamente en el objetivo 6 que a la letra dice: Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos.

“El agua libre de impurezas y accesible para todos es parte esencial del mundo en que queremos vivir. La escasez de recursos hídricos, la mala calidad del agua y el saneamiento inadecuado influyen negativamente en la seguridad alimentaria, las opciones de medios de subsistencia y las oportunidades de educación para las familias pobres. La sequía cuando afecta recrudece el hambre y la desnutrición” (ONU, 2015).

Según la ONU (2015) dicho objetivo 6 tiene entre otras, las metas siguientes:

6.6 De aquí al 2030, proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos.

6.a De aquí al 2030, ampliar la cooperación internacional y el apoyo prestado a los países en desarrollo para la creación de capacidad en actividades y programas relativos al agua y el saneamiento, como los de captación de agua, desalinización, uso eficiente de los recursos hídricos, tratamiento de aguas residuales, reciclado y tecnologías de reutilización.

Un reciente estudio (Repensando la infraestructura en América Latina y el Caribe: gastar mejor para lograr más.) del Banco Mundial concluye que: “Las inversiones en aguas residuales deben promover la recuperación de los recursos para hacerlas más sostenibles” (Banco Mundial & MVCS, 2017, pág. 8)

2.4 Definición de términos básicos

2.4.1 Términos químicos.

Demanda Química de Oxígeno (DQO). – Cantidad de Oxígeno diatómico (en mg/L) necesario para la oxidación química de la materia orgánica en una muestra de agua residual o lodos, en condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo.

Ecotóxicos. – Productos químicos peligrosos para el medio ambiente, capaz de ser absorbidos por cualquier elemento de un ecosistema, modificando el equilibrio biológico del mismo.

Efluente. – Líquido que sale de una planta de tratamiento de agua residual.

Ionización. – Generación de átomos o moléculas con carga eléctrica positiva o negativa.

Lodos. – “Son residuos sólidos provenientes de procesos de tratamiento de aguas residuales que cuentan con alta concentración de materia orgánica, característica que se aplica principalmente a los lodos obtenidos en el tratamiento primario y tratamiento secundario, así como a las excretas de instalaciones sanitarias in situ” (MVCS, 2017b, pág. 34)

Lodo crudo. – Lodo efluente de la sedimentación primaria y sedimentación secundaria, y que necesita tratamiento posterior (espesamiento y digestión).

Lodo digerido. – Lodo tratado mediante digestión aerobia o anaerobia, hasta niveles de mineralización.

Macronutrientes. – Elementos necesarios en relativamente grandes cantidades. Son macronutrientes vegetales: Nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre.

Micronutrientes. – Elementos necesarios en pequeñas cantidades (en cantidades traza). Son micronutrientes vegetales: Hierro, cobre, boro, manganeso, zinc, cloro, molibdeno, y selenio.

Materia orgánica. – Material formado por compuestos orgánicos provenientes de residuos de organismos que en algún momento estuvieron vivos, tales como plantas vegetales, animales y sus excretas. Principal componente de los lodos efluentes de Plantas de Tratamiento de aguas residuales.

Metales pesados. - Son aquellos metales de alta densidad (por lo menos cinco veces más denso que el agua) con propiedades tóxicas y venenosas a bajas concentraciones. Algunos de ellos son bioelementos imprescindibles (elementos traza esenciales) para el funcionamiento de los sistemas bioquímicos de los seres vivos, por ejemplo: El Hierro, Cobre, Zinc, Manganeso, Cromo, Cobalto, Vanadio, Selenio, Molibdeno, Iodo.

Radical libre. - Átomos o moléculas que contienen por lo menos un electrón desapareado en su orbital atómico o molecular, que le otorga una alta inestabilidad (tienen una vida media muy corta) y en consecuencia tienen una alta reactividad química.

Sólidos suspendidos (SS). – Contaminantes sólidos heterogéneos dispersos en el agua, cuyo tamaño de partícula no soluble y no filtrable es mayor a 1.2 μm .

Sólidos totales (ST). – Es la materia seca concentrada en los lodos y/o biosólidos que han sido deshidratados hasta alcanzar un peso constante. El valor que se ha evaporado en este proceso corresponde a la humedad. (MVCS, 2017b, pág. 34).

Sólidos volátiles. – Son los sólidos orgánicos presentes en los Sólidos Totales (ST) que se volatilizan cuando una muestra secada se quema en condiciones controladas (MVCS, 2017b, pág. 34).

Tóxicos. – “Elementos o compuestos químicos capaces de ocasionar daño por contacto o acción sistémica a plantas, animales y al hombre” (MVCS, 2006).

2.4.2 Términos físicos.

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 1.6021×10^{-19} culombios.

Dosimetría. – Medida de la dosis absorbida por la materia, debida a la exposición de la radiación ionizante directa o indirecta.

Electrón Voltio (eV). - 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. $1 \text{ eV} = 1.6021 \times 10^{-19}$ Joules.

Ergio. - Unidad de energía del sistema de unidades CGS, equivale a 10^{-7} Joules.

Gray (Gy). - Unidad de medida de la dosis de radiación absorbida por una sustancia, equivalente a la energía de un Joule absorbida por cada kilogramo de sustancia ($\text{Gy} = \text{J/kg}$), o equivalente a 100 rads, un múltiplo de esta unidad es el kiloGray (kGy), el cual equivale a 1000 Gy.

Irradiación. - Emisión de radiaciones y exposición de un cuerpo a los rayos de luz o radiaciones emitidas.

Joule (J). - Unidad básica de medida de energía, trabajo o calor en el Sistema Internacional, definido como la cantidad de trabajo realizado por una fuerza constante de un Newton en un metro de longitud en la misma dirección de la fuerza.

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 10^{-2} Grays, un múltiplo de esta unidad es el kiloRad (kRad), el cual equivale a 1000 Rads.

Radiación ionizante. – Radiación de alta energía, que al interactuar con la materia puede producir ionización de la misma, es decir origina partículas con carga eléctrica (iones).

Radiación-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.

Radiólisis. - Descomposición química de los líquidos y las soluciones bajo el efecto de las radiaciones ionizantes.

Radiometría. - Medición de la intensidad de las radiaciones.

2.4.3 Términos Biológicos.

Agentes patógenos. – “Son las bacterias, protozoarios, hongos, virus, huevos de helmintos en lodos y/o biosólidos capaces de provocar enfermedades y epidemias en el ser humano” (MVCS, 2017b).

Bacterias. – “Grupo de organismos microscópicos unicelulares, con cromosoma bacteriano único, división binaria y que interviene en los procesos de estabilización de la materia orgánica” (MVCS, 2006, pág. 320556).

Bioabono líquido. – Líquidos resultantes de las etapas de espesamiento, deshidratación y filtrado de lodos y biosólidos de PTAR.

Biodegradación. – “Transformación de la materia orgánica en compuestos menos complejos, por acción de microorganismos” (MVCS, 2006, pág. 320556).

Biosólidos. – “Es el subproducto resultante de la estabilización de la fracción orgánica de los lodos generados en el tratamiento de aguas residuales, con características químicas, físicas y microbiológicas que permiten su reaprovechamiento como acondicionador de suelos. No son biosólidos las cenizas producto de la incineración de lodos” (MVCS, 2017b, pág. 34).

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅). – Es la cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos en sus procesos metabólicos para la degradación bioquímica de la materia orgánica, bajo condiciones específicas de lugar (oscuridad), tiempo (5 días), y temperatura (20 °C). Se utiliza para medir el grado de contaminación de aguas residuales; normalmente se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mg O₂/L).

Desinfección. – Eliminación o inactivación de agentes patógenos (pero no necesariamente todas las formas de vida microbiana) por procesos físicos o químicos. La desinfección es un proceso de eliminación de los agentes infecciosos. La desinfección, no es una esterilización.

Desinfectar. - Eliminar de un cuerpo o de un lugar los gérmenes patógenos que lo contaminan. Quitar [de una cosa] lo que puede ser una causa o el origen de infección.

Digestión. – “Descomposición biológica de la materia orgánica del lodo que produce una mineralización, licuefacción y gasificación parcial” (MVCS, 2006, pág. 320557).

Escherichia coli. – “*E. coli* es la bacteria anaerobia facultativa comensal más abundante de la microbiota; asimismo, es uno de los organismos patógenos más relevantes en el humano, tanto en la producción de infecciones gastrointestinales como de otros sistemas (urinario, sanguíneo, nervioso)” (Escherich, 1919)

Esterilización. - Es el proceso de destrucción o muerte de toda forma de vida microbiana. Entendiéndose por destrucción o muerte, a la pérdida de vida y de la capacidad reproductiva de los microorganismos. El término estéril es absoluto; algo está estéril o no lo está.

2.4.4 Términos económicos.

Interés. – “Precio pagado por el prestatario con un monto de dinero líquido, por el uso del dinero del prestamista con la finalidad de compensar a este último por el sacrificio de la pérdida de la disponibilidad inmediata del dinero, la disminución del valor adquisitivo del dinero por la inflación y el riesgo involucrado en el hecho de prestar dinero” (BCR-Perú, s.f. pág. I).

Inversión. – “En términos macroeconómicos, es el flujo de producto de un período dado que se destina al mantenimiento o ampliación del stock de capital de la economía. El gasto en inversión da lugar a un aumento de la capacidad productiva. En finanzas, es la colocación de fondos en un proyecto (de explotación, financiero, etc.) con la intención de obtener un beneficio en el futuro” (BCR-Perú, Glosario de Términos Económicos, s.f., pág. I)

Inversión Pública. – “Corresponde a todo gasto de recursos destinado a incrementar, mejorar o reponer las existencias de capital físico de dominio público y/o de capital humano, con el objeto de ampliar la capacidad del país para la prestación de servicios, o producción de bienes. El concepto de Inversión Pública incluye todas las actividades de preinversión e inversión que realizan las entidades del sector público” (BCR-Perú, s.f. pág. I)

Valor de Mercado. – “Valor que se obtendría por un determinado producto en un momento dado, si éste fuera puesto a la venta, suponiendo unas condiciones normales e información perfecta en el mercado. Precio al cual un título o valor (acción o bono, entre otros) es comercializado (comprando o vendiendo) en dicho mercado. El precio de mercado es independiente del valor a la par, pero si depende de la oferta y demanda de mercado” (BCR-Perú, s.f, pág. V).

Valor presente neto (VPN) o Valor Actual Neto (VAN). – “Criterio financiero para el análisis de proyectos de inversión que consiste en determinar el valor actual de los flujos de caja que se esperan en el transcurso de la inversión; tanto de los flujos positivos como de las salidas de capital (incluida la inversión inicial), donde éstas se representan con signo negativo; mediante su descuento a una tasa o costo de capital adecuado al valor temporal del dinero y al riesgo de la inversión. Según este criterio, se recomienda realizar aquellas inversiones cuyo valor actual neto sea positivo” (BCR-Perú, s.f, pág. V).

Viabilidad económica. – “Es poder vender el producto a un precio mayor al costo que pague para obtenerlo, en cambio, la viabilidad financiera es tener la capacidad para poder soportar los gastos a corto, medio y largo plazo. El estudio de la viabilidad económica no es otra cosa que la evaluación del proyecto. En esta parte se calcula la rentabilidad del proyecto. Para ello, se utilizan diversos indicadores, los más usados son el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), también se puede usar la razón Beneficio Costo (B/C), indicadores de Costo Efectividad o de Período de Recuperación de la Inversión” (Erikverdale, 2010).

Viabilidad Técnica. – “Condición que hace posible el funcionamiento del sistema, proyecto o idea al que se refiere, atendiendo a sus características tecnológicas y a las leyes de la naturaleza involucradas. La viabilidad técnica se analiza ante un

determinado requerimiento o idea para determinar si es posible llevarlo a cabo satisfactoriamente y en condiciones de seguridad con la tecnología disponible, verificando factores diversos como resistencia estructural, durabilidad, operatividad, implicaciones energéticas mecanismos de control, según el campo del que se trate” (Fondo nacional emprendedor, s.f., pág. 2).

2.5 Hipótesis de investigación

2.5.1 Hipótesis general

Hipótesis alterna. - “Es viable técnica y económicamente el uso de haces electrónicos para desinfectar lodos efluentes del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Puno”

Hipótesis nula. - “No es viable técnica y económicamente el uso de haces electrónicos para desinfectar lodos efluentes del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Puno”

2.5.2 Hipótesis específicas

Hipótesis específica 1

Hipótesis alterna 1.- “Es viable técnicamente el uso de haces electrónicos para desinfectar lodos efluentes del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Puno”

Hipótesis nula 1.- “No es viable técnicamente el uso de haces electrónicos para desinfectar lodos efluentes del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Puno”

Hipótesis específica 2

Hipótesis alterna 2.- “Es viable económicamente el uso de haces electrónicos para desinfectar lodos efluentes del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Puno”

Hipótesis nula 2.- “No es viable económicamente el uso de haces electrónicos para desinfectar lodos efluentes del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Puno”

2.6 Operacionalización de las variables

Variables de la hipótesis específica 1.- Definimos las siguientes variables para la hipótesis específica 1:

A. Variables independientes de la hipótesis específica 1

X₁: Material a irradiar. - Lodos efluentes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales municipales de la ciudad de Puno, variable independiente cuya cantidad, propiedades biológicas y fisicoquímicas dimensiona la tecnología de irradiación que se requiere para su desinfección.

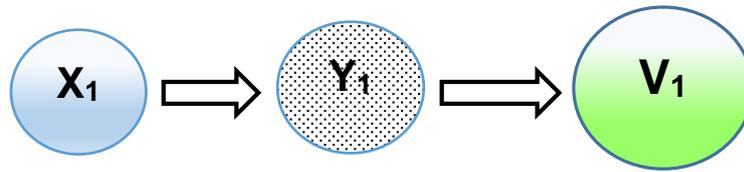
Y₁: Tecnología de irradiación requerida. - Variable independiente, cuyas características y/o especificaciones técnicas y precio en el mercado internacional definen la viabilidad o no viabilidad tecnológica.

B. Variable dependiente de la hipótesis específica 1

V₁: Viabilidad técnica. - Variable dependiente, su valor está dado por la razón del precio de la tecnología usada y la potencia del haz de electrones usada en la irradiación de una masa de lodos.

El diagrama de causa – efecto entre las variables de la hipótesis específica 1 es el siguiente:

Figura 28: Diagrama de causa–efecto entre las variables de la hipótesis específica 1



Nota: Elaboración propia

Variables de la hipótesis específica 2.- Definimos las siguientes variables para la hipótesis específica 2:

C. Variables independientes de la hipótesis 2.

X2: Inversión inicial total. - Variable independiente que incluye la inversión en la adquisición de equipos, infraestructura, servicios de consultoría de la tecnología para la planta de irradiación y producción de biosólidos, propuesta como una tercera etapa de tratamiento de lodos.

Y2: Costos operativos anuales totales de la planta de irradiación en el horizonte del proyecto. - Variable independiente que incluye costos operativos anuales fijos, y costos operativos anuales variables en el horizonte del proyecto.

Z2: Ingresos brutos en el horizonte del proyecto. - Variable independiente que comprende los ingresos por venta de biosólidos, y servicios de irradiación de lodos a terceros si los hubiera.

D. Variable dependiente de la hipótesis específica 2

V2: Viabilidad económica. - Variable dependiente que tiene cuatro componentes principales:

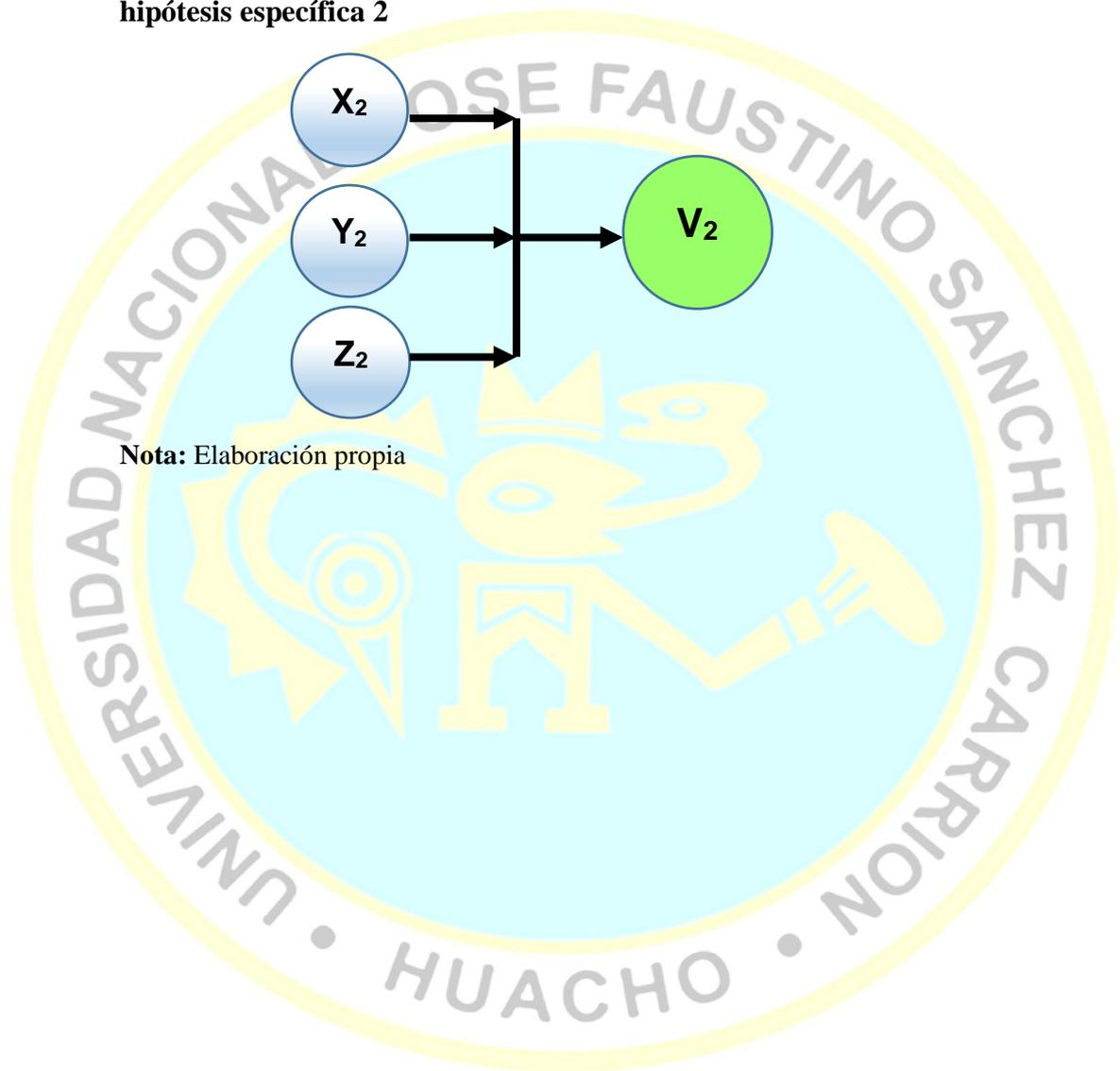
El valor actual de los beneficios de la operación de la planta, a precio de mercado, en el horizonte del proyecto.

El valor actual de los costos totales a precio de mercado, evaluado en el horizonte del proyecto.

El periodo de recuperación de la inversión (PRI).

La razón de Costo/Efectividad (C/E).

Figura 29: Diagrama de causa-efecto entre las variables de la hipótesis específica 2



Nota: Elaboración propia

Tabla 20: Operacionalización de variables para la hipótesis 1

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	NIVELES DE MEDICIÓN
<p>X₁: Material a irradiar</p> <p><u>Variable Independiente</u></p> <p>Cuantitativa</p>	<p>Lodos residuales efluentes de PTAR Puno, a ser irradiados con haces electrónicos para su desinfección y agregación de valor, y transformarse en recurso (biosólido)</p>	<p>Lodos efluentes de PTAR Puno, cuya cantidad, propiedades microbiológicas y fisicoquímicas, dimensiona la tecnología de irradiación que se requiere para su desinfección.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Caudal de lodos (flujo volumétrico) • Concentración de contaminantes microbiológicos • Concentración de macronutrientes (NPK) y micronutrientes de vegetales • Concentración de contaminantes químicos (metales pesados) 	<ul style="list-style-type: none"> • (m³/día), y/o (Litros/s): Estimación a partir del tamaño de la población atendida en el tiempo. • (NMP/1 g ST), (NMP/100 mL): Parámetros de higienización de biosólidos e indicadores de contaminación fecal y huevos de helmintos. • (ppm), o (mg/L): Concentración; data de análisis de laboratorio químico. Valores característicos. • (mg/kg ST), Parámetros de toxicidad química en biosólidos; data de análisis de laboratorio químico. 	<p><u>Intervalar</u>: Continuo Mínimo - Máximo</p> <p><u>Ordinal</u>:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Clase A • Clase B <p><u>Intervalar</u>: Mínimo - Máximo</p> <p><u>Ordinal</u>:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Clase A y Clase B • No califica
<p>Y₁: Tecnología de irradiación requerida</p> <p><u>Variable Independiente</u></p> <p>Cuantitativa</p>	<p>Sistema electromecánico ON/OF generador de haces electrónicos (Irradiador de electrones)</p>	<p>Tecnología cuyas características y/o especificaciones técnicas y precio en el mercado internacional definen la viabilidad o no viabilidad tecnológica.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Potencia del haz de electrones • Penetrabilidad del haz de electrones en los lodos, y efectos de la irradiación. • Eficiencia del sistema y aplicaciones • Precios de la tecnología requerida 	<ul style="list-style-type: none"> • (kW o HP): Especificación técnica de potencia • (cm, o mm): Centímetros o milímetros de penetración del haz en los lodos. • (kW/kW): Razón (potencia del haz de electrones / potencia eléctrica consumida) • (USA \$): Dólares americanos 	<p><u>Ordinal</u>:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alta energía • Mediana energía • Baja energía <p><u>Intervalar</u>: 0 – 5 cm</p> <p><u>De Razón</u>: 0 – 1.00</p> <p><u>Intervalar</u>: Discreto</p>
<p>V₁: Viabilidad técnica</p> <p><u>Variable Dependiente</u></p> <p>Cuantitativa</p>	<p>Disponibilidad de la tecnología para obtener una potencia determinada del haz de electrones a un costo mínimo</p>	<p>Inversión realizada en la tecnología para obtener una potencia determinada del haz de electrones.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tamaño, modelo y tipo de tecnología • Razón de la inversión inicial y costos totales de la planta de irradiación a la potencia del haz de electrones 	<ul style="list-style-type: none"> • Disponibilidad de compra-venta en el mercado internacional • (USA \$ / kW): Dólares/kilowatt 	<p><u>Nominal</u>: SI / NO</p> <p><u>Ordinal</u>:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bajo • Medio • Alto

Nota: Elaboración propia

Tabla 21: Operacionalización de variables para la hipótesis 2

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	NIVELES DE MEDICIÓN
<p>X₂: Inversión inicial total</p> <p><u>Variable independiente</u></p> <p>Cuantitativa</p>	<p>Inversión necesaria para iniciar el proyecto, antes de que este empiece a producir.</p>	<p>Establece el nivel de la inversión necesaria antes de la puesta en marcha o arranque del proyecto.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Estudios preliminares o de pre inversión, y estudios definitivos para adquisición de la planta de irradiación de lodos. Equipamiento principal Equipamiento auxiliar Infraestructura y obras civiles 	<ul style="list-style-type: none"> (S/ : Soles): Costo de servicios de consultoría para elaborar el Perfil del Proyecto de Inversión Pública (PIP), y expediente técnico en el Sistema Nacional de Programación Multianual y Gestión de Inversiones (INVIERTE.PE) (USA \$: Dólares americanos): Costo del irradiador de electrones, faja transportadora, búnker y equipos de laboratorio de dosimetría, y soporte tecnológico (USA \$: Dólares americanos). Costos de equipos de laboratorio de análisis químico y análisis microbiológico. (S/ : Soles). Costos de equipos auxiliares de proceso (bombas, tanques, agitadores, tuberías, montacargas, etc.) (S/ : Soles). Compra de terreno para la planta de irradiación, costos de edificaciones (ambientes para laboratorios de dosimetría, de análisis químico y microbiológico; almacén de lodos desinfectados, cercado y seguridad). 	<p><u>Intervalar</u>: Continuo</p> <p><u>Intervalar</u>: Continuo</p> <p><u>Intervalar</u>: Continuo</p> <p><u>Intervalar</u>: Continuo</p> <p><u>Intervalar</u>: Continuo</p>
<p>Y₂: Costos operativos anuales totales de la planta de irradiación en el horizonte del proyecto</p> <p><u>Variable independiente</u></p> <p>Cuantitativa</p>	<p>Gastos anuales que están relacionados con la operación de un negocio. Recursos utilizados solo para mantener la existencia del negocio</p>	<p>Es el costo anual de hacer negocios, implicados en atender los asuntos del negocio.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Costos operativos anuales fijos Costos operativos anuales variables Costo operativo total unitario 	<ul style="list-style-type: none"> (S/ : Soles). Amortización del crédito o préstamo bancario, costos laborales, y la depreciación del sistema. (S/ : Soles). Costo de servicios de mantenimiento, costo de energía eléctrica, costos de servicio de transporte de bioabono líquido, costos de agua potable y arbitrios. (S/ /TM o S/ . / m³). Razón de la suma de costos operativos anuales fijos y variables al peso o volumen anual de lodos producidos en el horizonte del proyecto. 	<p><u>Intervalar</u>: Continuo</p> <p><u>Intervalar</u>: Continuo</p> <p><u>Intervalar</u>: de Razón</p>

Z2: Ingresos brutos anuales en el horizonte del proyecto

El ingreso bruto incluye todos los ingresos que el negocio gana durante el horizonte del proyecto

Ingresos anuales por ventas de lodos desinfectados y/o esterilizados (biosólidos) en el horizonte del proyecto

- Ingresos monetarios anuales por comercialización de biosólidos y bioabono líquidos producidos y servicios de desinfección de lodos a terceros
- **(S/ / Año)**. Cuantía de ventas de biosólidos, y valor de servicios de desinfección de lodos a terceros, producido por año de operación.

Variable independiente
Cuantitativa

Intervalar: Continuo

V2: Viabilidad económica

La viabilidad económica es poder vender el producto a un precio mayor al coste que se paga para obtenerlo

Cuando, una vez alcanzada su capacidad de producción plena, es capaz de obtener de su actividad, una vez deducidos todos los costos, un excedente (beneficio) suficiente para hacer frente al costo de la deuda, la remuneración de los accionistas y la financiación de una parte de su crecimiento

- Valor Actualizado de los Beneficios anuales Brutos en el horizonte del proyecto.
- Valor Actualizado de los Costos de Inversión anuales en el horizonte del proyecto.
- Tasa de Interés Interna de Retorno del proyecto.
- Razón Beneficio anual Actualizado a Costo de Inversión del proyecto.
- Periodo de Recuperación de la Inversión
- Razón Costo – efectividad

- **(VAN):** Valor Actual Neto, valor en S/
- **(TIR):** Tasa Interna de Retorno en, valor en %
- **(B/C):** Relación Beneficio / Costo
- **(PRI):** Tiempo de Recuperación de la Inversión, estimado en años, o meses
- **(C/E):** Relación Costo / Efectividad

Variable dependiente
Cuantitativa

Ordinal:
> 0
= 0
< 0

De Razón:
Continuo (%)

Ordinal:
> 1
= 1
< 1

Intervalar: Discreto

De Razón: Continuo

Nota: Elaboración propia

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Diseño metodológico

3.1.1 Tipo de investigación. – La presente investigación corresponde a:

Según el enfoque o tendencia: Es una investigación cuantitativa.

Según la temporalidad (el tiempo de ocurrencia de los hechos): *Es una investigación longitudinal*, dado que la data que sustenta los resultados, es la población urbana de Puno en el horizonte de 30 años, estimada con la “tasa de crecimiento de 1.53%” (INEI, Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2015, pág. 9). Así mismo es longitudinal porque se estudia las variables propuestas en un periodo de tiempo de 30 años.

Según la orientación o nivel: *Es una investigación aplicada/tecnológica de innovación*, porque proponemos resolver un problema de saneamiento ambiental que necesita soluciones urgentes, usando y/o aplicando una tecnología innovadora como es la irradiación de electrones.

Según el análisis y alcance de los resultados: La presente es una investigación explicativa no experimental.

3.1.2 Estrategias para el cumplimiento de objetivos. - Estas son las siguientes:

3.1.2.1 Estrategias para el cumplimiento del objetivo 1. – Para el cumplimiento del objetivo 1, es decir determinar la viabilidad técnica, se ha seguido las etapas siguientes como estrategias:

Etapas 1. – Se estima la cantidad de habitantes beneficiarios por año en el horizonte de 30 años, “con una tasa de crecimiento de 1.53%”, valor tomado de (INEI, Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2015, pág. 9). La cantidad de habitantes nos permite estimar la cantidad de agua residual generada y a ser tratada en la PTAR; con la cantidad de agua residual tratada en la PTAR se estima la cantidad de lodos generados, los mismos que serán irradiados para su desinfección y su conversión en biosólidos y bioabono líquido.

En la aplicación o uso de la tecnología de haces electrónicos para desinfectar lodos efluentes de PTARs; *se acepta y no discute los datos experimentales de dosis de radiación electrónica* publicada en internet libre y en diferentes artículos de revistas especializadas, tales como en: “Disinfection and reduction of organic load of sewage water by electron beam radiation” (Maruthi *et al.*, 2011), “Radiation technology for sewage sludge treatment: the argentine project” (Graíño, 2001, págs. 171, 172), “Design of Electron Beam Sludge Hygienization Plant” (Kim *et al.*, 2009, pág. 9), y entre otros “Electron Beam Process Design for the Treatment of Wastes and Economic Feasibility of the Process” (Cleland M. R., Fernald R. A., y Malcof S. R., 1984, pág. 184).

En esta etapa es de suma importancia conocer la concentración de metales pesados (As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, Zn) en (mg/kg de ST de materia seca) para comparar y observar el cumplimiento o no de los parámetros de toxicidad química, para clasificar o no a los biosólidos como de clase A y clase B. Para ello se ha recogido y usado data experimental relevante monitoreada y publicada por la “Comisión Multisectorial para la Prevención y Recuperación Ambiental del Lago Titicaca y sus Afluentes (Decreto Supremo N° 075–2013–PCM)” (PCM, 2014, págs. (IV-87) - (IV-92)); en cuanto a: Parámetros fisicoquímicos, propiedades microbiológicas, contenido de macronutrientes (NPK: Nitrógeno, Fósforo y Potasio), micronutrientes (Ca, Mg, S, Cu, Fe, Zn, Mn, Mo, Cl), y contenido de metales pesados (Pb, Cd, Cu, y Ni) reportados para puntos que se localizan muy próximos o cercanos a los puntos de descarga de emisiones de aguas servidas municipales que desembocan en la bahía interior de Puno.

También en esta etapa se toma en cuenta los parámetros de estabilización de lodos, parámetros de toxicidad química en biosólidos, y parámetros de higienización de biosólidos recomendados por el “Reglamento de reaprovechamiento de lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales” (MVCS, 2017b, pág. 36).

Así mismo, se tiene en cuenta las recomendaciones de la “Norma OS.090” (MVCS, 2006, pág. 32574) respecto a: Diseño de instalaciones de tratamiento de lodos, lagunas de lodos, remoción de lodos de las lagunas de estabilización, lechos de secado.

Etapa 2. - La cantidad de lodos estimados, nos permite estimar y determinar las características técnicas necesarias (potencia, eficiencia del sistema, penetrabilidad del haz de electrones, etc.) de la tecnología de irradiación (irradiador de electrones) a utilizar.

Etapa 3. - Las características técnicas obtenidas en la etapa 2, determinan el tamaño del irradiador de electrones, y nos permite hacer la búsqueda del modelo, costos y tipo de tecnología en el mercado internacional. Con esta información podemos determinar la razón de costos totales de la planta de irradiación a la potencia del haz de electrones, y la disponibilidad de la tecnología en el mercado internacional; en consecuencia, se determina la *viabilidad técnica*.

3.1.2.2 Estrategias para el cumplimiento del objetivo 2. – Para el cumplimiento del objetivo 2, es decir para determinar la viabilidad económica, se ha seguido las etapas siguientes como estrategias:

Etapa A. – El tamaño, el modelo, y el tipo de tecnología determinan la inversión en equipamiento principal, que, junto a los costos por estudios preliminares y estudios definitivos, la inversión en equipamiento auxiliar, y la inversión en infraestructura y obras civiles, permite estimar la inversión inicial de la planta de irradiación.

Etapa B. – Se estiman los costos operativos anuales totales de la planta de irradiación en el horizonte del proyecto. Con la estimación de la cantidad de lodos irradiados desinfectados (biosólidos) se estima los beneficios anuales brutos o ingresos monetarios por ventas de biosólidos y/o prestación de servicios de irradiación a terceros en el horizonte del proyecto

Etapa C. – Se actualiza los beneficios anuales brutos, y los costos de inversión anuales en el horizonte del proyecto, y se estima el Valor Actual Neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR), la relación Beneficio/Costo (B/C), el periodo de recuperación de la inversión (PRI), y la razón o índice Costo/Efectividad (C/E). Estos indicadores en su conjunto han permitido determinar la *viabilidad económica* del presente estudio.

3.2 Población y muestra

3.2.1 Población

La población es la cantidad total de habitantes de la zona urbana del distrito de Puno en el año de inicio del proyecto (2019); actualmente en el año 2019 la población distrital urbana de Puno se estima que alcanzará a 133 928 habitantes. La población distrital urbana de Puno fue “129 992 habitantes” según el censo del año 2017 (INEI, 2018, pág. 72). Dicha población incluye Puno (Alto Puno), Jayllihuaya, Totorani, Cancharani, Chimú Central, San Salvador, Uros Chulluni y Rancho Punco.

3.2.2 Muestra

La muestra tomada es igual a toda la población urbana del distrito de Puno. Por lo tanto, en nuestro caso: La muestra es igual a la población.

3.3 Técnicas de recolección de datos

Se ha recabado y seleccionado información y/o data confiable y válida, para lo cual se ha tenido especial cuidado y dedicación.

3.3.1 Para la variable independiente X_1 de la hipótesis específica 1 (Material a irradiar: Lodos residuales efluentes de PTAR Puno). – El procedimiento y/o técnicas de recolección de datos fue el siguiente:

A) Se recogió los datos de la población urbana del distrito de Puno, publicada en los “Resultados definitivos de los Censos Nacionales 2017 Puno” (INEI, 2018, pág. 71). Así mismo, se ha considerado la “tasa de crecimiento anual 2014-2015 de la población urbana del distrito de Puno igual a 1.53%” (INEI, Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2015, pág. 9).

Con estos datos se determinó la cantidad de habitantes por año en el horizonte de 30 años, usando la ecuación siguiente: $P_n = P_{2017} \left(1 + \frac{T_c(\%)}{100}\right)^n$

Dónde:

n = # de años a partir del año 2017 (año 0)

T_c = 1,53% (Tasa de crecimiento poblacional urbana distrital de Puno)

$P_{2017} = 129\ 922$ habitantes (INEI, 2018, pág. 71)

P_n = Población en el año “n”

B) Se recogió los datos de la dotación de agua potable en clima frío (180 L/habitante/día) publicada en la Norma OS. 100 del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento; el “aporte per cápita para aguas residuales domésticas” indicado en las “Normas para los Estudios de Factibilidad” de la Norma OS. 090 (MVCS, 2006). Así mismo, se recogió el dato de la “cantidad de agua residual generada al día por una persona en la sierra (144 L/habitante/día)” (OEFA, 2014, pág. 17).

C) Se recogió los datos de la producción per cápita de lodos publicado por diferentes autores:

“(13,6 – 22,7) kg de biosólidos secos/habitante/año” (Osores-Hampton, 2017, pág. 1).

“(15 – 20) kg de materia seca/habitante/año” (Giaye, 2015, pág. 4)

“(55 g/habitante/día) = 20,1 kg/habitante/año de lodo digerido de tratamiento biológico” (Graño, 2001, pág. 164). Ver Tabla 2.

“Masa de lodos entre (60 – 80) g de Sólidos Suspendedos/habitante/día, y un volumen de lodos entre (3,1 – 8,2) L/habitante/día” (Andreoli, C. V., Sperling, M., y Fernandes F., 2007, pág. 5). Ver tabla 3.

Con los datos recogidos en A), y B), se estimó la cantidad de agua residual a ser tratada en (L/s) o ($m^3/año$). Con los datos recogidos en A), B), y C) se estima la cantidad de lodos residuales efluentes de PTAR – Material a irradiar - en ($m^3/día$), ($m^3/año$), (kg/día) o (TM/año). La cantidad de lodos residuales efluentes de PTAR son previamente espesados para su estabilización y seguidamente pasan a la etapa de irradiación con haces electrónicos para su desinfección y convertirse en biosólidos de clase A.

3.3.2 Para la variable independiente Y_1 de la hipótesis específica 1 (tecnología de irradiación requerida). - El procedimiento y/o técnicas de recolección de datos fue el siguiente:

D) Se recolectó la información tecnológica y experimental reportada por las Organización de las Naciones Unidas, y la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA) en lo que respecta a la descripción de tecnologías de irradiación con haces electrónicos, que se comercializan en el mundo actualmente, se citan las siguientes referencias: (Kim, Y., Han, B., Kim, J. K., y Yaacov, 2009), (IAEA, International Atomic Energy Agency, IIA, International Irradiation Association, 2010), (Maruthi *et al.*, 2011).

Esta información y data experimental publicada se acepta y no se discute su validez, en cuanto permite obtener la dosis de irradiación en kGy (kiloGray) a utilizar; estimar el tamaño del equipo irradiador, la cantidad de energía del haz de electrones, la cantidad de energía eléctrica que utilizaría por la planta de irradiación, y la disponibilidad y oferta del equipo de irradiación en el mercado internacional.

3.3.3 Para la variable independiente X_2 de la hipótesis específica 2 (Inversión inicial total). - El procedimiento y/o técnicas de recolección de datos fue el siguiente:

E) Se ha recogido los datos de costos de inversión en equipos de irradiación y disponibilidad publicados según Kim *et al.*, (2009, pág. 30), y Cleland *et al.*, (1984, pág. 187).

F) Se recogió y usó los costos unitarios de inversión en obras civiles publicados según diferentes referencias.

Con los datos recogidos en E) y F) han hecho posible determinar la inversión inicial total.

3.3.4 Para la variable independiente Y_2 de la hipótesis específica 2 (Costos operativos anuales de la planta de irradiación en el horizonte del proyecto). - El procedimiento y/o técnicas de recolección de datos fue el siguiente:

G) Se ha recogido y usado los datos de costos de operación de plantas de irradiación publicados según Cleland *et al.*, (1984, pág. 187), y (ebTECH, 2009, pág. 30); así como los costos laborales y de servicios profesionales en el mercado nacional.

3.3.5 Para la variable independiente Z_2 de la hipótesis específica 2 (Ingresos brutos anuales en el horizonte del proyecto). - El procedimiento y/o técnicas de recolección de datos fue el siguiente:

H) Se recogió los datos de precios de venta de nutrientes líquidos para cultivos vegetales publicados según UNALM (2019). Así mismo, se recogió el precio de venta al minorista de abonos orgánicos (Humus de lombriz) publicados por el Ministerio de Agricultura y riego según MINAGRI (2017, pág. 23).

Los datos recogidos en H) se analizan y comparan en contenido de nutrientes vegetales y precios para fijar el precio de venta unitario de bioabono líquido y biosólidos de clase A, y con estos datos se calculó los ingresos brutos anuales en el horizonte del proyecto.

3.4 Técnicas para el procesamiento de la información

Las técnicas realizadas para procesar la información son las siguientes:

3.4.1 Para la prueba de la hipótesis específica 1. – Para la prueba de la hipótesis específica 1 referida a la viabilidad técnica del estudio, fue necesario y relevante seguir el procedimiento de cálculo para dimensionar la tecnología de irradiación requerida y estimar y determinar la potencia del haz de electrones en (kW), conocida la eficiencia del sistema, y los costos de inversión y costos totales de la planta de irradiación en (U.S. \$). La tecnología de irradiación requerida se ha seleccionado entre las que ofrece el menor valor de relación Costo/Potencia, menor valor (U.S. \$/W).

3.4.2 Para la prueba de la hipótesis específica 2. – Para la prueba de la hipótesis específica 2 referida a la viabilidad económica, se ha seguido el procedimiento de cálculo para estimar y determinar los indicadores o parámetros de evaluación económica, tales como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR), la relación Beneficio/Costo, el Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI), y el Índice o relación Costo/Efectividad (ICE). Se seleccionó la tecnología cuyo VAN es mayor que cero, la relación B/C es mayor que la unidad, y el menor tiempo de recuperación de la inversión (PRI).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

- ❖ **Resultados de la Variable independiente X₁: Material a irradiar** (lodos efluentes de PTAR–Espinar, distrito de Puno).

Caudal de lodos (flujo volumétrico). - Se irradiarán los lodos, previamente procesados (digeridos), y acondicionados a una concentración de 18% en volumen (26% en peso), y serán convertidos en biosólidos; así mismo se irradiarán los líquidos resultantes del espesamiento, deshidratación y acondicionamiento de lodos y serán convertidos en *bioabono líquido*, las cantidades resultantes del balance de materiales se pueden observar en la tabla 22.

Tabla 22: Resultados de la dimensión caudal de lodos (Material a irradiar), en un horizonte de 30 años.

Año	AGUA RESIDUAL GENERADA (m ³ /año)	LODOS EFLUENTES DE PTAR EL ESPINAR (m ³ /año)	MATERIAL A IRRADIAR	
			X ₁ : Producción anual de material a ser irradiados	
			Lodos digeridos y acondicionados C-5 (m ³ /año)	Líquidos de espesado y deshidratación C-13 (m ³ /año)
0 2019	7 043 928,0	276 376,3	0	0
1 2020	7 151 700,1	280 604,9	7 585,53	272 019,01
2 2021	7 261 121,1	284 898,2	7 701,61	276 181,66
3 2022	7 372 216,3	289 257,1	7 819,43	280 406,08
4 2023	7 485 011,2	293 682,7	7 939,08	284 696,87
5 2024	7 599 531,9	298 176,1	8 060,54	289 053,21
6 2025	7 715 804,7	302 738,2	8 183,87	293 475,33
7 2026	7 833 856,5	307 370,1	8 309,08	297 965,46
8 2027	7 953 714,5	312 072,8	8 436,20	302 523,54
9 2028	8 075 406,4	316 847,5	8 565,29	307 152,44
10 2029	8 198 960,1	321 695,3	8 696,33	311 853,11
11 2030	8 324 404,2	326 617,2	8 829,39	316 624,12
12 2031	8 451 767,5	331 614,5	8 964,45	321 468,00
13 2032	8 581 079,6	336 688,2	9 101,64	326 386,49

14	2033	8 712 370,1	341 839,5	9 240,87	331 380,53
15	2034	8 845 669,4	347 069,7	9 382,25	336 450,11
16	2035	8 981 008,1	352 379,8	9 525,83	341 598,35
17	2036	9 118 417,5	357 771,2	9 671,55	346 824,72
18	2037	9 257 929,3	363 245,1	9 819,53	352 131,24
19	2038	9 399 575,6	368 802,8	9 969,77	357 518,87
20	2039	9 543 389,1	374 445,5	10 122,33	362 988,91
21	2040	9 689 403,0	380 174,5	10 277,18	368 542,59
22	2041	9 837 650,9	385 991,2	10 434,43	374 181,32
23	2042	9 988 166,9	391 896,8	10 594,07	379 906,30
24	2043	10 140 985,9	397 892,8	10 756,14	385 718,90
25	2044	10 296 143,0	403 980,6	10 920,72	391 620,37
26	2045	10 453 674,0	410 161,5	11 087,82	397 612,16
27	2046	10 613 615,2	416 437,0	11 257,46	403 69559
28	2047	10 776 003,5	422 808,5	11 429,71	409 872,18
29	2048	10 940 876,3	429 277,4	11 604,59	416 143,22
30	2049	11 108 271,7	435 845,4	11 782,11	422 513,30

Nota: Elaboración propia.

Para estimar la generación de lodos, se considera un volumen per cápita media de generación de lodos de 5.65 (L/habitante.día), de acuerdo a la propuesta de (Andreoli, C. V., Sperling, M., y Fernandes F., 2007).
 Lodos Acondicionados: 18% SS en volumen (26% en peso) y densidad $\rho_{\text{lodo}} = 1,108 \text{ TM/m}^3$
 Líquidos de espesado y deshidratado: Densidad $\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1.001 \text{ TM/m}^3$. **C-5** (corriente 5), y **C-13** (corriente 13): Ver diagrama de flujo, y balance de materiales (**en Anexos**)

Resultados del flujo másico de tratamiento y operación en (kg/s) a un horizonte de 30 años. – Se considera que el sistema de irradiación deberá operar de acuerdo a las condiciones siguientes: 20 días/mes, y 16 horas/día (2 turnos/día), lo que equivale a 3 840 horas/año. Usando los valores de la última fila (año 30) de la tabla 22 se tiene:

Flujo másico de tratamiento de lodos (m_L):

$$m_L = 11\,782,11 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{año}} \right) \cdot \left(\frac{1,108 \text{ TM}}{\text{m}^3} \right) \cdot \left(\frac{1 \text{ año}}{12 \text{ meses}} \right) \cdot \left(\frac{1\,000 \text{ kg}}{1 \text{ TM}} \right)$$

$$m_L = 1\,087\,881,4 \left(\frac{\text{kg}}{\text{mes}} \right)$$

$$m_L = 1\,087\,881,4 \left(\frac{\text{kg}}{\text{mes}} \right) \cdot \left(\frac{1 \text{ mes}}{20 \text{ días}} \right) \cdot \left(\frac{1 \text{ día}}{16 \text{ horas}} \right) \cdot \left(\frac{1 \text{ hora}}{3\,600 \text{ s}} \right)$$

$$m_L = 0,9443 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \ll 1 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \text{ aprox.}$$

Flujo másico de tratamiento de líquidos de espesamiento, deshidratación y acondicionamiento de lodos (m_{BL}):

$$m_{BL} = 422\,5133 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{año}} \right) \cdot \left(\frac{1.001 \text{ TM}}{\text{m}^3} \right) \cdot \left(\frac{1 \text{ año}}{12 \text{ meses}} \right) \cdot \left(\frac{1\,000 \text{ kg}}{1 \text{ TM}} \right)$$

$$m_{BL} = 35\,244\,651,1 \left(\frac{\text{kg}}{\text{mes}} \right)$$

$$m_{BL} = 35\,244\,651,1 \left(\frac{\text{kg}}{\text{mes}} \right) \cdot \left(\frac{1 \text{ mes}}{20 \text{ días}} \right) \cdot \left(\frac{1 \text{ día}}{16 \text{ horas}} \right) \cdot \left(\frac{1 \text{ hora}}{3\,600 \text{ s}} \right)$$

$$m_{BL} = 30,6 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right)$$

Tabla 23: Estimación de la población urbana y el agua residual generada por la población urbana distrital de Puno en el horizonte del proyecto.

Año	POBLACION URBANA DISTRITAL DE PUNO		AGUA RESIDUAL GENERADA		
	(Habitantes/año)		(L/s)	(m ³ /día)	(m ³ /año)
0	2019	133 928	223	19 285,6	7 043 928,0
1	2020	135 977	227	19 580,7	7 151 700,1
2	2021	138 058	230	19 880,3	7 261 121,1
3	2022	140 170	234	20 184,5	7 372 216,3
4	2023	142 314	237	20 493,3	7 485 011,2
5	2024	144 492	241	20 806,8	7 599 531,9
6	2025	146 703	245	21 125,2	7 715 804,7
7	2026	148 947	248	21 448,4	7 833 856,5
8	2027	151 226	252	21 776,5	7 953 714,5
9	2028	153 540	256	22 109,7	8 075 406,4
10	2029	155 889	260	22 448,0	8 198 960,1
11	2030	158 274	264	22 791,5	8 324 404,2
12	2031	160 696	268	23 140,2	8 451 767,5
13	2032	163 154	272	23 494,2	8 581 079,6
14	2033	165 651	276	23 853,7	8 712 370,1
15	2034	168 185	280	24 218,6	8 845 669,4
16	2035	170 758	285	24 589,2	8 981 008,1
17	2036	173 371	289	24 965,4	9 118 417,5

18	2037	176 023	293	25 347,4	9 257 929,3
19	2038	178 717	298	25 735,2	9 399 575,6
20	2039	181 451	302	26 128,9	9 543 389,1
21	2040	184 227	307	26 528,7	9 689 403,0
22	2041	187 046	312	26 934,6	9 837 650,9
23	2042	189 908	317	27 346,7	9 988 166,9
24	2043	192 813	321	27 765,1	10 140 985,9
25	2044	195 763	326	28 189,9	10 296 143,0
26	2045	198 758	331	28 621,2	10 453 674,0
27	2046	201 799	336	29 059,1	10 613 615,2
28	2047	204 887	341	29 503,7	10 776 003,5
29	2048	208 022	347	29 955,1	10 940 876,3
30	2049	211 204	352	30 413,4	11 108 271,7
31	2050	214 436	357	30 878,8	11 278 228,3
32	2051	217 717	363	31 351,2	11 450 785,2

Nota: Elaboración propia.

Se considera la tasa de crecimiento poblacional de la ciudad de Puno: **1,53%** INEI (2015, pág. 9). Para estimar la cantidad de agua residual generada, se considera el volumen per cápita de generación de agua residual (en la sierra) igual a 144 L/habitante/día, según OEFA (2014, pág. 17).

Concentración de contaminantes microbiológicos en las aguas residuales. – “En el Perú, cada habitante de la sierra genera 144 (L/hab/día) de agua residual” (OEFA, 2014, pág. 17). El aporte per cápita de microorganismos para aguas residuales domésticas lo establece las Normas para los Estudios de Factibilidad, Norma OS 090 (MVCS, 2006, pág. 320560). Dicha información sirve de fundamento para estimar y presentar los resultados de concentración de los principales contaminantes microbiológicos de las aguas residuales de la población urbana distrital de Puno, ver tabla 24.

Tabla 24: Resultados de la estimación de la concentración de contaminantes microbiológicos patógenos principales en las aguas residuales de la población urbana del distrito de Puno.

CONTAMINANTE	CONCENTRACIÓN	CANTIDAD
Coliformes fecales	(N° de bacterias /100 mL)	1,39x10 ⁸
Salmonella Sp.	(N° de bacterias /100 mL)	6,94x10 ⁴
Nemátodes Intest.	(N° de huevos /100 mL)	2,78x10 ²

Nota: Elaboración propia, a partir de información de la Norma OS 090 (MVCS, 2006, pág. 320560)

Concentración de contaminantes microbiológicos en los lodos. – Durante el proceso de sedimentación primaria y secundaria en la línea de tratamiento de aguas residuales; los microorganismos se concentran masivamente en los lodos, principalmente en los lodos primarios. En base a la información de composición de lodos de la tabla 7 y tabla 8 se estima la cantidad diaria de patógenos por cada año que contiene los lodos primarios y lodos digeridos para el caso específico de la población urbana del distrito de Puno, los resultados se presentan en la tabla 25 y tabla 26.

Tabla 25: Resultados de la dimensión concentración de contaminantes microbiológicos patógenos en lodos primarios de aguas residuales de la población urbana del distrito de Puno

Año	FLUJO VOLUMÉTRICO DE LODOS ESPESADOS (C-2) (m ³ /año)	ESTIMACIÓN DE CONTAMINANTES MICROBIOLÓGICOS EN LODOS PRIMARIOS		
		Bacterias patógenas (NMP/día)	Organismos parásitos (NMP/día)	Virus (NMP/día)
0 2019	46 064,82	1,26E+10	1,26E+07	7,81E+10
1 2020	46 770,07	1,28E+10	1,28E+07	7,93E+10
2 2021	47 485,05	1,30E+10	1,30E+07	8,05E+10
3 2022	48 212,55	1,32E+10	1,32E+07	8,17E+10
4 2023	48 949,78	1,34E+10	1,34E+07	8,30E+10
5 2024	49 698,15	1,36E+10	1,36E+07	8,42E+10
6 2025	50 459,03	1,38E+10	1,38E+07	8,55E+10
7 2026	51 231,05	1,40E+10	1,40E+07	8,68E+10
8 2027	52 015,58	1,42E+10	1,42E+07	8,82E+10
9 2028	52 811,24	1,45E+10	1,45E+07	8,95E+10
10 2029	53 618,03	1,47E+10	1,47E+07	9,09E+10
11 2030	54 438,73	1,49E+10	1,49E+07	9,23E+10
12 2031	55 271,94	1,51E+10	1,51E+07	9,37E+10
13 2032	56 117,68	1,54E+10	1,54E+07	9,51E+10
14 2033	56 975,94	1,56E+10	1,56E+07	9,66E+10
15 2034	57 848,10	1,58E+10	1,58E+07	9,80E+10
16 2035	58 732,79	1,61E+10	1,61E+07	9,95E+10
17 2036	59 631,38	1,63E+10	1,63E+07	1,01E+11

18	2037	60 543,89	1,66E+10	1,66E+07	1,03E+11
19	2038	61 470,30	1,68E+10	1,68E+07	1,04E+11
20	2039	62 410,63	1,71E+10	1,71E+07	1,06E+11
21	2040	63 366,25	1,73E+10	1,73E+07	1,07E+11
22	2041	64 335,79	1,76E+10	1,76E+07	1,09E+11
23	2042	65 319,24	1,79E+10	1,79E+07	1,11E+11
24	2043	66 319,38	1,82E+10	1,82E+07	1,12E+11
25	2044	67 333,43	1,84E+10	1,84E+07	1,14E+11
26	2045	68 364,17	1,87E+10	1,87E+07	1,16E+11
27	2046	69 410,21	1,90E+10	1,90E+07	1,18E+11
28	2047	70 471,55	1,93E+10	1,93E+07	1,19E+11
29	2048	71 549,59	1,96E+10	1,96E+07	1,21E+11
30	2049	72 644,32	1,99E+10	1,99E+07	1,23E+11

Nota: Elaboración propia, a partir de información de tabla 7 y tabla 8. C-2 (Corriente 2), ver diagrama de flujo y balance de materiales en Anexos.

Tabla 26: Resultados de la estimación de la evolución de contaminantes microbiológicos en lodos digeridos de aguas residuales de la población urbana del distrito de Puno

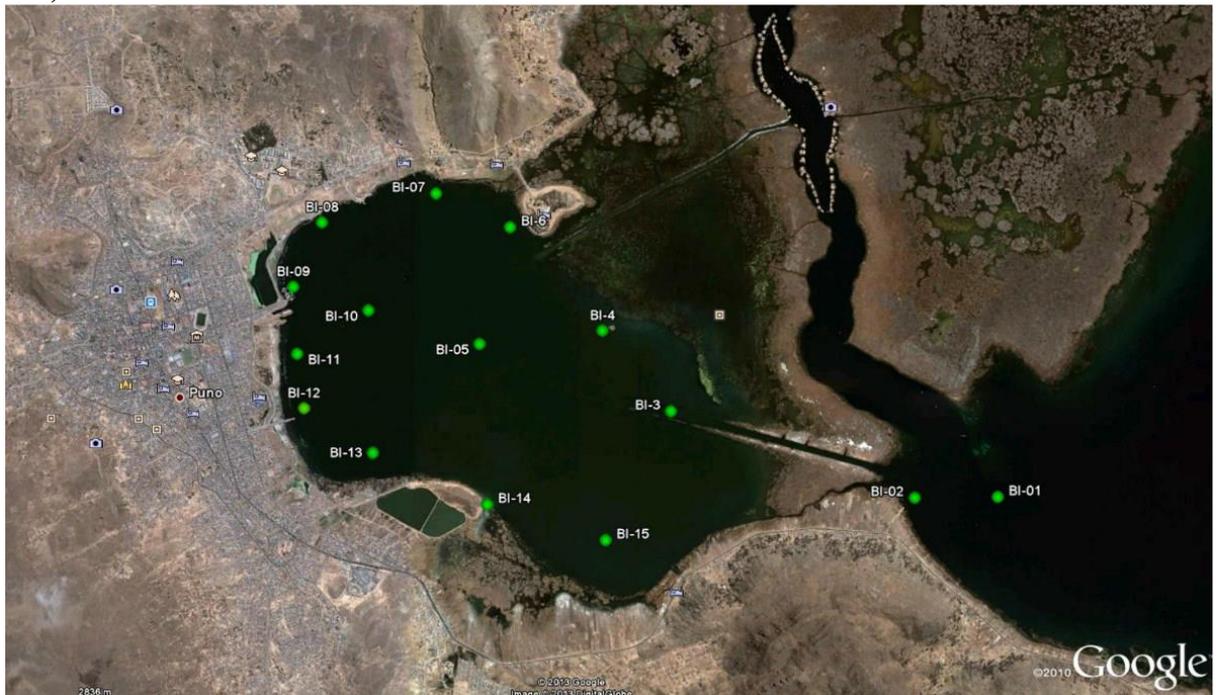
Año	FLUJO VOLUMÉTRICO DE LODOS DIGERIDOS (C-3) (m ³ /año)	CONTAMINANTES MICROBIOLÓGICOS EN LODOS DIGERIDOS			
		Bacterias patógenas (NMP/día)	Organismos parásitos (NMP/día)	Virus (NMP/día)	
0	2019	45 342,19	6,83E+07	2,48E+06	6,21E+07
1	2020	46 035,91	6,93E+07	2,52E+06	6,30E+07
2	2021	46 740,39	7,04E+07	2,56E+06	6,40E+07
3	2022	47 455,39	7,15E+07	2,60E+06	6,50E+07
4	2023	48 181,56	7,26E+07	2,64E+06	6,60E+07
5	2024	48 918,69	7,37E+07	2,68E+06	6,70E+07
6	2025	49 667,19	7,48E+07	2,72E+06	6,80E+07
7	2026	50 427,07	7,59E+07	2,76E+06	6,90E+07
8	2027	51 198,53	7,71E+07	2,80E+06	7,01E+07
9	2028	51 982,01	7,83E+07	2,85E+06	7,12E+07

10	2029	52 777,28	7,95E+07	2,89E+06	7,22E+07
11	2030	53 584,76	8,07E+07	2,93E+06	7,34E+07
12	2031	54 404,47	8,19E+07	2,98E+06	7,45E+07
13	2032	55 237,03	8,32E+07	3,02E+06	7,56E+07
14	2033	56 082,02	8,45E+07	3,07E+06	7,68E+07
15	2034	56 940,07	8,57E+07	3,12E+06	7,79E+07
16	2035	57 811,39	8,71E+07	3,17E+06	7,91E+07
17	2036	58 695,77	8,84E+07	3,21E+06	8,04E+07
18	2037	59 593,85	8,97E+07	3,26E+06	8,16E+07
19	2038	60 505,62	9,11E+07	3,31E+06	8,28E+07
20	2039	61 431,50	9,25E+07	3,36E+06	8,41E+07
21	2040	62 371,29	9,39E+07	3,42E+06	8,54E+07
22	2041	63 325,61	9,54E+07	3,47E+06	8,67E+07
23	2042	64 294,47	9,68E+07	3,52E+06	8,80E+07
24	2043	65 278,08	9,83E+07	3,57E+06	8,94E+07
25	2044	66 276,85	9,98E+07	3,63E+06	9,07E+07
26	2045	67 291,01	1,01E+08	3,68E+06	9,21E+07
27	2046	68 320,54	1,03E+08	3,74E+06	9,35E+07
28	2047	69 365,87	1,04E+08	3,80E+06	9,50E+07
29	2048	70 427,21	1,06E+08	3,86E+06	9,64E+07
30	2049	71 504,57	1,08E+08	3,92E+06	9,79E+07

Nota: Elaboración propia, a partir de información de tabla 7 y tabla 8. **C-3** (Corriente 3), ver diagrama de flujo y balance de materiales en Anexos.

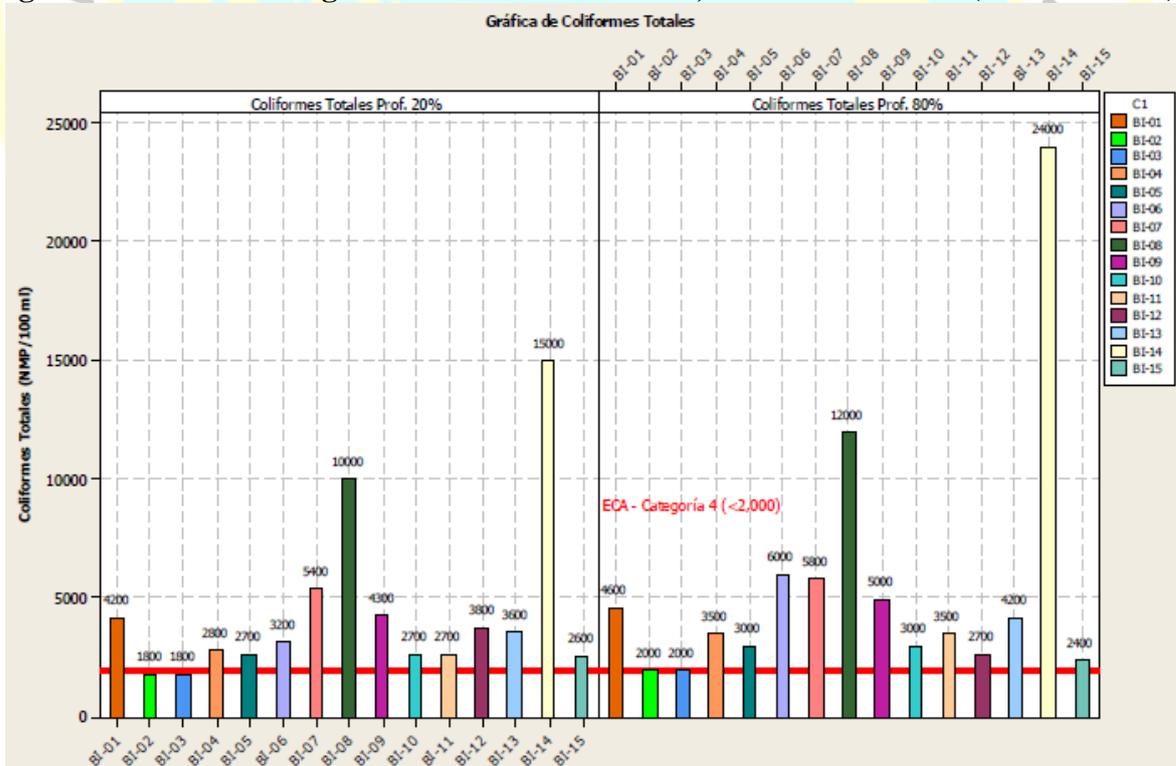
Según la Comisión Multisectorial para la Prevención y Recuperación Ambiental del Lago Titicaca y sus Afluentes (PCM, 2014, págs. IV-80), en la Bahía Interior de Puno. “Se establecieron 15 puntos de monitoreo en la Bahía Interior y Exterior de Puno en el lago Titicaca, estos puntos de monitoreo principalmente se localizan próximos a puntos de descarga de aguas servidas que desembocan en la Bahía Interior de Puno”. El punto **BI-14** se localiza muy próximo a la descarga de la PTAR El Espinar, Ver figura 30.

Figura 30: Ubicación de puntos de monitoreo de calidad del agua del lago Titicaca (año 2013)



Nota: Google Earth, 2013, citado en (PCM, 2014, págs. IV-80)

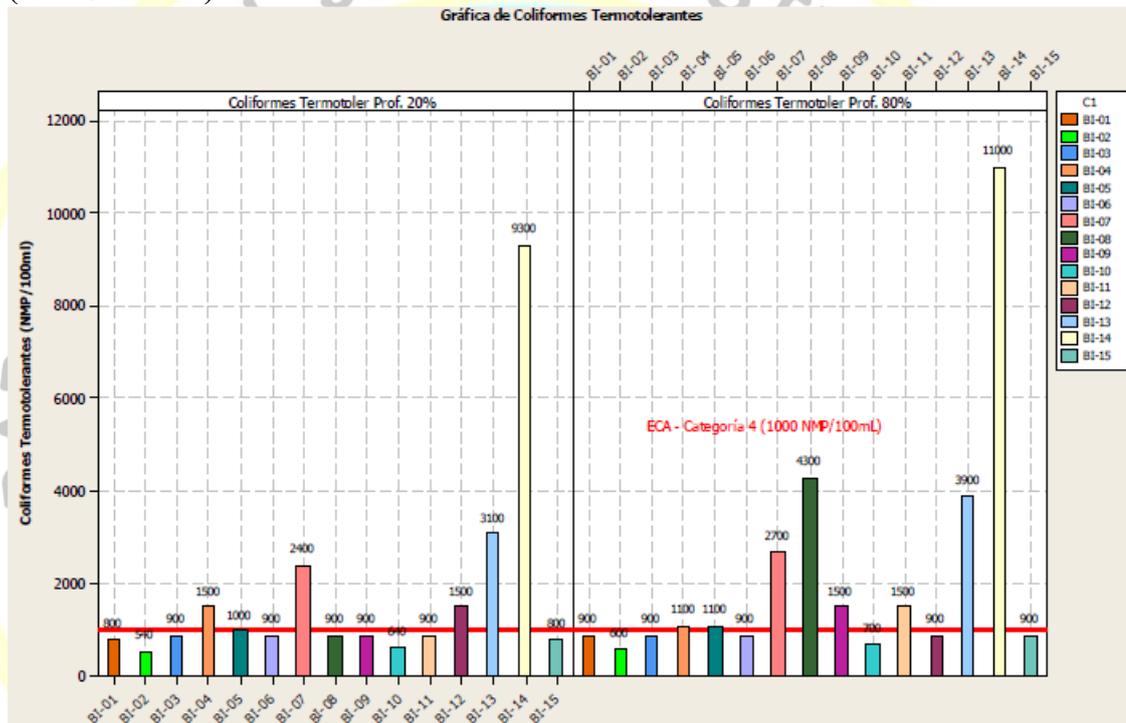
Figura 31: Calidad de Agua Bahía Interior de Puno, Coliformes totales (NMP/100 mL)



Nota: Proyecto Especial Binacional Lago Titicaca, 2013, citado en (PCM, 2014, págs. IV-86)

Coliformes Totales. – Según Figura 31 (PCM, 2014). “Los valores de coliformes totales determinados a dos profundidades (20 y 80% de profundidad) en los quince (15) puntos de monitoreo superan el límite establecido en los Estándares de Calidad Ambiental según la Categoría 4: Conservación del Ambiente Acuático, presentando valores superiores a 2,000 NMP/100 mL, principalmente en las muestras colectadas a 80% de profundidad de la columna de agua” (p.IV-86).

Figura 32: Calidad de Agua Bahía Interior de Puno, Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)



Nota: Proyecto Especial Binacional Lago Titicaca, 2013, citado en (PCM, 2014, págs. IV-87)

Coliformes termotolerantes. – Según Figura 32 (PCM, 2014). “Los valores de coliformes termotolerantes determinados a dos profundidades (20 y 80% de profundidad de la columna de agua) en los puntos de monitoreo BI-04, BI-05, BI-07, BI-08, BI-09, BI-11, BI-12, BI-13 y BI-14, superan el límite establecido en los Estándares de Calidad Ambiental según la Categoría 4: Conservación del Ambiente Acuático, presentando valores superiores a 1,000 NMP/100 mL” (p.IV-87).

Concentración de macronutrientes (NPK) y micronutrientes. – La concentración de los macronutrientes Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K), y micronutrientes Hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn), Manganeseo (Mn), Molibdeno (Mo) en los líquidos de espesamiento, y deshidratación de lodos (bioabono líquido) es la misma concentración existente en las aguas residuales por tratarse de sólidos disueltos. Estas concentraciones se han estimado a partir del aporte per cápita (g/hab. día) cuyos algunos resultados se presentan en la tabla 27.

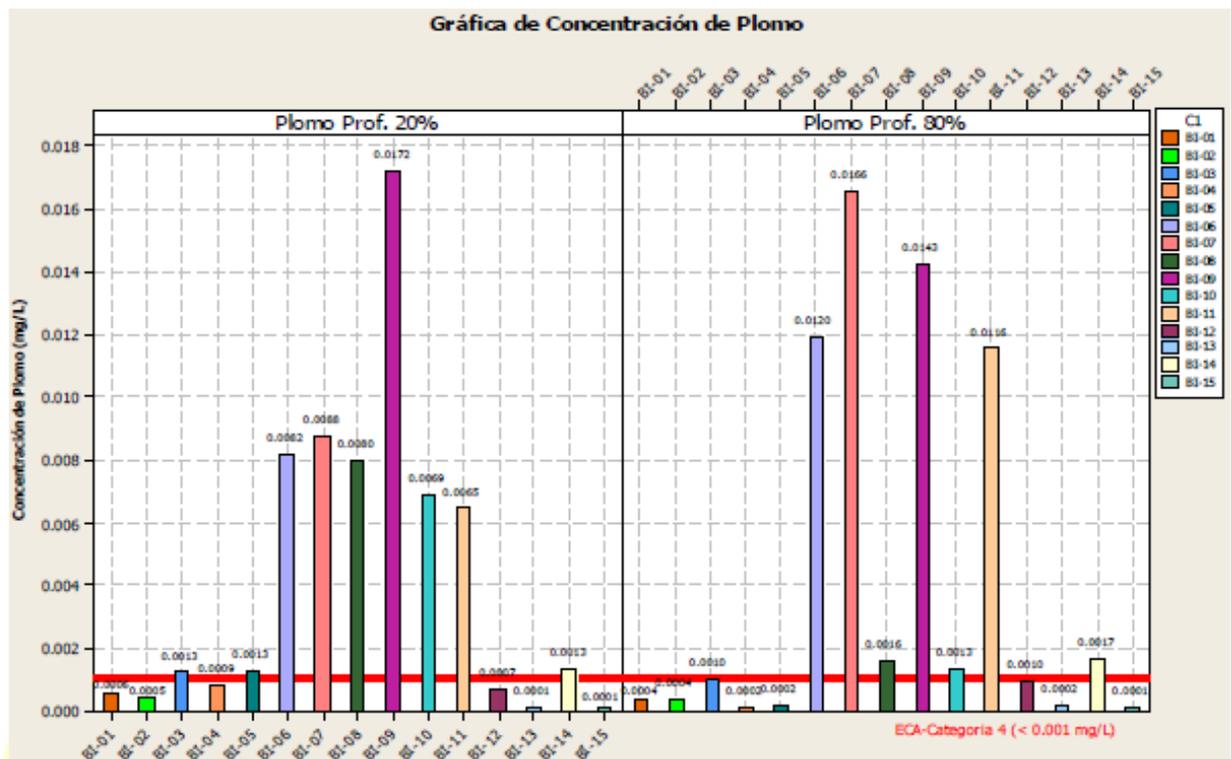
Tabla 27: Resultados de la dimensión concentración de macronutrientes (NPK) en bioabono líquido de la línea de tratamiento de lodos de la población urbana del distrito de Puno.

CONSTITUYENTE	APORTE PER CÁPITA (g/hab. día)		APORTE POBLACIONAL (g/día)		CONCENTRACIÓN (mg/L)	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Nitrógeno amoniacal (NH ₃ -N)	3	10	401 784,0	1 339 280,0	20,83	69,44
Nitrógeno total (N)	6	12	803 568,0	1 607 136,0	41,67	83,33
Fósforo total (P)	1	8	133 928,0	1 071 424,0	6,94	55,56
Potasio (K)	2	6	267 856,0	803 568,0	13,89	41,67

Nota: Elaboración propia. Estimación fundamentada en Rojas (2002, pág. 8) y OEFA (2014, pág. 17).

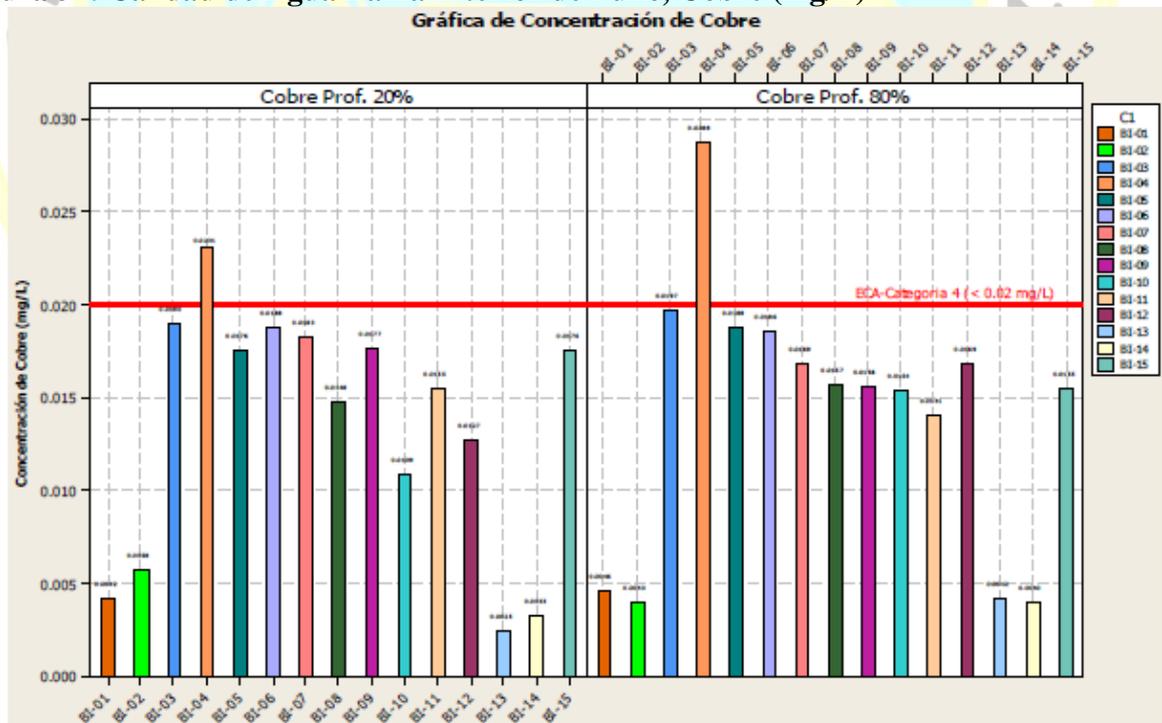
Concentración de contaminantes químicos (metales pesados). – Se dispone de información reportada y publicada de los análisis químicos respecto de la concentración de algunos metales pesados (Pb, Cu, Cd, y Ni) en 15 puntos de monitoreo (ver figura 30) que se localizan próximos a puntos de descarga de aguas servidas en la bahía interior y exterior de Puno en el Lago Titicaca, medidos a dos profundidades (20% y 80% de profundidad de la columna de agua) según la PCM (2014, págs. IV-90, IV-91). Dentro de estos 15 puntos se incluye el **punto BI-14 localizado muy próximo a la descarga de la PTAR Espinar**. Ver Figura 33, Figura 34, Figura 35, y Figura 36.

Figura 33: Calidad de Agua Bahía Interior de Puno, Plomo (mg/L)



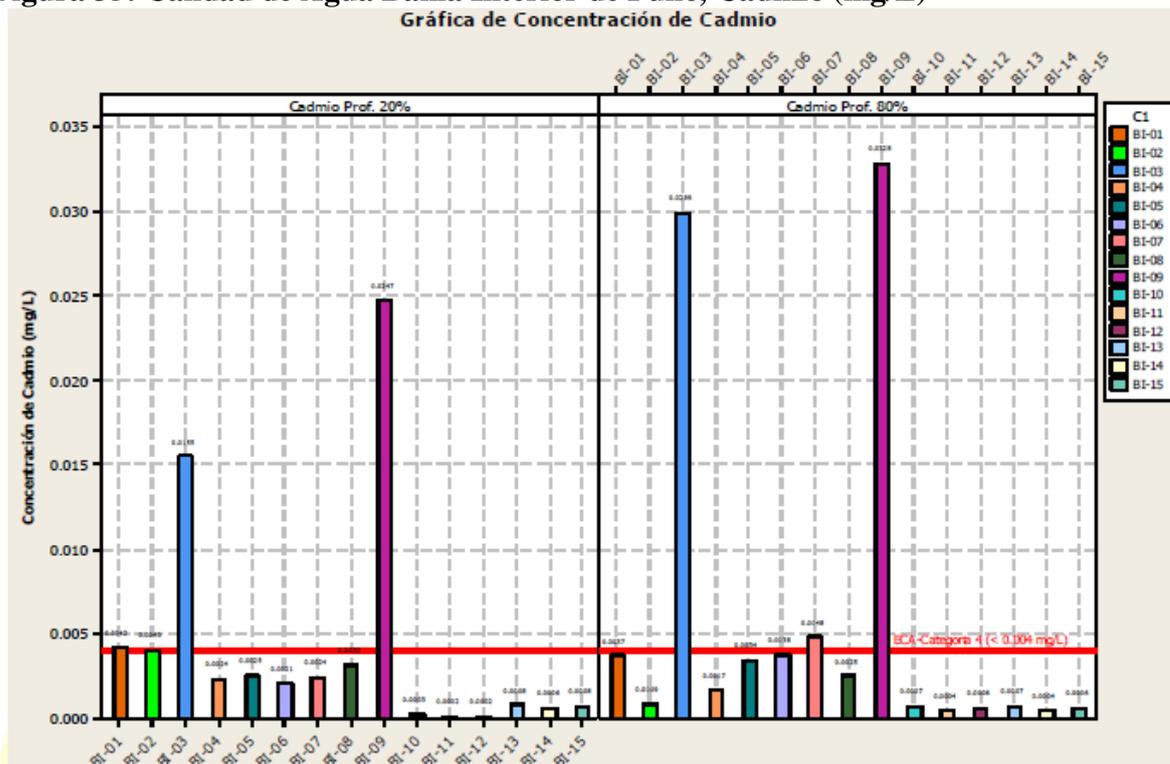
Nota: Proyecto Especial Binacional Lago Titicaca, 2013; citado en (PCM, 2014, págs. IV-90)

Figura 34: Calidad de Agua Bahía Interior de Puno, Cobre (mg/L)



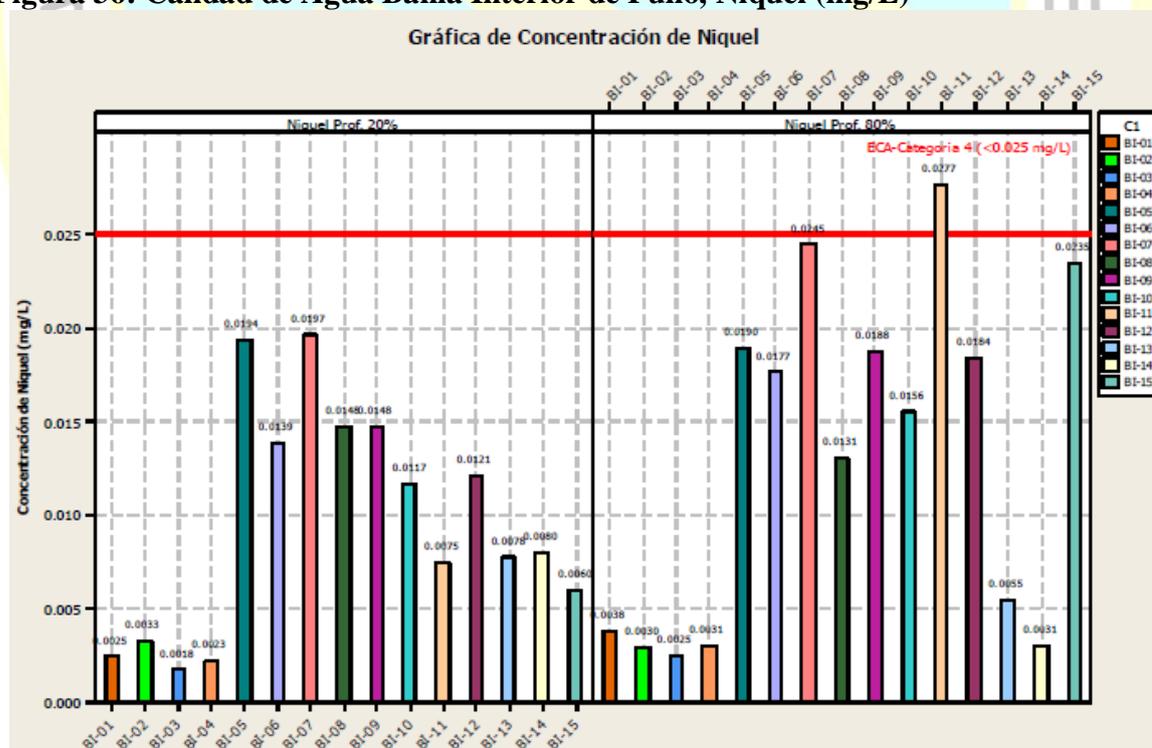
Nota: Proyecto Especial Binacional Lago Titicaca, 2013; citado en (PCM, 2014, págs. IV-90)

Figura 35: Calidad de Agua Bahía Interior de Puno, Cadmio (mg/L)



Nota: Proyecto Especial Binacional Lago Titicaca, 2013; citado en (PCM, 2014, págs. IV-91)

Figura 36: Calidad de Agua Bahía Interior de Puno, Níquel (mg/L)



Nota: Proyecto Especial Binacional Lago Titicaca, 2013; citado en (PCM, 2014, págs. IV-91)

Concentración de contaminantes químicos orgánicos. – Es de conocimiento público que las plantas de tratamiento de agua residual no se diseñan para tratar o degradar contaminantes químicos orgánicos, entre ellos los contaminantes de interés emergentes.

Según la figura 1, se puede observar cantidades considerables de espumas en los efluentes de la PTAR Espinar de Puno, estas espumas son indicadores de la existencia de altas concentraciones de tensoactivos o detergentes (dodecibenceno sulfonatos, Lauril monoetanolamida, texapones, nonilfenol, octilfenol, entre otros).

Así mismo, es de esperar una presencia importante de disruptores endocrinos, fármacos (antibióticos, analgésicos, antiinflamatorios, esteroides, hormonas, hipnótico-sedantes, entre otros), drogas de abuso, edulcorantes de alta intensidad, en lodos y líquidos de espesamiento y deshidratación de lodos; en virtud que su ingesta no metabolizada por la población, es excretada principalmente por vía renal-urinaria y biliar-entérica casi inalterada.

“Por tanto, se ha demostrado que la irradiación mediante haces electrónicos de alta energía resulta eficaz y eficiente para destruir productos químicos-orgánicos procedentes de corrientes acuosas” (Swinwood J. F., Waite T. D., Kruger P., y Rao S. M., 1994, pág. 14).

- ❖ **Resultados de la variable independiente Y₁: Tecnología de irradiación requerida.** – Para nuestro caso, consideramos un irradiador de electrones de mediana energía, es decir la energía del haz de electrones puede variar entre 2 a 5 MeV. Así mismo, se ha estimado que para lodos al 18% de Sólidos Suspendidos en volumen (26% SS en peso) la densidad del lodo es igual a $\rho_{\text{lodo}} = 1.108 \text{ TM/m}^3$ y la densidad de los líquidos de espesamiento, deshidratación y acondicionamiento aproximadamente es igual a $\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1.001 \text{ TM/m}^3$, tanto el lodo como los líquidos de espesamiento, deshidratación y acondicionamiento de lodos se irradiarán en líneas separadas por una sola cara, pero con el mismo sistema de irradiación, y a una dosis que asegura totalmente su desinfección a niveles de esterilización.

Potencia del irradiador de electrones. – Se estima que la potencia del irradiador de electrones requerida para desinfectar los lodos digeridos, y los líquidos de espesamiento y deshidratación de lodos, efluentes de la PTAR el Espinar de Puno, es como sigue:

1. Potencia para irradiar lodos (P_L):

$$P_L = \frac{\text{Flujo másico de lodo } \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}}\right) \cdot \text{Dosis de irradiación (kGy)}}{\text{Eficiencia del sistema o acelerador de electrones}}$$
$$P_L = \frac{m_L \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}}\right) \cdot D_L(\text{kGy})}{\text{Eficiencia}} = \frac{0,95 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}}\right) \times 14,5(\text{kGy})}{0,70} = \mathbf{20 \text{ kW}}$$

2. Potencia para irradiar líquidos de espesamiento y deshidratación de lodos - bioabono líquido (P_{BL}):

$$P_{BL} = \frac{m_{BL} \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}}\right) \cdot D_{BL}(\text{kGy})}{\text{Eficiencia}} = \frac{30,6 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}}\right) \cdot 4,0(\text{kGy})}{0,70} = \mathbf{175 \text{ kW}}$$

Potencia del irradiador de electrones: P = (20kW + 175kW) = 195 kW

De los cuales se consumirá **20 kW** para desinfectar lodos digeridos a un flujo másico (m_L) de **0,94 kg/s**; y para desinfectar los líquidos de espesado y deshidratación de lodos se consumirá **175 kW**, a un flujo másico (m_{BL}) de aproximadamente **30,6 kg/s**. De acuerdo a las tecnologías que se ofrecen en el mercado, se debe escoger un acelerador de electrones de **200 kW** con tres ventanas de irradiación, y con los siguientes criterios de diseño y operación a un horizonte de 30 años:

Caudal de lodos digeridos (18% SS) = **981,84 (m³/mes)**

Caudal de líquidos de espesado y deshidratación = **35 209,44 (m³/mes)**

Nivel de Energía de los electrones: **5 MeV** (mediana energía)

Profundidad óptima de penetración efectiva en lodos (H_L): **14,3 mm**

Profundidad óptima de penetración efectiva en líquidos de espesado (H_{H2O}): **15,8 mm**

Largo de la ventana de irradiación (L): **1,2 m**

Dosis absorbida por los lodos (D_L): **10 – 14,5 kGy** (recomiendan **14,5 kGy**)

Dosis absorbida por los líquidos de espesado y deshidratación de lodos (D_{BL}): **2 – 4,5 kGy** (recomiendan **4,0 kGy**)

Eficiencia del sistema en la absorción de energía: **70%**

Tiempo de operación: Basado en **20 días/mes**, y **16 horas/día** (en 2 turnos)

Carga horaria anual: **3 840 horas/año**.

Penetrabilidad del haz de electrones (profundidad de penetración óptima). – De acuerdo con la Ec.(1) se estima los valores de penetrabilidad del haz de electrones en lodos digeridos de densidad $1,108 \text{ g/cm}^3$, y líquidos de espesado y deshidratación de densidad $1,001 \text{ g/cm}^3$ y se presentan en la tabla 28 siguiente:

Tabla 28: Penetrabilidad del haz de electrones en lodos digeridos, y en líquidos de espesado y deshidratación de lodos (profundidad de penetración óptima)

Energía del haz de electrones (MeV)	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
Espesor óptimo en lodos digeridos (cm)	0,54	0,69	0,83	0,98	1,13	1,28	1,43
Espesor óptimo en líquidos de espesado y deshidratado (cm)	0,59	0,75	0,92	1,08	1,25	1,41	1,58

Nota: Elaboración propia,

De acuerdo a la tabla 28, la penetración óptima del haz de electrones de **5 MeV** en lodos es de **1,43 cm = 14,3 mm.**, y la penetración óptima en líquidos de espesado y deshidratación es de **1,58 cm = 15,8 mm.**

Velocidad media de la lámina de lodos en la rampa. – Resulta de dividir el caudal de lodos entre el área de la ventana de irradiación, su valor alcanza a **4,97 cm/s = 178,9 m/h.**

Velocidad media de la lámina de líquidos de espesado y deshidratación. – El valor estimado resulta igual a **161,2 cm/s = 1,612 m/s <> 5,8 km/h.** Esta velocidad es relativamente alta, por lo que es recomendable dividir la potencia (180 kW entre dos) para usar dos inyectores de velocidad de líquidos de espesado y deshidratación, y dos ventanas de irradiación, cada una con 90 kW, con la cual la velocidad media de la lámina en cada ventana se reduce también a la mitad: **80,6 cm/s.**

Eficiencia del sistema. – Según Kim *et al.*, (2009, pág. 25) la eficiencia de absorción de energía es igual a 60% mínimo, y 80% máximo. Para la presente aplicación se ha considerado una **eficiencia del sistema de 70%**.

Precios de la tecnología requerida. – Se ha encontrado precios en el mercado internacional para aceleradores de electrones, según ebTECH (2009, pág. 30), “un acelerador de electrones de **200 kW de potencia**, tiene un costo es de **U. S. \$ 1,5 Millones**”. Ver precios en Tabla 19.

- ❖ **Resultados de la variable dependiente V₁: Viabilidad técnica.** – La razón de la inversión en el acelerador a la potencia del haz de electrones o *viabilidad técnica* es igual a: $U. S \$ 1\ 500\ 000/200\ 000\ W = 7,5\ (U. S \$/W)$. Según las diferentes tecnologías que se ofertan en el mercado internacional se debe *escoger un acelerador de electrones de 200 kW* de potencia, con tres ventanas de irradiación.

Tamaño, modelo y tipo de tecnología. – En el mercado internacional priman dos tipos de tecnologías de fabricación de aceleradores de electrones: Los aceleradores lineales en diferentes modelos, y los aceleradores circulares también en diferentes modelos.

Para nuestro requerimiento se ha escogido un irradiador lineal de **5 MeV** – por su poder de penetración en los lodos- y con una potencia del haz de electrones de **200 kW** multipropósito de tres ventanas de irradiación, cuya *disponibilidad afirmativa, SI existe en el mercado internacional*.

Tabla 29: Resultados las variables tecnología de irradiación requerida y viabilidad técnica

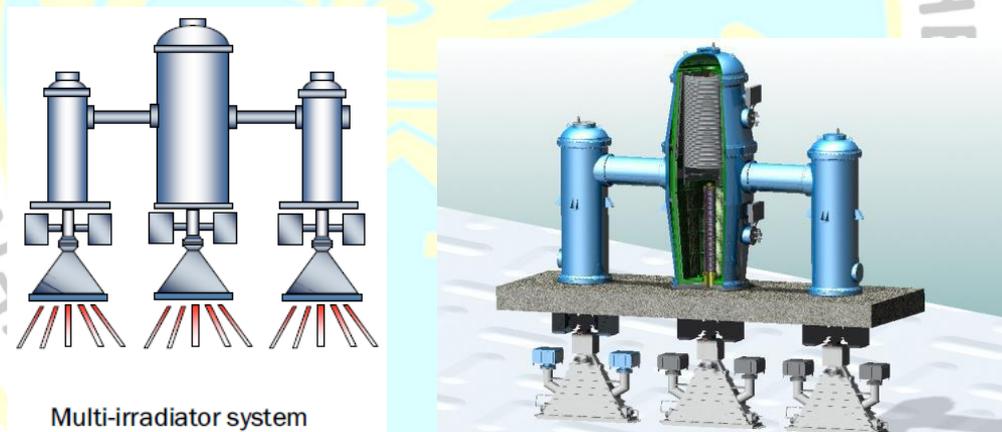
ESPECIFICACIONES	ACELERADOR DE HACES ELECTRÓNICOS
Voltaje (MeV):	5
Potencia del irradiador de electrones (kW):	200
Eficiencia del irradiador de electrones(%):	70
Ventanas de irradiación (N°):	3
Longitud de ventanas de irradiación (m)	1.2
Dosis para irradiar lodos (kGy)	14.5
Dosis para irradiar líquidos de espesamiento, deshidratación, y acondicionamiento de lodos (kGy)	4,0

Penetración óptima del haz de electrones en lodos (cm)	1,43
Penetración óptima del haz de electrones en líquidos de espesamiento, deshidratación y acond. de lodos (cm)	1,58
Condiciones de operación (días/mes), (horas/día)	20 días/mes, 16 horas/día
Flujo de lodos ingresantes al irradiador (L/s), (kg/s)	0,85 (L/s), 0,94 (kg/s)
Flujo de líquidos de espesamiento, deshidratación y acondicionamiento de lodos (L/s), (kg/s)	30,56 (L/s), 30,59 (kg/s)
Velocidad media de lodos en la rampa (cm/s), (km/h)	5 (cm/s), 0,18 (km/h)
Velocidad media de líquidos de espesamiento, deshidratación y acondicionamiento de lodos en cada rampa (de 2): (cm/s), (km/h)	80,6 (cm/s), 2,90 (km/h)
Viabilidad técnica (U. S \$/W)	7,5 (U. S \$/W), media
Disponibilidad de compra-venta en el mercado internacional:	Afirmativo: SI EXISTE

Nota: Elaboración propia.

Viabilidad técnica: U. S \$ 1 500 000/200 000 W = 7,5 (U.S \$/W)

Figura 37: Acelerador de electrones con tres ventanas de irradiación



Nota: ebTECH (2009, pág. 44)

- ❖ **Resultados de la variable independiente X₂: Inversión inicial total.** – Las dimensiones de inversión que conforman la inversión total se resumen y presentan en la Tabla 30.

Tabla 30: Resultados de las dimensiones de la inversión inicial total.

DIMENSIONES	Monto (S/)	%
• Estudios preliminares o de pre inversión: Ficha técnica o Perfil (según invierte.pe)	75 000,0	0,4
• Estudios definitivos (Expediente técnico)	172 100,0	0,9
• Equipamiento principal	10 125 356,2	53,3
• Equipamiento auxiliar	1 292 650,0	6,8
• Infraestructura (obras civiles)	6 155 844,2	32,4
• Servicios especializados	116 200,0	0,6
• Capital de trabajo	181 660,8	0,8
Sub total:	18 118 811,2	-
• Imprevistos (5% del sub total)	905 940,6	4,8
Inversión Inicial Total (I₀): S/	19 024 751,8	100%

Nota: Elaboración propia. Tipo de cambio: U. S. \$ 1 = S/ 3,31, (al 09 marzo 2019).
El detalle de los montos de cada una de las dimensiones, se puede ver en anexos

- ❖ **Resultados de la variable independiente Y₂:** Costos operativos anuales totales de la planta de irradiación en el horizonte del proyecto. – Las dimensiones de los costos operativos se resumen y presentan en la tabla 31, y tabla 32.

Tabla 31: Resultados de las dimensiones de costos operativos anuales totales de la planta de irradiación en el horizonte del proyecto (al año 30), y costo operativo total unitario

DIMENSIONES	Monto (S/)	%
• Costos operativos anuales fijos	2 684 080,4	56%
Costos operativos fijos laborales	414 000,0	
Amortización del préstamo bancario	1 689 919,8	
Depreciación anual de activos	580 160,6	
• Costos operativos anuales variables	2 116 520,2	44%
Costo anual de mantenimiento	243 332,2	
Costo anual de consumo de energía eléctrica	545 819,5	
Costo anual de combustible y lubricantes	108 288,0	
Costo anual de servicio de transporte de bioabono líquido	1 207 737,0	
Costo anual de servicios de agua potable, alcantarillado, y arbitrios municipales	11 343,5	

COSTOS OPERATIVOS ANUALES TOTALES: S/	4 800 600,6	100%
• Costo operativo total unitario de biosólidos	10,0 (S/ /TM)	
• Costo operativo total unitario de bioabono líquido	11,1 (S/ /m³)	

Nota: Elaboración propia.

Tipo de cambio: U. S. \$ 1 = S/ 3,31, (al 09 marzo 2019).

El detalle de los costos operativos fijos y variables se puede ver en anexos.

Tabla 32: Resultados de las dimensiones costos operativo anual fijo, costo operativo anual variable, y costo operativo anual total.

Año	VOLUMEN DE BIOSÓLIDOS Y BIOABONO LÍQUIDO IRRADIADOS (m³/año)	COSTO OPERATIVO ANUAL FIJO (S/)	COSTO OPERATIVO ANUAL VARIABLE (S/)	COSTO OPERATIVO ANUAL TOTAL (S/)
0 2019	0	0	0	0
1 2020	279 602,06	2 684 080,40	1 362 640,92	4 046 721,32
2 2021	283 880,74	2 684 080,40	1 383 493,07	4 067 573,47
3 2022	288 222,94	2 684 080,40	1 404 654,78	4 088 735,18
4 2023	292 633,35	2 684 080,40	1 426 148,92	4 110 229,32
5 2024	297 111,11	2 684 080,40	1 447 971,29	4 132 051,69
6 2025	301 656,53	2 684 080,40	1 470 123,40	4 154 203,80
7 2026	306 271,82	2 684 080,40	1 492 616,02	4 176 696,42
8 2027	310 972,97	2 684 080,40	1 515 527,08	4 199 607,48
9 2028	315 714,93	2 684 080,40	1 538 637,02	4 222 717,42
10 2029	320 546,59	2 684 080,40	1 562 184,12	4 246 264,52
11 2030	325 450,61	2 684 080,40	1 586 083,87	4 270 164,27
12 2031	330 429,52	2 684 080,40	1 610 348,59	4 294 428,99
13 2032	335 485,15	2 684 080,40	1 634 987,21	4 319 067,61
14 2033	340 618,37	2 684 080,40	1 660 003,96	4 344 084,36
15 2034	345 829,29	2 684 080,40	1 685 399,39	4 369 479,79
16 2035	351 121,05	2 684 080,40	1 711 188,79	4 395 269,19
17 2036	356 493,10	2 684 080,40	1 737 369,48	4 421 449,88
18 2037	361 947,55	2 684 080,40	1 763 951,74	4 448 032,14
19 2038	367 485,37	2 684 080,40	1 790 940,32	4 475 020,72
20 2039	373 107,93	2 684 080,40	1 818 341,87	4 502 422,27
21 2040	378 816,40	2 684 080,40	1 846 162,10	4 530 242,50
22 2041	384 612,33	2 684 080,40	1 874 408,57	4 558 488,97
23 2042	390 496,90	2 684 080,40	1 903 087,03	4 587 167,43
24 2043	396 471,52	2 684 080,40	1 932 204,35	4 616 284,75

25	2044	402 537,51	2 684 080,40	1 961 766,95	4 645 847,35
26	2045	408 696,35	2 684 080,40	1 991 782,07	4 675 862,47
27	2046	414 949,36	2 684 080,40	2 022 256,12	4 706 336,52
28	2047	421 298,15	2 684 080,40	2 053 196,95	4 737 277,35
29	2048	427 744,01	2 684 080,40	2 084 610,86	4 768 691,26
30	2049	434 291,55	2 684 080,40	2 116 520,30	4 800 600,70

Nota: Elaboración propia

- ❖ **Resultados de la variable independiente Z₂: Ingresos monetarios anuales por comercialización de biosólidos y bioabono líquido producido.** – El valor de las ventas de biosólidos y bioabono líquido producido por año de operación se presentan en la tabla 33:

Tabla 33: Evolución en el tiempo de la Variable Independiente X₁ (Material irradiado), y la Variable independiente Z₂ (Ingresos monetarios brutos anuales por ventas)

Año	POBLACIÓN URBANA DISTRITAL DE PUNO (N° Habitantes)	MATERIAL IRRADIADO X ₁ : Producción anual de lodos procesados		Z ₂ : INGRESOS MONETARIOS BRUTOS POR VENTAS DE BIOSÓLIDOS Y BIOABONO LÍQUIDO (S/ /año)
		Biosólidos (TM SS/año)	Bioabono líquido (m ³ /año)	
0	2019	133 928	0,0	0,0
1	2020	135 977	2 185,24	274 178,08
2	2021	138 058	2 218,68	278 373,76
3	2022	140 170	2 252,62	282 631,72
4	2023	142 314	2 287,09	286 956,57
5	2024	144 492	2 322,08	291 347,48
6	2025	146 703	2 357,61	295 804,71
7	2026	148 947	2 393,68	300 330,47
8	2027	151 226	2 430,30	304 924,73
9	2028	153 540	2 467,49	309 590,38
10	2029	155 889	2 505,24	314 328,34
11	2030	158 274	2 543,57	319 137,22
12	2031	160 696	2 582,48	324 019,55
13	2032	163 154	2 622,00	328 977,09
14	2033	165 651	2 662,11	334 010,75
15	2034	168 185	2 702,84	339 120,58

16	2035	170 758	2 744,20	344 309,68	17 893 476,24
17	2036	173 371	2 786,18	349 577,53	18 167 239,08
18	2037	176 023	2 828,81	354 926,17	18 445 203,54
19	2038	178 717	2 872,09	360 356,56	18 727 415,70
20	2039	181 451	2 916,04	365 870,03	19 013 949,36
21	2040	184 227	2 960,65	371 467,78	19 304 857,14
22	2041	187 046	3 005,95	377 151,27	19 600 224,06
23	2042	189 908	3 051,94	382 921,69	19 900 107,24
24	2043	192 813	3 098,63	388 780,42	20 204 577,90
25	2044	195 763	3 146,04	394 728,73	20 513 706,96
26	2045	198 758	3 194,18	400 768,08	20 827 569,48
27	2046	201 799	3 243,05	406 899,79	21 146 228,82
28	2047	204 887	3 292,67	413 125,42	21 469 769,82
29	2048	208 022	3 343,05	419 446,23	21 798 257,94
30	2049	211 204	3 394,19	425 866,84	22 131 914,94
TOTAL en 30 años:		82 410,70 TM	10 339 943,65 m ³	S/ 537 357 823,8	

Fuente: Elaboración propia

Precio de venta de BIOSÓLIDOS = **150 U.S \$/TM SS**, Tipo de cambio = 3.32 S/ /\$; TM SS = Tonelada Métrica de Sólidos Secos.

Precio de venta de BIOABONO LÍQUIDO = **0,048 S/ /L = 48 S/ /m³**;

BIOSÓLIDOS = Lodos o fangos digeridos irradiados y estabilizados

BIOABONO LIQUIDO = Líquidos de espesado y deshidratación de lodos irradiados.

- ❖ **Resultados de la variable dependiente V₂: Viabilidad económica.** - Se presentan los valores resultantes de las dimensiones de la viabilidad económica (tabla 34 y tabla 35); así como los valores de sus indicadores correspondientes en la tabla 36.

Tabla 34: Resultados de las dimensiones de la viabilidad económica.

Año	<u>DIMENSIONES</u>				
	VALOR DE BENEFICIOS ANUALES BRUTOS (S/)	VALOR ACTUALIZADO DE LOS BENEFICIOS ANUALES BRUTOS (S/)	VALOR ACTUALIZADO DE LOS COSTOS TOTALES ANUALES (S/)	VALOR ACTUALIZADO DE BENEFICIOS ANUALES NETOS (S/)	
0	2019	0	0	-19 024 751,70	-19 024 752,0
1	2020	14 248 797,36	13 193 330,89	-6 121 763,74	7 071 567,15
2	2021	14 466 843,12	12 402 986,21	-5 719 826,16	6 683 160,06
3	2022	14 688 127,32	11 659 909,03	-5 344 553,44	6 315 355,59
4	2023	14 912 886,18	10 961 416,53	-4 994 196,23	5 967 220,30
5	2024	15 141 074,88	10 304 761,15	-4 667 061,96	5 637 699,19

6	2025	15 372 715,86	9 687 418,62	-4 361 588,41	5 325 830,21
7	2026	15 607 915,20	9 107 068,61	-4 076 334,59	5 030 734,02
8	2027	15 847 444,44	8 561 881,13	-3 810 055,85	4 751 825,28
9	2028	16 089 148,26	8 048 579,80	-3 561 154,39	4 487 425,41
10	2029	16 335 369,84	7 566 436,94	-3 328 800,72	4 237 636,21
11	2030	16 585 284,42	7 113 144,20	-3 111 766,22	4,001 377,99
12	2031	16 839 013,44	6 687 003,92	-2 909 037,54	3 777 966,37
13	2032	17 096 656,32	6 286 405,05	-2 719 665,11	3 566 739,94
14	2033	17 358 246,78	5 909 806,77	-2 542 756,71	3 367 050,07
15	2034	17 623 802,16	5 555 757,44	-2 377 478,60	3 178 278,84
16	2035	17 893 476,24	5 222 935,15	-2 223 065,50	2 999 869,64
17	2036	18 167 239,08	4 910 040,66	-2 078 787,94	2 831 252,72
18	2037	18 445 203,54	4 615 894,28	-1 943 976,70	2 671 917,58
19	2038	18 727 415,70	4 339 368,15	-1 818 002,55	2 521 365,59
20	2039	19 013 949,36	4 079 408,75	-1,700 280,20	2 379 128,55
21	2040	19 304 857,14	6 271 406,33	-2 600 554,86	3 670 851,47
22	2041	19 600 224,06	6 035 412,03	-2 490 049,91	3 545 362,12
23	2042	19 900 107,24	5 808 297,40	-2 384 362,33	3 423 935,07
24	2043	20 204 577,90	5 589 728,97	-2 283 276,66	3 306 452,31
25	2044	20 513 706,96	5 379 385,36	-2 186 587,12	3 192 798,23
26	2045	20 827 569,48	5 176 958,00	-2 094 097,68	3 082 860,31
27	2046	21 146 228,82	4 982 146,77	-2 005 620,50	2 976 526,27
28	2047	21 469 769,82	4 794 667,76	-1 920 977,53	2 873 690,23
29	2048	21 798 257,94	4 614 242,96	-1 839 997,61	2 774 245,35
30	2049	22 131 914,94	4 440 636,29	-1 762 526,33	2 678 109,95
Total:		S/209 306 435,12	- S/ 110 002 954,81	S/ 99 303 480,31	
		VAN = S/ 99 303 480,3			
		TIR = 42,2%			

Fuente: Elaboración propia

Tasa de descuento social (del año 1 al año 20) = 8%

Tasa de descuento social de largo plazo (del año 21 al año 30) = 5,5%

Los ingresos brutos en el año 0 (2019) = S/ -19 024 752,0 (es igual a la Inversión Inicial negativa).

Tabla 35: Resultados de la dimensión valor actualizado de los costos totales anuales

	Año	COSTO OPERATIVO ANUAL TOTAL	IMPUESTO IGV (18%)	COSTO TOTAL ANUAL (S/)	VALOR ACTUALIZADO DE LOS COSTOS TOTALES ANUALES (S/)
0	2019		0	19 024 751,70	19 024 751,70
1	2020	4 046 721,32	2 564 783,52	6 611 504,84	6 121 763,74
2	2021	4 067 573,47	2 604 031,76	6 671 605,23	5 719 826,16
3	2022	4 088 735,18	2 643 862,92	6 732 598,10	5 344 553,44
4	2023	4 110 229,32	2 684 319,51	6 794 548,83	4 994 196,23
5	2024	4 132 051,69	2 725 393,48	6 857 445,17	4 667 061,96
6	2025	4 154 203,80	2 767 088,85	6 921 292,65	4 361 588,41
7	2026	4 176 696,42	2 809 424,74	6 986 121,15	4 076 334,59
8	2027	4 199 607,48	2 852 540,00	7 052 147,48	3 810 055,85
9	2028	4 222 717,42	2 896 046,69	7 118 764,11	3 561 154,39
10	2029	4 246 264,52	2 940 366,57	7 186 631,10	3 328 800,72
11	2030	4 270 164,27	2 985 351,20	7 255 515,47	3 111 766,22
12	2031	4 294 428,99	3 031 022,42	7 325 451,41	2 909 037,54
13	2032	4 319 067,61	3 077 398,14	7 396 465,75	2 719 665,11
14	2033	4 344 084,36	3 124 484,42	7 468 568,78	2 542 756,71
15	2034	4 369 479,79	3 172 284,39	7 541 764,18	2 377 478,60
16	2035	4 395 269,19	3 220 825,72	7 616 094,91	2 223 065,50
17	2036	4 421 449,88	3 270 103,03	7 691 552,91	2 078 787,94
18	2037	4 448 032,14	3 320 136,64	7 768 168,78	1 943 976,70
19	2038	4 475 020,72	3 370 934,83	7 845 955,54	1 818 002,55
20	2039	4 502 422,27	3 422 510,88	7 924 933,15	1 700 280,20
21	2040	4 530 242,50	3 474 874,29	8 005 116,79	2 600 554,86
22	2041	4 558 488,97	3 528 040,33	8 086 529,30	2 490 049,91
23	2042	4 587 167,43	3 582 019,30	8 169 186,73	2 384 362,33
24	2043	4 616 284,75	3 636 824,02	8 253 108,77	2 283 276,66
25	2044	4 645 847,35	3 692 467,25	8 338 314,61	2 186 587,12
26	2045	4 675 862,47	3 748 962,51	8 424 824,97	2 094 097,68
27	2046	4 706 336,52	3 806 321,19	8 512 657,71	2 005 620,50
28	2047	4 737 277,35	3 864 558,57	8 601 835,92	1 920 977,53
29	2048	4 768 691,26	3 923 686,43	8 692 377,69	1 839 997,61
30	2049	4 800 600,70	3 983 744,69	8 784 345,39	1 762 526,33

Nota: Elaboración propia

Tasa de descuento social (del año 1 al año 20) = 8%

Tasa de descuento social de largo plazo (del año 21 al año 30) = 5,5%

Tabla 36: Resultados de los indicadores de viabilidad económica

INDICADOR DE VIABILIDAD ECONÓMICA	VALOR
Valor actual neto:	VAN = S/ 99 303 480,3
Tasa interna de retorno:	TIR = 42,2%
Relación (Beneficio / Costo) _{convencional} :	(B/C)_c = 1,90
Relación (Beneficio / Costo) _{modificada} :	(B/C)_m = 6,22
Periodo de recuperación de la inversión:	PRI = 2 años, 5 meses
Relación costo / efectividad:	C/É = 562 S/ /habitante

Nota: Elaboración propia

4.1 Análisis de resultados

A) El resultado de nuestra estimación de cuantía de agua residual generada para el año 2049 (horizonte del proyecto: año 30) es de **352 L/s** (ver tabla 23), valor próximo a **359 L/s** indicado también para un horizonte de 30 años según ProInversión (2018, pág. 5).

B) En muestras colectadas a 20% y 80% de profundidad de la columna de agua en el punto BI-14 localizado muy próximo a la descarga de la PTAR Espinar-Puno, los valores de concentración de contaminantes microbiológicos (coliformes totales y coliformes termotolerantes) reportados según la PCM (2014, págs. IV-86, IV-87) *supera considerablemente los Estándares de Calidad Ambiental* (ECA-Categoría 4).

C) En muestras colectadas a 20% y 80% de profundidad de la columna de agua en el punto BI-14 localizado muy próximo a la descarga de la PTAR Espinar-Puno, los valores de concentración de contaminantes químicos metales pesados (Plomo, Cobre, Cadmio, y Níquel) reportados y publicados según la PCM (2014, págs. IV-90, IV-91), *no supera los Estándares de Calidad Ambiental* (ECA-Categoría 4) para Cobre, Cadmio, y Níquel; encontrándose muy por debajo de los valores de sus respectivos

Estándares de Calidad Ambiental-Categoría 4. Los valores de concentración de Plomo en dicho punto BI-14, *si supera ligeramente los Estándares de Calidad Ambiental* (ECA-Categoría 4).

D) La dosis de irradiación de lodos de 14.5 kGy (requerida para eliminar los riesgos de infección por helmintos, áscaris y sus ovas), y la dosis de irradiación de líquidos de espesado y deshidratación de lodos de solo 4.0 kGy (requerida para eliminar los riesgos de infección bacteriana), son valores obtenidos utilizando la Ec.7 y tabla 18; así mismo son valores experimentales recomendados por autores como (Engohand-Ndong, Jean; Uribe R. M.; Gregory, Roger; Gangoda, Mahinda; Nickelsen Mike G.; Loar Philip , 2015, pág. 12); y (Kim, Y., Han, B., Kim, J. K., y Yaacov, 2009, pág. 25) que tienen respaldo de organizaciones internacionales especializadas como (EB TECH CO., 2018), la ONU a través de IAEA (International Atomic Energy Agency), y la IIA (International Irradiation Association). Los valores de dosis de 14,5 kGy para irradiar lodos digeridos, y dosis de 4,0 kGy para irradiar los líquidos de espesado y deshidratación de lodos, han hecho posible la estimación de la potencia, el tamaño y modelo del irradiador a utilizar, y en consecuencia obtener el resultado de la viabilidad técnica.

E) Para la obtención de los resultados de ingresos monetarios brutos por ventas de biosólidos y bioabono líquido (ver tabla 33): Se ha considerado para Puno un precio de venta de biosólidos de S/498/TM, equivalente a U. S \$150 /TM.

En México, “Los biosólidos son tan valiosos por sus propiedades benéficas que llegan a ser vendidos a U. S \$190 /TM” (Barrios, 2009, pág. 94).

De hecho, “los productos derivados del lodo compiten perfectamente con los productos destinados a mejorar los suelos y los de abono animal que suelen venderse en el mercado” (Swinwood J. F., Waite T. D., Kruger P., y Rao S. M., 1994, pág. 15).

En Perú, un buen referente similar a los biosólidos de PTAR es el humus de lombriz, cuyo precio de venta oscila entre U.S \$100/TM y \$150/TM, equivalente aproximadamente a S/360/TM y S/520/TM, según MINAGRI (2017, pág. 31).

Así mismo, se ha considerado para el bioabono líquido (líquidos de espesado y deshidratación de lodos) un precio de venta de 48.0 (S/. /m³) = 96/2 (S/. /m³), en virtud principalmente de su concentración de macronutrientes (NPK) estimados e indicados en la tabla 27 y tabla 37; tomando como referencia el precio de venta de la Solución Nutritiva Hidropónica la Molina que asciende a S/ 96,0 /m³.

Tabla 37: Comparación de la concentración de la Solución Hidropónica La Molina[®] y del bioabono líquido producido en la PTAR Espinar - Puno.

COMPONENTE	SOLUCION HIDROPONICA	BIOABONO LIQUIDO A OBTENER EN LA PTAR ESPINAR-PUNO		
	LA MOLINA [®] (mg/L o ppm)	Mínimo (mg/L o ppm)	Máximo (mg/L o ppm)	(% aprox.)
N (ppm)	190	41,67	83,33	50%
P (ppm)	35	6,94	55,56	159%
K (ppm)	210	13,89	41,67	20%
Ca ^(*) (ppm)	150	-----		
S ^(*) (ppm)	70	-----		
Mg ^(*) (ppm)	45	-----		
Fe (ppm)	1,00	-----		
Mn (ppm)	0,50	-----		
B ^(*) (ppm)	0,50	-----		
Zn (ppm)	0,15	-----		
Cu (ppm)	0,10	-----		
Mo (ppm)	0,05	-----		

Nota: (UNALM, Universidad Nacional Agraria la Molina, 2019)

(%): Representa el porcentaje, respecto de la concentración de la Solución Hidropónica la Molina
ppm (una parte por millón) = (mg/L) = 1 mg/litro; (*): Incluye las cantidades que aporta el agua.

D) El resultado de nuestro costo operativo unitario de tratamiento de lodos (ver tabla 31) igual a 11.1 S/ /m³ = **U. S \$ 3,35 /m³** (operando a 11 782 m³ de lodos/año), difiere con el valor encontrado por otros autores en otros países, tales como:

U.S \$ 9.0 /m³ (operando a 112 320 m³ de lodos/año) en el Estado de México (Moreno J., Colín A., Balcázar M., y Tavera L., 2002, pág. 196).

U. S \$ 4.4 /m³ (operando a 7 000 m³ de lodos/mes = 84 000 m³ de lodos/año) para una planta industrial de tratamiento de lodos en Korea; este costo unitario puede ser reducido a U. S \$ 2.2 /m³ si la planta opera a su máxima capacidad (15 750 m³ de lodos/mes = 180 000 m³ de lodos/año) (Kim, Y., Han, B., Kim, J. K., y Yaacov, 2009, pág. 28).

U. S \$ 2.0 /m³ (operando a 650 m³ de lodos líquidos/día = 237 250 m³ de lodos líquidos/año) para las instalaciones demostrativas construidas de Boston y Miami en Estados Unidos de América, este valor de U. S \$ 2.0 /m³ está referido al costo de irradiación de lodos líquidos (lodos sin espesar, sin deshidratar ni secar). El costo de deshidratación y secado del lodo después de la irradiación no está incluido en este valor (Cleland *et al.*, 1984, pág. 187).

4.2 Contrastación de hipótesis

Hipótesis específica 1

Hipótesis alterna 1. - Es viable técnicamente el uso de haces electrónicos para desinfectar lodos efluentes del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Puno.

Hipótesis nula 1. - No es viable técnicamente el uso de haces electrónicos para desinfectar lodos efluentes del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Puno.

Ante la afirmación de la hipótesis alterna 1; los criterios de decisión técnica o significancia para aceptar o rechazar dicha afirmación son los siguientes:

Si la existencia del tamaño, modelo, especificaciones técnicas, y tipo de tecnología del irradiador de electrones, es afirmativo; entonces: Se acepta.

Si la existencia de disponibilidad de compra/venta del irradiador de electrones en el mercado internacional, es afirmativo; entonces: Se acepta.

Si la razón de la inversión en la facilidad a la su potencia del haz de electrones (viabilidad técnica) en U.S \$/W, es relativamente media o baja: Se acepta.

Con los resultados de los indicadores de la variable viabilidad técnica que se presenta en la tabla 29: **SI existe disponibilidad de compra-venta** del modelo, con las especificaciones técnicas, y tipo de tecnología del irradiador de electrones en el mercado internacional; se contrasta y corrobora la aceptación de la hipótesis alterna 1, y, por tanto, se contrasta y corrobora el rechazo de la hipótesis nula 1.

Decisión: Se acepta la afirmación de la hipótesis alterna 1, y, por tanto, queda rechazada la hipótesis nula 1. Quedando demostrada la hipótesis específica 1

Hipótesis específica 2

Hipótesis alterna 2. - “Es viable económicamente el uso de haces electrónicos para desinfectar lodos efluentes del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Puno”.

Hipótesis nula 2. - “No es viable económicamente el uso de haces electrónicos para desinfectar lodos efluentes del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Puno”.

Ante la afirmación de la hipótesis alterna 2; los criterios de decisión económica o significancia para aceptar o rechazar dicha afirmación, son los siguientes:

Si el Valor Actual Neto (VAN) es > 0 : Se acepta.

Si la Tasa Interna de Retorno (TIR) es $> 8\%$ (la tasa social de descuento): Se acepta.

Si la razón Beneficio/Costo (B/C) convencional es ≥ 1 : Se acepta.

Si la razón Beneficio/Costo (B/C) modificada es ≥ 1 : Se acepta.

Con los resultados de los indicadores económicos presentados en la tabla 36: VAN = S/99 303 480 (>0), TIR = 42%, ($>8\%$), (B/C)_{Convencional} = 1.90 (>1), y (B/C)_{Modificada} = 6.22 (>1); se contrasta y se corrobora la aceptación de la hipótesis alterna 2, y, por tanto, se contrasta y corrobora el rechazo de la hipótesis nula 2.

Decisión: Se acepta la afirmación de la hipótesis alterna 2, y, por lo tanto, queda rechazada la hipótesis nula 2. Quedando demostrada la hipótesis específica 2.

Hipótesis general

Hipótesis alterna. - “Es viable técnica y económicamente el uso de haces electrónicos para desinfectar lodos efluentes del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Puno”.

Hipótesis nula. - “No es viable técnica y económicamente el uso de haces electrónicos para desinfectar lodos efluentes del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Puno”.

Ante la afirmación de la hipótesis alterna: “Es viable técnica y económicamente el uso de haces electrónicos para desinfectar lodos efluentes del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Puno”. Los criterios de decisión técnico económica o significancia para aceptar o rechazar dicha afirmación son los siguientes:

Si y solo si la afirmación de la hipótesis alterna 1 y la afirmación de la hipótesis alterna 2 de manera simultánea han sido contrastadas, corroboradas y aceptadas, entonces: se acepta la afirmación de la hipótesis alterna, y se rechaza la hipótesis nula.

Ante la decisión de aceptar la afirmación de la hipótesis alterna 1, y la afirmación de la hipótesis alterna 2; se contrasta y se corrobora la aceptación de la hipótesis alterna, en consecuencia, se rechaza la hipótesis nula.

Decisión: Se acepta la afirmación de la hipótesis alterna, y, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula. Quedando demostrada la hipótesis general.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

5.1 Discusión de resultados

- Las concentraciones de contaminantes químicos de metales pesados (Plomo, Cobre, Cadmio, y Níquel) medidas a dos profundidades de 20% y 80% de la columna de agua, en el punto BI-14 localizado muy próximo a la descarga de la PTAR Espinar-Puno, valores reportados y publicados según la PCM (2014, págs. IV-90, IV-91); solo nos orienta para afirmar que: *Las concentraciones de metales pesados en los lodos efluentes de la PTAR Espinar-Puno, deben encontrarse muy por debajo de los parámetros de toxicidad química.* Por lo tanto, las concentraciones de metales pesados que debe aparecer en los lodos efluentes de la PTAR Espinar-Puno, no son limitantes para su aprovechamiento como biosólidos.
- Para la estimación y determinación de la potencia del irradiador de electrones; el tamaño del equipo irradiador, la cantidad de energía del haz de electrones, la cantidad de energía eléctrica que utilizaría la planta de irradiación, la disponibilidad y oferta del equipo de irradiación en el mercado internacional, y por ende en la determinación de la viabilidad técnica; se recogió, utilizó y procesó la data e información tecnológica experimental publicada y respaldada por instituciones internacionales, tales como: La Organización de las Naciones Unidas (ONU), la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA), International Irradiation Association (IIA), ver referencias (IAEA, International Atomic Energy Agency, IIA, International Irradiation Association, 2010, pág. 5), (ebTECH, 2009, pág. 38), (Engohand-Ndong, Jean; Uribe R. M.; Gregory, Roger; Gangoda, Mahinda; Nickelsen Mike G.; Loar Philip , 2015, pág. 12), (Borrely S. I., Cruz A. C., Del Mastro N. L., Sampa M. H. O, Somessari E. S,

1998, pág. 9), (Maruthi Y. A., Das N. L., Hossain K., Sarma K. S. S., Rawat K. P., Sabharwal S., 2011, pág. 51), (Colin Cruz, 1994, pág. 18). *Esta información tecnológica experimental es aceptada y no se discute su validez*, en cuanto permite obtener los resultados de la dosis de irradiación a utilizar, la potencia y tamaño del irradiador de electrones, la energía eléctrica de la planta de irradiación, y en consecuencia permite obtener la viabilidad técnica para verificar y contrastar las hipótesis correspondientes.

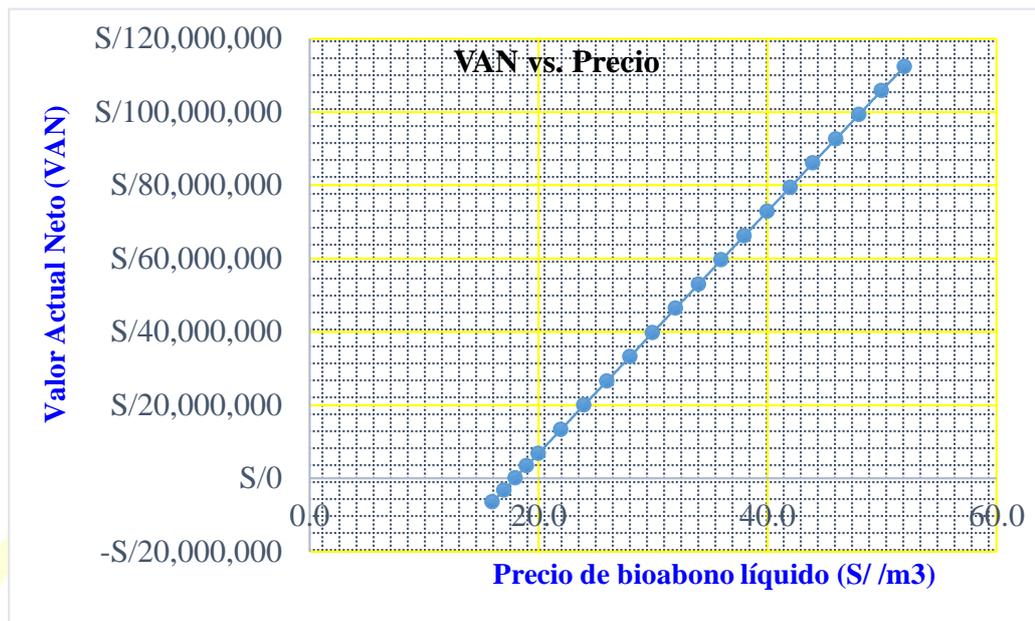
- En el presente estudio, el resultado de los indicadores de viabilidad económica depende esencialmente de los ingresos monetarios anuales por comercialización de los biosólidos y bioabono líquido, es decir del valor de las ventas de biosólidos y bioabono líquido por año de operación. El valor de las ventas a su vez, dependen del precio de venta unitario de biosólidos, del precio de venta unitario de bioabono líquido, y la cantidad de producción anual de biosólidos y bioabono líquido.
- Para fijar el precio de venta unitario del bioabono líquido a 48 (S/. /m³) = 96/2 (S/. /m³), consideramos como buen referente al precio de venta de la Solución Hidropónica la Molina que asciende a 96 (S/. /m³); tomando en cuenta y observando que la concentración de (NPK) del bioabono líquido es aproximadamente la mitad de la concentración de (NPK) de la Solución completa Hidropónica la Molina, ver tabla 37 y Anexo 20.
- Si consideramos constante el precio de venta unitario de biosólidos en S/ 498/TM, y variamos el precio de venta unitario del bioabono líquido en el intervalo de S/ 20 /TM a S/ 48 /TM; *podemos observar que la viabilidad económica es aceptable y favorable* de acuerdo a los cambios de los indicadores de viabilidad según la tabla 38, figuras 38, 39, 40, y 41 siguientes:

Tabla 38: Variación de los indicadores de viabilidad económica con el precio de venta del bioabono líquido.

Precios de venta del bioabono líquido (S/ /m3)	VAN	TIR	(B/C)Convencional	(B/C)Modificada
52.0	S/112,513,729.95	46.9%	2.00	6.91
50.0	S/105,908,605.13	44.5%	1.95	6.57
48.0	S/99,303,480.31	42.2%	1.90	6.22
46.0	S/92,698,355.48	39.8%	1.85	5.87
44.0	S/86,093,230.66	37.5%	1.80	5.53
42.0	S/79,488,105.84	35.2%	1.75	5.18
40.0	S/72,882,981.01	32.9%	1.70	4.83
38.0	S/66,277,856.19	30.5%	1.65	4.48
36.0	S/59,672,731.37	28.2%	1.59	4.14
34.0	S/53,067,606.55	25.9%	1.53	3.79
32.0	S/46,462,481.72	23.6%	1.47	3.44
30.0	S/39,857,356.90	21.3%	1.41	3.10
28.0	S/33,252,232.08	19.0%	1.35	2.75
26.0	S/26,647,107.25	16.7%	1.28	2.40
24.0	S/20,041,982.43	14.3%	1.22	2.05
22.0	S/13,436,857.61	11.9%	1.15	1.71
20.0	S/6,831,732.78	9.4%	1.08	1.36
19.0	S/3,529,170.37	8.1%	1.04	1.19
18.0	S/226,607.96	6.8%	1.00	1.01
17.0	-S/3,075,954.45	5.4%	0.96	0.84
16.0	-S/6,378,516.86	3.9%	0.93	0.66

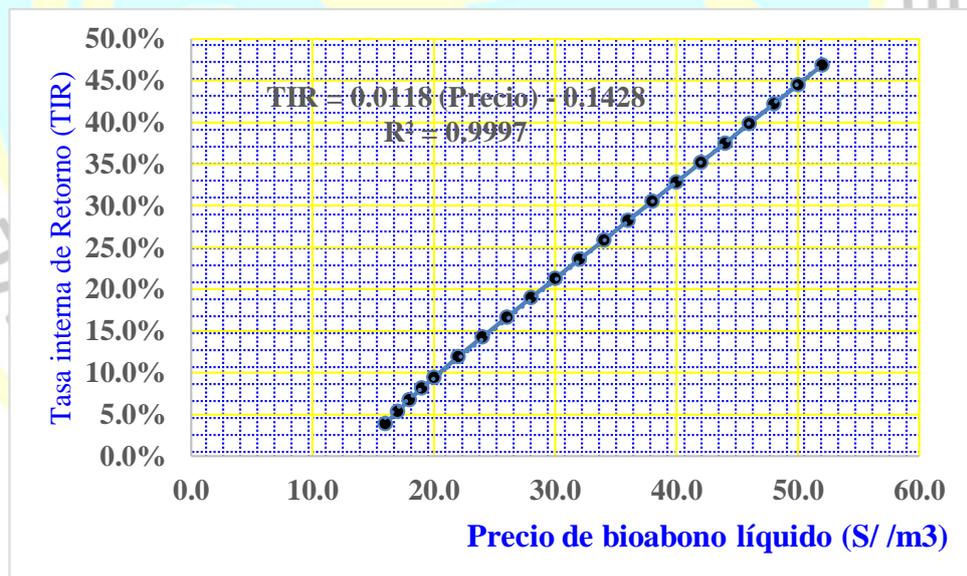
Nota: Elaboración propia

Figura 38: Valor Actual Neto (VAN) vs. Precio de bioabono líquido (S/ /m³)



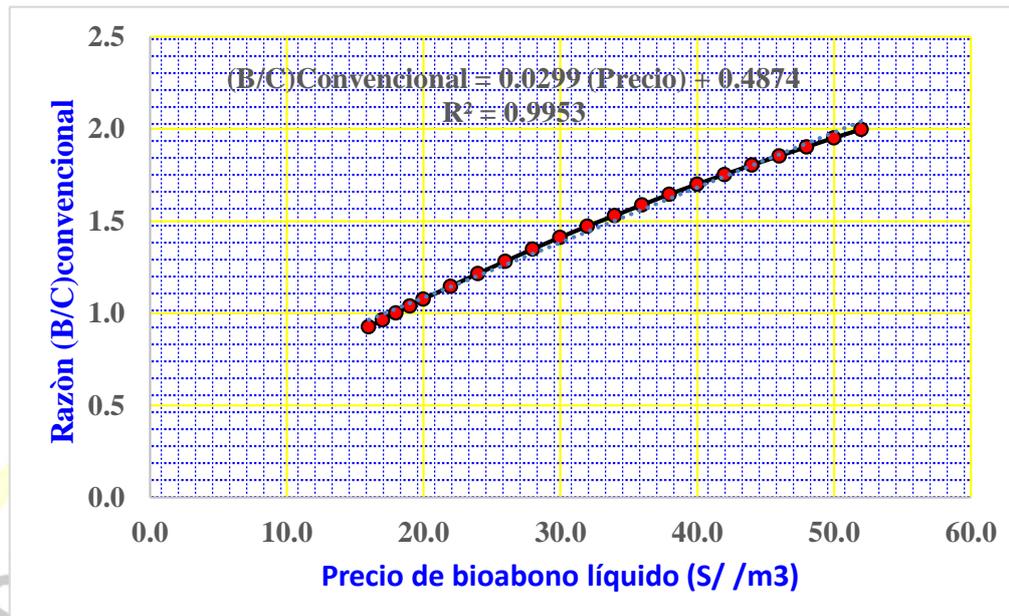
Nota: Elaboración propia

Figura 39: Tasa Interna de Retorno (TIR) vs. Precio de bioabono líquido (S/ /m³)



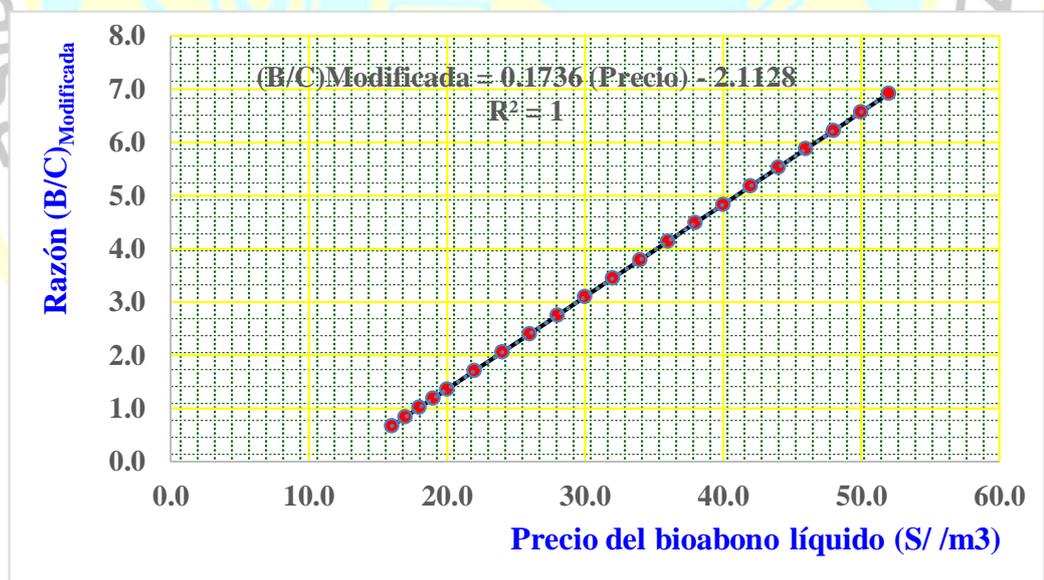
Nota: Elaboración propia

Figura 40: Razón Beneficio/Costo (B/C)_{Convencional} vs. Precio de bioabono líquido



Nota: Elaboración propia

Figura 41: Razón (B/C)_{Modificada} vs. Precio de bioabono líquido (\$/m³)



Nota: Elaboración propia

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Las conclusiones principales que se derivan del presente estudio, son las siguientes:

- Para desinfectar los lodos digeridos efluentes del sistema tratamiento de aguas residuales de Puno, a niveles de esterilización y ser convertidos a biosólidos de clase A, es necesario una *dosis de irradiación de 14.5 (kGy)* a una penetración óptima del haz de electrones de 14.3 (mm). Así mismo, para desinfectar los líquidos de espesamiento y deshidratación de lodos efluentes del sistema de tratamiento de aguas residuales de Puno, a niveles de esterilización y ser convertidos en bioabono líquido, solo es necesario una *dosis de irradiación de 4.0 (kGy)* a una penetración óptima del haz de electrones de 15.8 (mm).
- La tecnología de irradiación con haces de electrones para desinfectar lodos y líquidos de espesamiento y deshidratación de lodos - efluentes de PTAR- es válida y confiable para cualquier país o lugar del planeta. *Los niveles de desinfección de lodos y sus líquidos de espesamiento y deshidratación, solo dependen de la dosis de irradiación utilizada.*
- Según los resultados encontrados, la irradiación con haces de electrones, no solo es eficaz y eficiente para destruir microorganismos patógenos, sino también para destruir muchos productos químicos-orgánicos considerados contaminantes tóxicos y disruptores endocrinos que aparecen en aguas y lodos residuales, y que aún no están regulados en la normatividad vigente.
- Para desinfectar lodos digeridos, espesados y deshidratados a un flujo másico de 0.94 (kg/s), y desinfectar líquidos de espesamiento y deshidratación de lodos a un

flujo másico de 30,60 (kg/s) – operando 16 horas/día, 20 días/mes, equivalente a 3 840 horas/año - se requiere un irradiador de electrones de 5 (MeV) con una potencia de irradiación de 195 (kW). El mercado internacional ofrece irradiador de electrones de 200 (kW) a un precio de U.S. \$ 1 500 000 (un millón y medio de dólares americanos) lo que determinan una viabilidad técnica de 7,5 (U.S. \$/W). Por lo tanto, *concluimos que el proyecto es viable técnicamente.*

- Se ha determinado un *costo operativo total unitario de 11,0 (S/ /m³)* para los lodos digeridos, y sus líquidos de espesamiento y deshidratación en el horizonte del proyecto (año 2049).
- Puesto que, en la determinación de los indicadores de la variable viabilidad económica se ha encontrado los valores siguientes: VAN = S/ 99 303 480 (>0), TIR = 42,2 (>8%), (B/C)_{Convencional} = 1,90 (≥1), (B/C)_{Modificada} = 6,2 (≥1), un Periodo de Recuperación de la Inversión PRI = 2 años y 5 meses, y una razón Costo/Efectividad (C/É) = S/ 562/habitante. Concluimos que: *El uso de haces electrónicos para desinfectar los lodos efluentes del sistema de tratamiento de aguas residuales de Puno es viable económicamente.*
- Para que la variable viabilidad económica sea aceptada favorablemente, es necesario irradiar no solo los lodos digeridos y venderlos como biosólidos de clase A por un precio de 150 (U.S \$/TM) = 498 (S/ /TM); sino también se hace necesario irradiar los líquidos de espesamiento y deshidratación de lodos, y venderlos como bioabono líquido a un precio no menor a 22 (S/ /m³). Solo así, podemos concluir y afirmar que: *El uso de la irradiación de haces electrónicos para desinfectar los lodos efluentes del sistema de tratamiento de aguas residuales de Puno, es viable económicamente.*
- De la contrastación de la hipótesis general, categóricamente podemos concluir y afirmar que: *Sí, es viable técnica y económicamente el uso de haces electrónicos para desinfectar lodos efluentes del sistema de tratamiento de aguas residuales de Puno.*
- La aplicación de la tecnología de haces electrónicos para la desinfección y reaprovechamiento de los lodos efluentes del sistema de tratamiento de aguas residuales de Puno y sus líquidos de espesamiento y deshidratación en la

agricultura; *implicará mejoras en la salud y calidad de vida de la población, mejoras ambientales, mejoras sociales, y mejoras en la productividad de los suelos agrícolas de Puno*, tales como: Un ahorro en el tratamiento de enfermedades gastrointestinales en niños y ancianos especialmente, un ahorro en las tarifas por saneamiento ambiental municipal, el inicio del mejoramiento de un ambiente acuático saludable para la regeneración de la biota en la bahía interior de Puno, una recuperación de suelos agrícolas, al incorporar materia orgánica base para las actividades biológicas de los microorganismos benéficos del suelo, por lo tanto implicará un incremento en el potencial agrícola de los suelos.

6.2 Recomendaciones

1. En la línea de tratamiento de lodos del nuevo sistema de tratamiento de aguas residuales PTAR Espinar-Puno, recomendamos implementar una planta de irradiación con haces de electrones, para la desinfección y reaprovechamiento de los lodos y sus líquidos de espesamiento y deshidratación, en agricultura y silvicultura de Puno, a fin de no seguir arrojando al lago Titicaca materia orgánica, macronutrientes y micronutrientes para vegetales, que solo favorecen la eutrofización de la bahía interior de Puno con el crecimiento de la lenteja de agua.
¡¡Cero materia orgánica, y cero minerales nutrientes de vegetales arrojados al lago Titicaca ¡¡.
2. Recomendamos realizar estudios para evaluar desde el punto de vista económico las mejoras en la salud y calidad de vida de la población de Puno, las mejoras ambientales, las mejoras sociales, y las mejoras en la productividad de los suelos agrícolas. Mejoras que lleva implícita la aplicación de la tecnología de irradiación con haces de electrones.
3. Recomendamos realizar estudios de productividad para diferentes tipos de cultivos utilizando biosólidos de clase A y regando con bioabono líquido como fertilizantes, y determinar el mejoramiento de la producción respecto del uso de fertilizantes químicos sintéticos y otros abonos orgánicos. Así mismo, recomendamos realizar estudios de otras alternativas económicas para el transporte de bioabono líquido de la PTAR Espinar-Puno al campo agrícola.

REFERENCIAS

7.1 Fuentes documentales

- Arbeláez, A. P. (2015). *Contaminantes emergentes en aguas residuales y de río y fangos de depuradora*. (Tesis inédita de doctorado). Universitat Rovira i Virgili, Facultad de Química, Departamento de Química Analítica y Química Orgánica. Tarragona, España. Recuperado el 10 de Mayo de 2017, de <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/334397/Tesi%20Paula.pdf?sequence=1>
- Barrios, J. A. (2009). Aspectos generales del manejo de lodos. En CONAGUA, Comisión Nacional del Agua (Ed.), *Curso sobre Manejo y Aprovechamiento de Lodos Provenientes de Plantas de Tratamiento* (pág. 96). México: SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado el 15 de Noviembre de 2018, de <https://studylib.es/doc/5214389/aspectos-generales-del-manejo-de-lodos>
- Borrely, S., Cruz, A., Del Mastro, N., Sampa M. H. O, Somessari E. S. (1998). Radiation processing of sewage and sludge. a review. (E. S. Ltd, Ed.) *Progress in Nuclear Energy*, 33(1/2), 3 - 21. doi:[https://doi.org/10.1016/S0149-1970\(97\)87287-3](https://doi.org/10.1016/S0149-1970(97)87287-3)
- Buck E. C., Wittman R. S, Skomurski F. N., Cantrell K. J., McNamara B. K., Soderquist C. Z. (2012). *Radiolysis Process Modeling Results for Scenarios*. Pacific Northwest National Laboratory, U.S. Department of Energy Separations/Waste Form Campaign. Pacific Northwest: U.S. Department of Energy. Recuperado el 15 de Enero de 2018, de https://www.pnnl.gov/main/publications/external/technical_reports/PNNL-21554.pdf
- Burga, A. F. (2014). *Valoración de lodos sedimentados generados en las lagunas de estabilización de EPSEL para uso como abono orgánico*. (Tesis inédita de pregrado). Universidad Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, Perú. Recuperado el 05 de Setiembre 2018 de: http://tesis.usat.edu.pe/bitstream/usat/493/1/TL_Burga_Rafael_AlbertoFernando.pdf
- Cleland M. R., Fernald R. A., Malcof S. R. (1984). Electron Beam Process Design for the Treatment of Wastes and Economic Feasibility of the Process. (ScienceDirect, Ed.)

Radiation Physics and Chemistry, 4(1), 179 - 190. doi:[https://doi.org/10.1016/0146-5724\(84\)90015-3](https://doi.org/10.1016/0146-5724(84)90015-3)

- Cleland, M. R. (2006). *Industrial applications of electron accelerators*. Recuperado el 23 de Octubre de 2018, de <https://cds.cern.ch/record/1005393/files/p383.pdf>
- Colin, A. (1994). *Evaluación de la irradiación de lodos residuales*. (Tesis inédita de maestría). Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Química, Toluca, México. Recuperado el 10 de Marzo de 2018, de <http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/Public/28/074/28074898.pdf>
- ebTECH (2009). Electron Beam for Environmental Conservation. En E.-T. C. Ltd. (Ed.), *International Topical Meeting on Nuclear Research Applications and Utilization of Accelerators Vienna* (págs. 29 -31). Vienna, Austria: Copyright Eb-Tech 550 yongsan-dong Yuseong-gu, Daejeon 305 - 500, Korea. Obtenido de https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/P1433_CD/datasets/presentations/SM-EB-23.pdf
- Fiestas, C. J., Legua, J. A. (2017, noviembre). *Uso de haces electrónicos de alta energía para aplicaciones fitosanitarias*, ponencia presentada en el XXI Simposio Nacional de Física 2017, Huacho, Perú.
- Fiestas C. J. (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*. (Tesis inédita de doctorado). Universidad Nacional "José Faustino Sánchez Carrión", Escuela de Posgrado, Huacho.
- García, M. I. (2016). *Tratamiento de lodos residuales procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales mediante procesos electroquímicos para la disminución de la concentración de coliformes fecales y totales*. (Tesis inédita de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca Carrera de Ingeniería Ambiental. Cuenca, Ecuador. Recuperado el 05 de Febrero de 2019, de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12044/1/UPS-CT005866.pdf>
- Getoff, N. (1996). Radiation-induced degradation of water pollutants - state of the art. *Pergamon: Radiat. Phys. Chem.*, 47(4), 581 - 593. Recuperado el 10 de Octubre de 2018, de <http://projects.itn.pt/Luisa%20Alves/Bibliografia%20citada%20na%20proposta/radiation%20induced%20degradation%20of%20water%20pollutants.pdf>
- Giaye, G. (2015). *Preinforme Estudio de Valorización de Lodos de Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales Urbanas (L.E.D.A.R.U.) Municipio de las Palmas de Gran Canaria*. Universidad de las Palmas de Gran Canaria, Departamento de Ingeniería

de Procesos. Gran Canaria: Municipio de las Palmas de la Gran Canaria. Recuperado el 17 de Mayo de 2018, de <https://es.scribd.com/document/201684889/41-estudio-de-Lodos-de-Depuradora>

Gómez-Rico, M. F. (2008). *Estudio de contaminantes orgánicos en el aprovechamiento de lodos de depuradora de aguas residuales urbanas*. (Tesis inédita de doctorado). Universidad de Alicante Departamento de Ingeniería Química, Alicante, España. Recuperado el 15 de Abril de 2017, de https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/7719/1/tesis_doctoral_francisca_gomez.pdf

Gonzales, J. (2005). *Los Costes, Concepto y Clasificación*. Universidad de la Laguna. Santa Cruz de Tenerife, España: Universidad de la Laguna. Recuperado el 22 de Diciembre de 2018, de http://ocw.uniovi.es/pluginfile.php/3088/mod_resource/content/1/Clasificacion_de_costes.pdf

Gonzales, I. C. (2015). *Generación, caracterización y tratamiento de lodos de EDAR*. (Tesis inédita de doctorado), Universidad de Córdoba Departamento de Química Inorgánica e Ingeniería Química, Córdoba, España. Recuperado el 11 de Setiembre de 2017, de <https://helvia.uco.es/bitstream/handle/10396/13199/2016000001232.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Graíño, J. G. (2001). *Radiation technology for sewage sludge treatment: the argentine project*. Comisión Nacional de Energía Atómica, Buenos Aires, Argentina. Recuperado el 10 de Diciembre de 2017, de https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/32/037/32037236.pdf

Guibo, J. (2012). *Evaluación económica a precios sociales de los componentes de alcantarillado y plantas de tratamiento de desagües*. Dirección General de Política de Inversiones, curso formulación y evaluación en PIP del sector saneamiento. Moquegua, Perú. Recuperado el 20 de Diciembre de 2018, de https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/capacidades/capac_12/noviembre/saneamiento/4_Evaluaci.pdf

Henríquez, O. (2011). *Análisis y criterios mínimos para la aplicación de lodos tratados provenientes de plantas de tratamiento de aguas servidas en agrosistemas de la provincia de Melipilla, región metropolitana, Chile*. (Tesis inédita de maestría).

Universidad de Chile Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza, Santiago de Chile, Chile. Recuperado el 27 de Agosto de 2018, de <http://mgpa.forestaluchile.cl/Tesis/Henriquez%20Olivia.pdf>

Herrero, O. (2013). Gestión de lodos, normativa y destino final: aplicación agrícola. depuración de aguas del mediterráneo (págs. 1 - 8). Zaragoza, España: DAM. Recuperado el 22 de Enero de 2018, de <http://catedramln.unizar.es/files/conferencias/lodos2013/Herrero.pdf>

IAEA, International Atomic Energy Agency, IIA, International Irradiation Association. (2010). *Industrial Electron Beam Processing*. Vienna: IAEA. Recuperado el 03 de Octubre de 2017, de <http://www.cirms.org/pdf/industrial-eb-processing-december-2010-revision4.pdf>

Kim, Y., Han, B., y Kim, J. K. (2003). *Disinfection of Total Coli-forms in the Effluent from Municipal Wastewater Plant with Electron Beam*. Daejeon, Republic of Korea: IAEA-CN-115-38. Recuperado el 05 de Marzo de 2012, de <https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/P1251-cd/papers/38.pdf>

Kim, Y., Han, B., Kim, J. K., y Yaacov, N. (2009). Design of Electron Beam Sludge Hygienization Plant. En E. B. Technology (Ed.), *International Topical Meeting on Nuclear Research Applications and Utilization of Accelerators Vienna, Austria* (págs. 1 - 34). Vienna: ebTech 550 yongsan-dong Yuseong-gu, Daejeon Copyright 305-500, Korea. Obtenido de https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/P1433_CD/datasets/presentations/SM-EB-25.pdf

Mantilla, G. (2016). Alternativas en el manejo integral de lodos en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. En Instituto Mexicano del Agua (Ed.). (pág. 11). Tijuana: Gobierno de la República de México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado el 03 de Diciembre de 2018, de http://www.aneas.com.mx/convencion2016/doc/Presentacion/06_Alternativas_en_PTARS/06_Alternativas_en_PTARS.pdf

Maruthi Y. A., Das N. L., Hossain K., Sarma K. S. S., Rawat K. P., Sabharwal S. (05 de Agosto de 2011). Disinfection and reduction of organic load of sewage water by electron beam radiation. (Springerlink.com, Ed.) *Applied Water Science*, 1(1), 49 - 56. Recuperado el 20 de Julio de 2017 de <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs13201-011-0008-z.pdf>

- MEF, Ministerio de Economía y Finanzas. (2015). Gestión de la Fase de Inversión - SNIP. En P. Moreno Sandoval (Ed.), *Gestión de la Fase de Inversión – SNIP* (págs. 1 - 5). Lima: Dirección General de Inversión Pública. Recuperado el 05 de Enero de 2017, de https://www.mpf.gov.pe/escuela/contenido/actividades/docs/3875_gestion_de_la_fase_de_inversion_snip_abril_2015.pdf
- MEF, Ministerio de Economía y Finanzas. (Abril de 2018a). *Guía amigable para los procesos y registros en los aplicativos informáticos de inversión pública*. (invierte.pe, Ed.) Recuperado el 14 de Noviembre de 2018, de https://www.mef.gov.pe/contenidos/inv_publica/docs/ciclo_inversion/Guia_amigable_Fases_y_Modulos.PDF
- Mejía, E. (2000). *Bacillus cereus como indicador en la desinfección de aguas residuales con electrones de alta energía*. (Tesis inédita de pregrado). Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Química, Toluca, México. Recuperado el 22 de Junio de 2017, de <https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/Public/31/043/31043181.pdf>
- Méndez, L. C. (1990). *Tratamiento de aguas residuales mediante radiación gamma*. (Tesis inédita de pregrado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos Facultad de Química e Ingeniería Química, Lima-Perú.
- Mendez, J. P., Marchan, J. (2008). *Diagnóstico situacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en las EPS del Perú y propuestas de solución*. Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS). Lima: GTZ/PROAGUA, Cooperación Alemana al Desarrollo. Recuperado el 18 de Noviembre de 2016, de http://www.sunass.gov.pe/doc/Publicaciones/libro_ptar_gtz_sunass.pdf
- Morales, P. M. (2005). *Digestión Anaerobia de Lodos de Plantas de Tratamiento de Aguas y su aprovechamiento*. (Tesis inédita de pregrado). Universidad de las Américas Puebla, Escuela de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química y Alimentos, Cholula, Puebla, México. Recuperado el 03 de Octubre de 2018, de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/leia/morales_r_pm/
- Moreno, A. (2018). Capacitación y asistencia técnica para la gestión de proyectos de inversión en el marco del Invierte.pe. En *invierte.pe* (Ed.). (págs. 31 - 52). Lima:

invierte.pe. Recuperado el 20 de Diciembre de 2018, de http://www.minam.gob.pe/oficina-general-de-planeamiento-y-presupuesto/wp-content/uploads/sites/139/2018/01/17.07.2017-Gestion-de-Proyectos-de-Inversi%C3%B3n-Invierte.pe_.pdf

Municipalidad Provincial de Puno. (2012). Proyecto de Inversión Pública, Código SNIP: 191815. En Gobierno Local de Puno (Ed.), *PIP “ Mejoramiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Puno – Provincia Puno - Puno ”* (págs. 09 - 21). Puno: Gobierno Local de Puno. Recuperado el 09 de Febrero de 2015, de <http://www.minam.gob.pe/puno/wp-content/uploads/sites/55/2014/02/PIP.pdf>

OSCE, Organismo Supervisor de Contrataciones del Estado. (2018). Expediente Técnico de Obra. En Subdirección de Desarrollo de Capacidades (Ed.), *Expediente Técnico de Obra* (págs. 1 - 19). Lima: OSCE. Recuperado el 21 de Diciembre de 2018, de http://portal.osce.gob.pe/osce/sites/default/files/Documentos/Capacidades/Capacitacion/Virtual/curso_contratacion_obras/ppt_cap3_obras.pdf

Osores-Hampton, M. (2017). *Uso de Biosolidos en Produccion de Hortalizas*. Instituto de Alimentos y Ciencias Agrícolas, Universidad de la Florida, Departamento de Ciencias Hortícolas, Servicio de Extensión Cooperativa de la Florida. Florida, Estados Unidos de Norte América: IFAS Extention. Recuperado el 24 de Agosto de 2017, de <https://edis.ifas.ufl.edu/pdf/files/HS/HS118300.pdf>

PCM Presidencia del Consejo de Ministros. (2014). *ESTADO DE LA CALIDAD AMBIENTAL DE LA CUENCA DEL LAGO TITICACA ÁMBITO PERUANO*. Presidencia del Consejo de Ministros, COMISIÓN MULTISECTORIAL PARA LA PREVENCIÓN Y RECUPERACIÓN AMBIENTAL DEL LAGO TITICACA Y SUS AFLUENTES (D.S. N° 075-2013-PCM), Lima. Recuperado el 30 de Diciembre de 2018, de <http://www.minam.gob.pe/puno/wp-content/uploads/sites/55/2014/02/ESTUDIO-DEL-ESTADO-DE-LA-CALIDAD-AMBIENTAL-CUENCA-DEL-TITICACA..pdf>

ProInversión. (2018a, Octubre). *Proyecto SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CUENCA DEL LAGO TITICACA Convocatoria a concurso de proyectos integrales*. En Agencia de Promoción de la Inversión Privada-Perú (Ed.), *SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CUENCA DEL LAGO TITICACA* (pág. 26). Lima: ProInversión. Recuperado el 01 de Octubre de 2018, de <http://www.proinversion.gob.pe/titicaca/docs/PPT-PTAR-Puno-Concurso-25-07.pdf>

- ProInversión. (2018b, Octubre). *Proyecto SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CUENCA DEL LAGO TITICACA*. (Agencia de Promoción de la Inversión Privada-Perú, Ed.) Recuperado el 01 de Octubre de 2018, de Declaratoria de Interés de la Iniciativa Privada Cofinanciada: https://www.proyectosapp.pe/RepositorioAPS/0/2/JER/IP_040_2014/Declaratoria-Interes-IPC-TITICACA.pdf
- ProInversión. (2018c, Octubre). *Proyecto SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CUENCA DEL LAGO TITICACA*. En Agencia de Promoción de la Inversión Privada-Perú (Ed.), *Iniciativa Privada Cofinanciada* (pág. 33). Lima: ProInversión. Recuperado el 01 de Octubre de 2018, de http://www.proinversion.gob.pe/titicaca/docs/PPT_PTAR_Puno_v2_04_04_18.pdf
- PNUMA, P. d. (2011). *Perspectivas del Medio Ambiente en el Sistema Hídrico TITICACA-DESAGUADERO-POOPÓ-SALAR DE COIPASA (TDPS) GEO Titicaca*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Ciudad de Panamá, Panamá: Editora Novo Art, S.A. Recuperado el 05 de Noviembre de 2017, de [http://www.pnuma.org/deat1/pdf/Geo%20Titicaca\(Web\).pdf](http://www.pnuma.org/deat1/pdf/Geo%20Titicaca(Web).pdf)
- Rojas, R. (2002). Curso Internacional GESTIÓN INTEGRAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. En C. P. CEPIS (Ed.), *SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES* (págs. 15 - 17). Lima: CEPIS. Recuperado el 13 de Setiembre de 2017, de <http://files.control-ambiental5.webnode.com.co/200000093-9097e9190c/GESTION%20INTEGRAL%20DEL%20TRATAMIENTO%20AR.pdf>
- Rosadio, R. (2008). *TRATAMIENTO BIOFÍSICO DE LAS AGUAS RESIDUALES PARA EL USO EN EL ECOSISTEMA URBANO* (Tesis inédita de doctorado). Universidad Nacional Federico Villarreal, Escuela Universitaria de Post Grado de la Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, Perú.
- Sabharwal, S. (2013). Electron Beam Irradiation Applications. En I. A. Agence (Ed.), *Electron Beam Irradiation Applications* (págs. 11 -12). Vienna: IAEA Atoms for Peace. Recuperado el 22 de Abril de 2017, de http://accelconf.web.cern.ch/accelconf/pac2013/talks/weyb3_talk.pdf

SUNASS, Cooperación Alemana implementada por GIZ. (2015). *Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento*. Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS), Cooperación Alemana, implementada por la GIZ, PROAGUA. Lima, Perú: Tarea Asociación Gráfica Educativa. Recuperado el 06 de Febrero de 2018, de <http://www.sunass.gob.pe/doc/Publicaciones/ptar.pdf>

Wang Jianlong y Wang Jiazhuo. (2007). Application of radiation technology to sewage sludge processing: A review. (S. Direct, Ed.) *Journal of Hazardous Materials*, 143, 2 - 7. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.01.027>

7.2 Fuentes bibliográficas

Andrade, S. (1986). *PROYECTOS DE INVERSIÓN* (Tercera ed., Vol. II). (Lucero S. R. Ltda., Ed.) Lima, Perú: Lucero S. R. Ltda. Recuperado el 23 de Diciembre de 2018.

Andreoli, C. V., Sperling, M., y Fernandes, F. (2007). *SLUDGE TREATMENT AND DISPOSAL* (Vol. 6). (C. Vitorio Andreoli, M. Sperling, & F. Fernandes, Edits.) London, New York, UK: IWA Publishing, DESA UFMG. Recuperado el 10 de Octubre de 2018, de <https://www.oapen.org/download?type=document&docid=640145>

Blank, L., y Tarquin, A. (2007). *INGENIERÍA ECONÓMICA* (Sexta ed.). México, México: McGraw-Hill / Interamericana.

Spinks J. W. T., y Woods R. J. (1990). *AN INTRODUCTION TO RADIATION CHEMISTRY* (Third ed.). (A. W. Publication, Ed.), New York, EE.UU. John Wiley & Sons, Inc. Obtenido de http://www.wipp.energy.gov/library/CRA/2009_CRA/references/Others/Spinks_Woods_1990_Radiation_Sources_Interaction_of_Radiation_with_Matter.pdf

Victor, H. (1862). La Tierra Empobrecida por el Mar, Tome II. Livre Deuxeme. L'intestin de Léviathan. En V. Hugo, *Los Miserables* (Vol. II). París, Francia. Obtenido de <https://books.google.com.pe/books?id=JeT9CwAAQBAJ&pg=RA10-PR31&lpg=RA10-PR31&dq=%E2%80%9CLa+ciencia,+despu%C3%A9s+de+haber+andado+a+tientas+durante+mucho+tiempo,+sabe+hoy+que+el+m%C3%A1s+fecundo+y+eficaz+de+los+abonos+es+el+abono+humano.&source=bl&ots=jV3>

Zugarramurdi, A., Parín, M. A., y Lupin H. M. (1998). COSTOS DE PRODUCCIÓN. En A. P. Zugarramurdi, & FAO (Ed.), *Ingeniería Económica Aplicada a la Industria Pesquera*. Mar del Plata, Argentina: FAO. Recuperado el 22 de Diciembre de 2018, de Costos Fijos: <http://www.fao.org/docrep/003/V8490S/v8490s06.htm#4.3%20costos%20fijos>

7.3 Fuentes hemerográficas

Amador, A., Veliz, E., y Bataller, M. (2015). Tratamiento de lodos, generalidades y aplicaciones. (Centro Nacional de Investigaciones Científicas, Ed.) *Revista CENIC. Ciencias Químicas*, 46, 1 - 10. Recuperado el 21 de Octubre de 2018, de <https://www.redalyc.org/pdf/1816/181642434003.pdf>

Ayuntamiento Zaragoza. (2012). *EL RENACIMIENTO DEL AGUA*. (Zaragoza Ecociudad, Ed.) Recuperado el 21 de Noviembre de 2018, de Tratamiento de aguas residuales en Zaragoza: https://www.zaragoza.es/contenidos/saneamiento/Folleto_saneamiento.pdf

Engohand-Ndong, Jean; Uribe R. M.; Gregory, Roger; Gangoda, Mahinda; Nickelsen Mike G.; y Loar Philip . (3 de Marzo de 2015). Effect of electron beam irradiation on bacterial and Ascaris ova loads and volatile organic compounds in municipal sewage sludge. *Radiation Physics and Chemistry*, 112, 6 - 12. doi:<https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2015.02.013>

Flores, R. (Enero-Junio de 2014). ANALISIS DEL PROBLEMA DEL AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO: CIUDAD DE PUNO Situación Actual y Realidad. (Universidad Nacional del Altiplano, Ed.) *Revista de Investigación Alto Andina*, 16(1), 05 - 08. Recuperado el 13 de Febrero de 2017, de <file:///C:/Users/pc/Downloads/28-45-1-SM.pdf>

Gil, J., Soto, A. M., Usma J. I., y Gutierrez O. D. (11 de Noviembre de 2012). Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. *Producción + Limpia*, 7(2), 52 - 73. Recuperado el 21 de Enero de 2018, de <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v7n2/v7n2a05.pdf>

INEI, Instituto Nacional de Estadística e Informática;. (22 de Noviembre de 2009). *PERÚ: Estimaciones y Proyecciones de Población por Sexo, según Departamento, Provincia y Distrito, 2000-2015. Boletín N° 18*. Instituto Nacional de Estadística e Informática, Dirección Técnica de Demografía e Indicadores Sociales. Lima:

Instituto Nacional de Estadística e Informática. Recuperado el 23 de Junio de 2016, de INEI Censos 2007: http://www.unfpa.org.pe/InfoEstadistica/2012/INEI_ESTIMAPROY/Libro18/libro.pdf

Le Caër, S. (28 de Febrero de 2011). Water Radiolysis: Influence of Oxide Surfaces on H₂ Production under Ionizing Radiation. (Institut Rayonnement Matière de Saclay, Ed.) *water OPEN ACCES*, 3, 235 - 253. doi:10.3390/w3010235

Lizárraga, B., Fiestas, C., Guerra, C., y Baustista, F. (2015). USO DE HACES ELECTRÓNICOS DE ALTA ENERGÍA PARA ESTERILIZAR LAS AGUAS NEGRAS MUNICIPALES DEL DISTRITO LUNAHUANÁ. (B. B. Lizárraga Zavaleta, C. J. Fiestas Urbina, F. Bautista Loyola, & C. E. Guerra Lazo, Edits.) *Revista de Investigación Científica "Big Bang Faustiniiano"*, 4(2, 3), 3-11, 16 - 23. Recuperado el 20 de Octubre de 2017, de [file:///C:/Users/pc/Downloads/204-588-1-PB%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/pc/Downloads/204-588-1-PB%20(1).pdf)

MEF, Ministerio de Economía y Finanzas. (18 de Diciembre de 2018b). *DECRETO SUPREMO N° 298 - 2018 - EF*. (EL PERUANO, Ed.) Recuperado el 20 de Diciembre de 2018, de Normas Legales: <https://busquedas.elperuano.pe/download/url/aprueban-valor-de-la-unidad-impositiva-tributaria-durante-el-decreto-supremo-n-298-2018-ef-1724274-1>

Moreno, J., Colín, A., Balcázar, M., y Tavera L. (Noviembre de 2002). Feasibility analysis of a sewage sludge treatment by an irradiation plant in Mexico. (R. I. Ambiental, Ed.) *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 18(4), 191-197. Recuperado el 05 de Noviembre de 2018, de https://www.researchgate.net/publication/26475204_Feasibility_analysis_of_a_sewage_sludge_treatment_by_an_irradiation_plant_in_Mexico

MVCS, Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (08 de Junio de 2006). REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES, NORMA OS. 090, Decreto Supremo 011-2006-Vivienda, PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, 5.9 TRATAMIENTO DE LODOS. (Editora Perú, Ed.) *Diario Oficial EL PERUANO*, págs. 30574 - 30575. Recuperado el 05 de Abril de 2016, de <http://www.munlima.gob.pe/images/descargas/gobierno-abierto/transparencia/mml/planeamiento-y-organizacion/normas-legales-tupa/01->

[Gerencia-de-Desarrollo-Urbano/Edificaciones/26.%20DS%2011-06-VIV%20Reglamento%20Nacional%20de%20Edificaciones.pdf](#)

- MVCS, Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2014). *PLAN NACIONAL DE INVERSIONES del Sector saneamiento para el periodo 2014-2021, Resolución Ministerial N° 336-2014-Vivienda*. Informe Técnico, Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, Grupo Agua: COSUDE, kfW, WSP-BM, BID, Lima. Recuperado el 20 de Noviembre de 2017, de http://www.gestoresdeaguasegura.org/wp-content/uploads/2015/04/plan_nacional_inversiones_saneamiento.pdf
- MVCS, Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (30 de Marzo de 2017a). Decreto Supremo que Aprueba la Política Nacional de Saneamiento, DECRETO SUPREMO N° 007-2017-Vivienda,. (Editora Perú, Ed.) *Diario Oficial EL PERUANO*, págs. 41 - 51. Recuperado el 10 de Marzo de 2018, de <http://www3.vivienda.gob.pe/direcciones/documentos/DS-007-2017-VIVIENDA.pdf>
- MVCS, Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (22 de Junio de 2017b). REGLAMENTO PARA EL REAPROVECHAMIENTO DE LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, Decreto Supremo N° 015-2017-Vivienda. (Editora Perú, Ed.) *Diario Oficial EL PERUANO*, págs. 32 -40. Recuperado el 10 de Marzo de 2018, de <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/per171733.pdf>
- MVCS, Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (25 de Junio de 2017c). PLAN NACIONAL DE SANEAMIENTO 2017- 2021, Decreto Supremo N° 018-2017-Vivienda. (Editora Perú, Ed.) *Diario Oficial EL PERUANO*, págs. 27 - 86. Recuperado el 10 de Marzo de 2018, de <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/07/DS-018-2017-VIVIENDA.pdf>
- MVCS, Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (06 de Abril de 2017d). CONDICIONES MÍNIMAS DE MANEJO DE LODOS Y LAS INSTALACIONES PARA SU DISPOSICIÓN FINAL, Resolución Ministerial N° 128-2017-Vivienda. (Editora Perú, Ed.) *Diario Oficial EL PERUANO*, págs. 35 - 42. Recuperado el 05 de Febrero de 2018, de <https://busquedas.elperuano.pe/download/url/aprueban->

condiciones-minimas-de-manejo-de-lodos-y-las-Insta-resolucion-ministerial-no-128-2017-vivienda-1506028-3

Oropeza, N. (2006). Lodos: Estabilización y Manejo. (Departamento de Ingeniería, & Universidad de Quintana Roo, Edits.) *Revista Caos Conciencia*, 1(1), 51-58. Recuperado el 03 de Agosto de 2018, de http://dci.uqroo.mx/RevistaCaos/2006_Vol_1/Num_1/NO_Vol_I_21-30_2006.pdf

Soto, C. A. (Noviembre de 2011). Las metodologías de evaluación de Proyectos de Inversión Pública (PIP). *Actualidad Gubernamental*, VI(37), 1 - 3. Recuperado el 28 de Diciembre de 2018, de http://aempresarial.com/servicios/revista/37_49_PLONJKDNNWRALSLKGHATCKPGWQOYCHNNVAXDKARYWJZIBLTHS.pdf

Swinwood J. F., Waite T. D., Kruger P., y Rao S. M. (1994). Tecnologías de las radiaciones para el tratamiento de desechos: Una perspectiva global. (Organismo Internacional de Energía Atómica, Ed.) *BOLETIN DEL OIEA*, 1, 12. Recuperado el 24 de Agosto de 2018, de https://www.iaea.org/sites/default/files/36102681115_es.pdf

Torres, E. (s.f.). REUTILIZACION DE AGUAS Y LODOS RESIDUALES. *REUTILIZACION DE AGUAS Y LODOS RESIDUALES*, 1 - 11. (E. Torres Carranza, Ed., & B. B. Lizárraga Zavaleta, Recopilador) Lima, Lima, Perú. Recuperado el 12 de Setiembre de 2016, de <http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/lodos.pdf>

Torres, P., Madera, C., y Silva, J. (Julio de 2009). MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA DE BIOSÓLIDOS GENERADOS EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS. (Escuela de Ingeniería de Antioquía, Ed.) *Revista EIA*(11), 21 - 37. Recuperado el 13 de Octubre de 2018, de <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n11/n11a03.pdf>

7.4 Fuentes electrónicas

Banco Mundial; Perú-Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (10 de Mayo de 2017). *TRATAMIENTO Y REÚSO DE LAS AGUAS RESIDUALES Perú, ¿un reflejo de la región?* (Banco Mundial, Ed.) Recuperado el 27 de Diciembre de 2018, de ¿Qué es lo que caracteriza la situación actual del tratamiento de las aguas

residuales?:

[http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/98E83F5DA8312DDF05258184006CA49F/\\$FILE/21.BookletConferenciaFINAL.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/98E83F5DA8312DDF05258184006CA49F/$FILE/21.BookletConferenciaFINAL.pdf)

BCR-Perú. (s.f.). *Glosario de Términos Económicos*. (BCR, Editor) Recuperado el 28 de Diciembre de 2018, de Banco Central de Reserva del Perú:

<http://www.bcrp.gob.pe/publicaciones/glosario/i.html>

BCR-Perú. (s.f.). *Glosario de Términos Económicos*. (BCR, Editor) Recuperado el 28 de Diciembre de 2018, de Banco Central de Reserva del Perú:

<http://www.bcrp.gob.pe/publicaciones/glosario/v.html>

Cámara Peruana de Comercio, C. (05 de Mayo de 2018). *SCRIBD*. Recuperado el 20 de Diciembre de 2018, de SCRIBD:

<https://es.scribd.com/document/268167618/EXPOSICION-CAPECO-pdf>

EB TECH CO., L. (25 de Julio de 2018). *EB WASTEWATER TREATMENT SYSTEM*. (L. EB TECH CO., Editor) Recuperado el 11 de Setiembre de 2018, de EB WASTEWATER TREATMENT SYSTEM: http://www.eb-tech.com/?page_id=557

Erikverdale. (1 de Diciembre de 2010). *DIFERENCIA ENTRE VIABILIDAD ECONÓMICA Y FINANCIERA*. (EMPRENDEDORES, Editor) Recuperado el 29 de Diciembre de 2018, de QUE ES LA VIABILIDAD ECONÓMICA?:

<https://todoparaempresarios.wordpress.com/2010/12/01/que-es-la-viabilidad-economica/>

Escherich, T. V. (1919). *Escherichia coli*. (WIKIPEDIA, Editor) Recuperado el 29 de Diciembre de 2018, de WIKIPEDIA LA ENCICLOPEDIA LIBRE:

https://es.wikipedia.org/wiki/Escherichia_coli

Esan. (24 de Enero de 2017). *El PRI: uno de los indicadores que mas llama la atención de los inversionistas*. (esan, Editor) Recuperado el 27 de Diciembre de 2018, de conexionesan: <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2017/01/el-pri-uno-de-los-indicadores-que-mas-llama-la-atencion-de-los-inversionistas/>

Esan, y conexion (28 de Junio de 2016). *Costos de inversión y de operación en la formulación de un proyecto*. (esan, Editor) Recuperado el 22 de Diciembre de 2018, de Apuntes empresariales / Gestión de Proyectos:

<https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2016/06/costos-de-inversion-y-de-operacion-en-la-formulacion-de-un-proyecto/>

FONDO NACIONAL EMPRENDEDOR. (s.f.). *Manual de Requisitos*. (FONDO NACIONAL EMPRENDEDOR, Editor, & Estados Unidos Mexicanos, Productor) Recuperado el 30 de Diciembre de 2018, de Programa de Emprendedores y Financiamiento:

<https://tutoriales.inadem.gob.mx/convocatorias/manuales/MANUAL%20DE%20R EQUISITOS%204.4.pdf>

International Atomic Energy Agency (IAEA). (21 de Enero de 2019). *Scientific Forum 2015: Radiation Technology Helps China's Industries Make Water Cleaner*.

Obtenido de Scientific Forum 2015: Radiation Technology Helps China's Industries Make Water Cleaner: <https://www.iaea.org/newscenter/news/scientific-forum-2015-radiation-technology-helps-china%E2%80%99s-industries-make-water-cleaner>

Iba Industrial & Sterilization Solutions. (23 de Julio de 2017). e-beam and x-ray sterilization: sustainable alternatives to radioactive and chemical sterilization. (iba industrial & sterilization solutions, Editor) Recuperado el 15 de Diciembre de 2017, de e-beam and x-ray sterilization: sustainable alternatives to radioactive and chemical sterilization: <http://www.iba-industrial.com/applications/sterilization#rhodotron-e-beam-sterilization>

Mevex Corporation. (08 de Mayo de 2017). *MEVEX*. (Mevex Corporation, Editor) Recuperado el 14 de Noviembre de 2017, de MEVEX: <http://mevex.com/products/10mev-system/>

Narvaiz, P. (05 de Diciembre de 2000). *Irradiación de Alimentos*. (C. A.-P. Argentina, Ed.) Recuperado el 03 de Diciembre de 2018, de nutrinfo: <https://www.um.es/lafem/Nutricion/DiscoLibro/07-Modificaciones/IrradiacionAlimentos.pdf>

ONU. (25 de Setiembre de 2015). *OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE*. (Organización de las Naciones Unidas, Editor, & Organización de las Naciones Unidas, Productor) Recuperado el 12 de Diciembre de 2018, de AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>

INEI, Instituto nacional de estadística e informática (2009). PERÚ: Estimaciones y Proyecciones de Población por Sexo, según. 335 - 351. Lima: Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI. Recuperado el 23 de Junio de 2017, de http://www.unfpa.org.pe/InfoEstadistica/2012/INEI_ESTIMAPROY/Libro18/libro.pdf

INEI. Instituto nacional de estadística e informática (11 de Julio de 2015). *Día Mundial de la Población 11 de Julio*. (Instituto Nacional de Estadística e Informática, Ed.) Recuperado el 23 de Noviembre de 2018, de Estado de la Población Peruana 2015: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1251/Libro.pdf

- INEI, Instituto nacional de estadística e informática (2018). *RESULTADOS DEFINITIVOS DE LOS CENSOS NACIONALES 2017 PUNO*. (Instituto Nacional de Estadística e Informática, Ed.) Recuperado el 5 de Enero de 2019, de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1563/libro.pdf
- MINAGRI, Ministerio de Agricultura y Riego. (30 de Enero de 2017). *Boletín Estadístico de Medios de Producción Agropecuario I Trimestre 2017*. (MINAGRI, Ed.) Recuperado el 15 de Enero de 2019, de Boletín Estadístico de Medios de Producción Agropecuario: <http://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/herramientas/boletines/prod-agropecuarios/2016/boletin-estad-medios-produccion-agropec-diciembre16.pdf>
- MEF, Ministerio de Economía y Finanzas. (23 de Enero de 2019). *ANEXO 11, PARÁMETROS DE EVALUACIÓN SOCIAL*. (MEF, Ed.) Recuperado el 02 de Marzo de 2019, de DIRECTIVA N° 001-2019-EF/63.01, Anexos y Formatos: https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/anexos/anexo11_directiva001_2019EF6301.pdf
- OEFA (2014). *FISCALIZACIÓN AMBIENTAL EN AGUAS RESIDUALES*. (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, & Ministerio del Ambiente, Edits.) Recuperado el 10 de Octubre de 2018, de https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
- Rickards, J. (26 de Junio de 2013). *LAS RADIACIONES: RETO Y REALIDADES*. (J. Rickards Campbell, Ed.) Recuperado el 10 de Noviembre de 2017, de V. ¿DE DONDE VIENE?: http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/08/htm/sec_9.html
- UNALM, Universidad Nacional Agraria la Molina. (20 de Abril de 2019). *Solución Hidropónica la Molina*. (Centro Invest. de Hidroponía y Nutrición Mineral, Editor, & UNALM, Productor) Recuperado el 20 de Diciembre de 2013, de Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral: http://www.lamolina.edu.pe/hidroponia/sol_presentacion.htm
- US Dept of State Geographer. (10 de Octubre de 2018). Google Earth Pro. *Google Earth Pro*. (US Dept of State Geographer, Ed.) U.S.A. Recuperado el 13 de Noviembre de 2018, de Dowload astro.com: https://google_earth.es.downloadastro.com/
- WIKIPEDIA. (22 de Mayo de 2012). *Costo Variable*. (WIKIPEDIA. La Encilopedia Libre, Editor) Obtenido de Costo Variable: https://es.wikipedia.org/wiki/Costo_variable



ANEXOS



ANEXO 1:

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO	PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL USO DE HACES ELECTRÓNICOS PARA DESINFECTAR LODOS EFLUENTES DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO AGUAS RESIDUALES DE PUNO	Problema general ¿Cuál es la viabilidad técnica y económica del uso de haces electrónicos para desinfectar lodos efluentes del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Puno?	Objetivo general Determinar la viabilidad técnica y económica del uso de haces electrónicos para desinfectar lodos efluentes del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Puno.	Hipótesis General <u>Hipótesis alterna.</u> Es viable técnica y económicamente el uso de haces electrónicos para desinfectar lodos efluentes del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Puno.	INDEPENDIENTE X ₁ : Material irradiado	<ul style="list-style-type: none"> • Caudal de lodos y líquidos de espesamiento y deshidratación de lodos. • Concentración de contaminantes microbiológicos. • Concentración de macronutrientes (NPK) y micronutrientes de cultivos vegetales. • Concentración de contaminantes químicos (metales pesados). • Potencia del haz de electrones. • Penetración del haz de electrones en lodos. • Eficiencia del sistema. • Precios de la tecnología requerida 	<ul style="list-style-type: none"> • m³/día, m³/año, L/s (lps) • NMP/g ST, NMP/10 g ST, NMP/mL, UFC/mL • mg/L, ppm (partes por millón) • mg/kg ST base seca, ppm (partes por millón) • kilo Watt (kW) • Centímetros (cm), milímetros (mm) • Potencia del haz de electrones/Potencia eléctrica consumida (%) • Dólares Americanos (U.S \$) • Disponibilidad de compra/venta en le
	Problemas específicos Problema específico 1 ¿Cuál es la viabilidad técnica del uso de haces electrónicos para desinfectar lodos efluentes del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Puno?	Objetivos específicos Objetivo específico 1 Determinar la viabilidad técnica del uso de haces electrónicos para desinfectar lodos efluentes del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Puno.	Hipótesis nula. No es viable técnica y económicamente el uso de haces electrónicos para desinfectar lodos efluentes del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Puno	INDEPENDIENTE Y ₁ : Tecnología de irradiación requerida		
	Problema específico 2 ¿Cuál es la viabilidad económica del uso de haces electrónicos para desinfectar lodos efluentes del sistema de tratamiento de	Objetivo específico 2 Determinar la viabilidad económica	Hipótesis específicas Hipótesis específica 1 <u>Hipótesis alterna 1</u> Es viable técnicamente el uso	DEPENDIENTE V ₁ : Viabilidad técnica		

aguas residuales de la ciudad de Puno?

del uso de haces electrónicos para desinfectar lodos efluentes del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Puno

de haces electrónicos para desinfectar lodos efluentes del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Puno.

Hipótesis nula 1

No es viable técnicamente el uso de haces electrónicos para desinfectar lodos efluentes del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Puno.

Hipótesis específica 2

Es viable económicamente el uso de haces electrónicos para desinfectar lodos efluentes del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Puno.

Hipótesis nula 2

No es viable económicamente el uso de haces electrónicos para desinfectar lodos efluentes del sistema de tratamiento de

INDEPENDIENTE X₂: Inversión Inicial Total

- Tamaño, modelo y tipo de tecnología
- Razón de la inversión inicial a la potencia del irradiador de electrones.

- Estudios de pre inversión y estudios definitivos.

- Equipamiento principal

- Equipamiento auxiliar

- Infraestructura (obras civiles).

mercado internacional.

- Dólares/kilo Watt (U.S \$ /kW)

- S/ (soles). - Costo de servicios de consultoría para elaborar Ficha técnica o Perfil, y expediente técnico.

- U.S \$ (dólares americanos). - Costo del irradiador de electrones, faja transportadora, bunker, equipos de laboratorio de dosimetría y soporte tecnológico.

- U.S \$ (dólares americanos). - Costo de equipos de laboratorio de análisis químico y análisis microbiológico.

- S/ (Soles). - Costo de equipos auxiliares de proceso (bombas,

aguas residuales de la ciudad de Puno.

- Servicios especializados.

- Capital de trabajo

INDEPENDIENTE

Y₂: Costos operativos anuales totales de la planta de irradiación en el horizonte del proyecto

- Costos operativos anuales fijos.

- Costos operativos anuales variables.

- Costo operativo total unitario.

INDEPENDIENTE
Z₂: Ingresos Brutos anuales en el horizonte del proyecto

- Ingresos monetarios anuales por comercialización de biosólidos y

agitadores, tuberías, montacargas).

- **S/ (Soles).** – Adquisición de terreno y edificaciones para planta de irradiación.

- **S/ (Soles).** – Costo de licencia IPEN, puesta en marcha de la planta de irradiación, capacitación de operadores.

- **S/ (Soles).** – Sueldo de personal laboral, combustible para volquete y montacargas, servicios básicos

- **S/ (Soles).** - Amortización del crédito bancario, costos laborales, depreciación del sistema.

- **S/ (Soles).** –Costos de mantenimiento, energía eléctrica, agua potable y arbitrios municipales.

DEPENDIENTE



V₂: Viabilidad Económica

bioabono líquido producidos.

- Valor actualizado de los beneficios anuales brutos.
- Valor actualizado de los costos totales.
- Tasa de Interés Interna de retorno
- Razón Beneficio anual actualizado a Costo total anual actualizado
- Periodo de Recuperación de la Inversión
- Razón Costo Efectividad /

• **S/ /m³** (Soles por metro cúbico). – Razón de la suma de costos operativos fijos y variables al volumen anual de lodos producidos en el horizonte del proyecto.

• **S/ /año** (Soles por año). – Cuantía de ventas de biosólidos y bioabono líquido.

• **VAN** (Valor Actual Neto): S/

• **TIR** (Tasa Interna de Retorno): %

• **(B/C)_{convencional}**

• **(B/C)_{modificada}**

• **PRI**. – Tiempo en años y meses.

• **C/E**: S/ /persona

Nota: Elaboración propia

ANEXO 2:

Población urbana distrital de Puno a ser atendida por la PTAR Espinar-Puno.

Según RESULTADOS DEFINITIVOS DE LOS CENSOS NACIONALES 2017 - PUNO (INEI, 2018, pág. 71): En el año 2017, la población urbana distrital de Puno fue de **129 922 habitantes**.

Para determinar la población urbana distrital de Puno, actual y futura que será atendida, por la PTAR Espinar-Puno, se consideró como base, la población urbana distrital del año 2017 y la tasa de crecimiento poblacional de la ciudad de Puno igual a 1.53% (INEI, Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2015, pág. 9).

Usando la ecuación:
$$P_n = P_{2017} \left(1 + \frac{T_c(\%)}{100} \right)^n$$

Dónde: P_n = Población en el año “n”

n = # años transcurridos a partir del año 2017 (año 0)

T_c = Tasa de crecimiento poblacional urbana distrital de Puno = 1.53%

P_{2017} = 129 922 habitantes

Ejemplo:

En el año 2019 ($n=2$), la población urbana distrital de Puno será:

$$P_2 = 129\,922 \left(1 + \frac{1.53}{100} \right)^2 = 133\,928 \text{ habitantes}$$

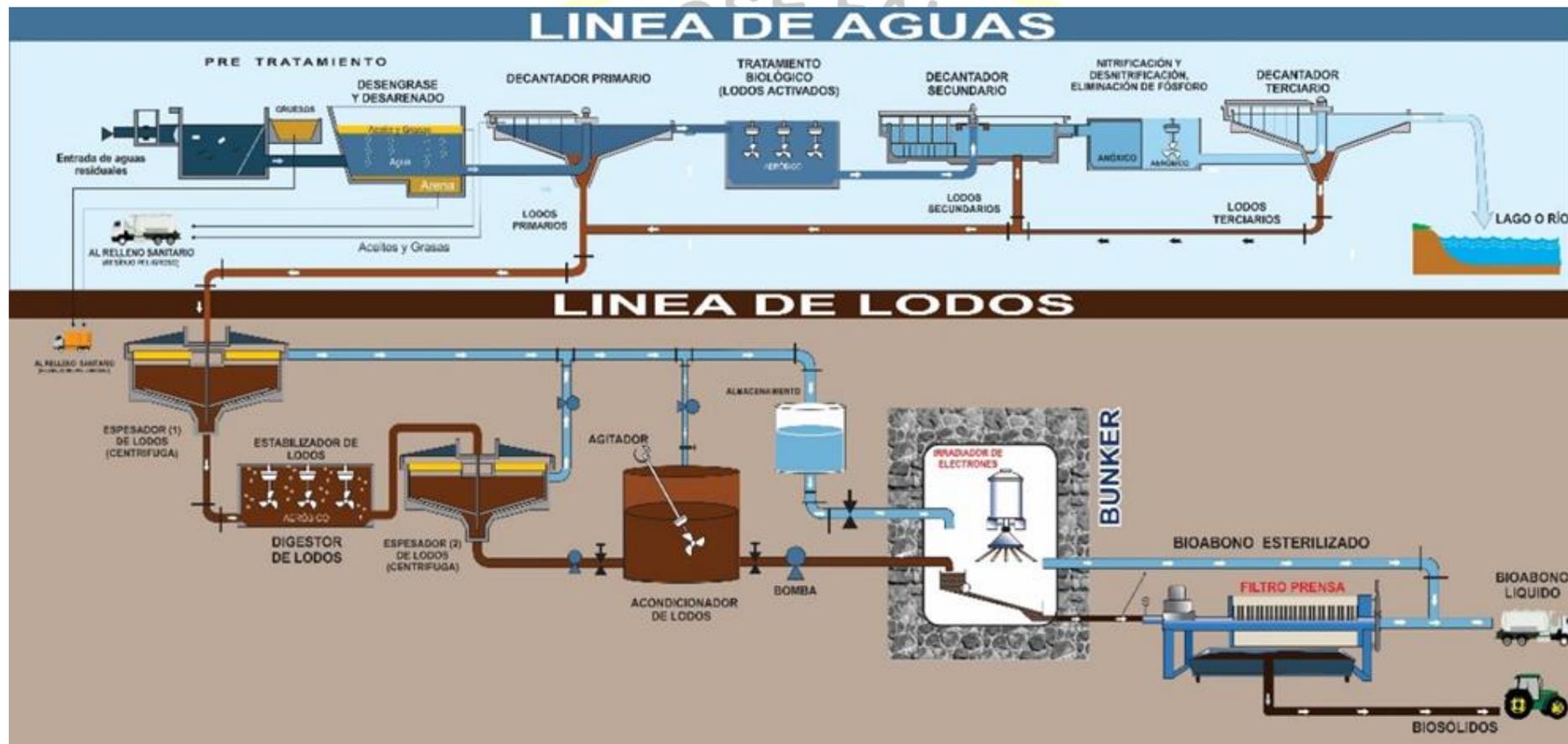
En el año 2049 ($n=32$), la población urbana distrital de Puno será:

$$P_{32} = 129\,922 \left(1 + \frac{1.53}{100} \right)^{32} = 211\,204 \text{ habitantes}$$

De esta forma se calculó la población de los años 2019, 2020, 2021, ..., y 2049 (ver tabla 23).

ANEXO 3:

PROPUESTA DE OPERACIONES Y PROCESOS EN LA LÍNEA DE LODOS EFLUENTES DE LA PTAR ESPINAR-PUNO



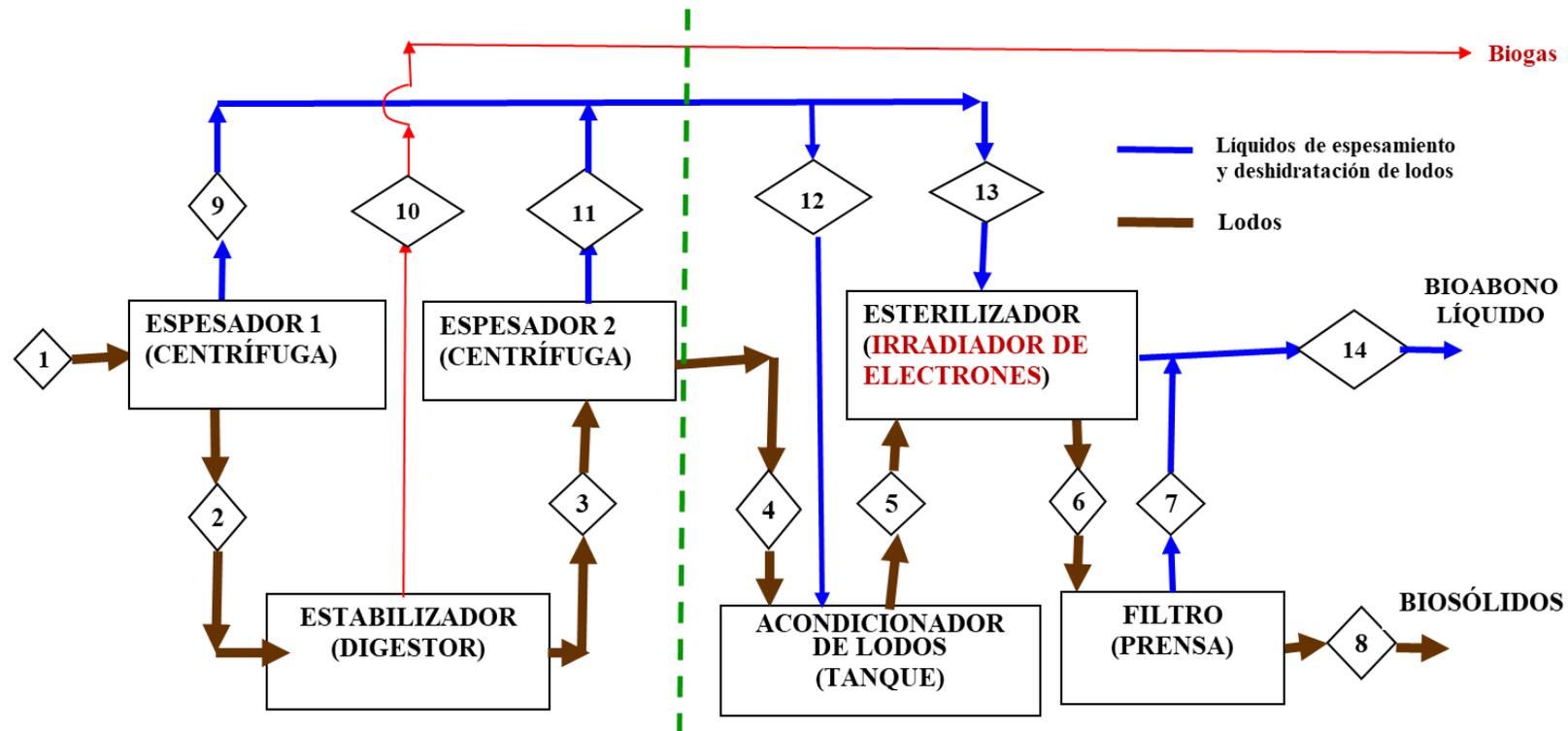
Nota: Elaboración propia / adaptado de (Ayuntamiento Zaragoza, 2012) citado en (Mantilla, 2016, pág. 11)

ANEXO 4: Flujo de lodos no digeridos (efluentes de línea de aguas), y flujo de sólidos suspendidos secos.

Año	N° Habitantes	Flujo volumétrico de agua residual generada			Flujo volumétrico de LODOS NO DIGERIDOS			Flujo másico de LODOS NO DIGERIDOS (1.2% SS secos)			SÓLIDOS SUSPENDIDOS SECOS EN LODOS NO DIGERIDOS			SÓLIDOS SUSPENDIDOS SECOS EN LODOS DIGERIDOS		
		(L/s)	(m ³ /día)	(m ³ /año)	(L/s)	(m ³ /día)	(m ³ /año)	(kg/s)	(TM/día)	(TM/año)	(kg/s)	(TM/día)	(TM/año)	(kg/s)	(TM/día)	(TM/año)
2017	129,922	217	18,708.8	6,833,231.5	8.50	734.1	268,109.4	8.53	737.38	269,321.4	0.102	8.80	3,212.6	0.066	5.72	2,087.93
2018	131,910	220	18,995.0	6,937,780.0	8.63	745.3	272,211.5	8.67	748.66	273,442.0	0.103	8.93	3,261.7	0.067	5.80	2,119.88
0 2019	133,928	223	19,285.6	7,043,928.0	8.76	756.7	276,376.3	8.80	760.11	277,625.7	0.105	9.07	3,311.6	0.068	5.89	2,152.31
1 2020	135,977	227	19,580.7	7,151,700.1	8.89	768.3	280,604.9	8.93	771.74	281,873.3	0.107	9.21	3,362.3	0.069	5.98	2,185.24
2 2021	138,058	230	19,880.3	7,261,121.1	9.03	780.0	284,898.2	9.07	783.55	286,186.0	0.108	9.35	3,413.7	0.070	6.07	2,218.68
3 2022	140,170	234	20,184.5	7,372,216.3	9.17	792.0	289,257.1	9.21	795.54	290,564.6	0.110	9.49	3,466.0	0.071	6.17	2,252.62
4 2023	142,314	237	20,493.3	7,485,011.2	9.31	804.1	293,682.7	9.35	807.71	295,010.3	0.112	9.63	3,519.0	0.072	6.26	2,287.09
5 2024	144,492	241	20,806.8	7,599,531.9	9.45	816.4	298,176.1	9.49	820.07	299,523.9	0.113	9.78	3,572.8	0.074	6.36	2,322.08
6 2025	146,703	245	21,125.2	7,715,804.7	9.59	828.9	302,738.2	9.64	832.62	304,106.7	0.115	9.93	3,627.5	0.075	6.45	2,357.61
7 2026	148,947	248	21,448.4	7,833,856.5	9.74	841.6	307,370.1	9.78	845.36	308,759.5	0.117	10.08	3,683.0	0.076	6.55	2,393.68
8 2027	151,226	252	21,776.5	7,953,714.5	9.89	854.4	312,072.8	9.93	858.29	313,483.5	0.118	10.24	3,739.4	0.077	6.65	2,430.30
9 2028	153,540	256	22,109.7	8,075,406.4	10.04	867.5	316,847.5	10.09	871.42	318,279.8	0.120	10.39	3,796.6	0.078	6.76	2,467.49
10 2029	155,889	260	22,448.0	8,198,960.1	10.19	880.8	321,695.3	10.24	884.75	323,149.5	0.122	10.55	3,854.6	0.079	6.86	2,505.24
11 2030	158,274	264	22,791.5	8,324,404.2	10.35	894.2	326,617.2	10.40	898.29	328,093.7	0.124	10.72	3,913.6	0.081	6.96	2,543.57
12 2031	160,696	268	23,140.2	8,451,767.5	10.51	907.9	331,614.5	10.56	912.03	333,113.5	0.126	10.88	3,973.5	0.082	7.07	2,582.48
13 2032	163,154	272	23,494.2	8,581,079.6	10.67	921.8	336,688.2	10.72	925.99	338,210.1	0.128	11.05	4,034.3	0.083	7.18	2,622.00
14 2033	165,651	276	23,853.7	8,712,370.1	10.83	935.9	341,839.5	10.88	940.16	343,384.8	0.130	11.21	4,096.0	0.084	7.29	2,662.11
15 2034	168,185	280	24,218.6	8,845,669.4	11.00	950.2	347,069.7	11.05	954.54	348,638.5	0.132	11.39	4,158.7	0.086	7.40	2,702.84
16 2035	170,758	285	24,589.2	8,981,008.1	11.17	964.8	352,379.8	11.22	969.15	353,972.7	0.134	11.56	4,222.3	0.087	7.51	2,744.20
17 2036	173,371	289	24,965.4	9,118,417.5	11.34	979.5	357,771.2	11.39	983.97	359,388.5	0.136	11.74	4,286.9	0.088	7.63	2,786.18
18 2037	176,023	293	25,347.4	9,257,929.3	11.51	994.5	363,245.1	11.56	999.03	364,887.1	0.138	11.92	4,352.5	0.090	7.75	2,828.81
19 2038	178,717	298	25,735.2	9,399,575.6	11.69	1,009.7	368,802.8	11.74	1,014.31	370,469.9	0.140	12.10	4,419.1	0.091	7.86	2,872.09
20 2039	181,451	302	26,128.9	9,543,389.1	11.87	1,025.2	374,445.5	11.92	1,029.83	376,138.1	0.142	12.28	4,486.7	0.092	7.98	2,916.04
21 2040	184,227	307	26,528.7	9,689,403.0	12.05	1,040.9	380,174.5	12.10	1,045.59	381,893.0	0.144	12.47	4,555.4	0.094	8.11	2,960.65
22 2041	187,046	312	26,934.6	9,837,650.9	12.23	1,056.8	385,991.2	12.29	1,061.59	387,736.0	0.147	12.66	4,625.1	0.095	8.23	3,005.95
23 2042	189,908	317	27,346.7	9,988,166.9	12.42	1,073.0	391,896.8	12.47	1,077.83	393,668.3	0.149	12.86	4,695.8	0.097	8.36	3,051.94
24 2043	192,813	321	27,765.1	10,140,985.9	12.61	1,089.4	397,892.8	12.67	1,094.32	399,691.5	0.151	13.05	4,767.7	0.098	8.48	3,098.63
25 2044	195,763	326	28,189.9	10,296,143.0	12.80	1,106.1	403,980.6	12.86	1,111.06	405,806.7	0.153	13.25	4,840.6	0.100	8.61	3,146.04
26 2045	198,758	331	28,621.2	10,453,674.0	13.00	1,123.0	410,161.5	13.06	1,128.06	412,015.6	0.156	13.46	4,914.7	0.101	8.75	3,194.18
27 2046	201,799	336	29,059.1	10,613,615.2	13.20	1,140.2	416,437.0	13.26	1,145.32	418,319.4	0.158	13.66	4,989.9	0.103	8.88	3,243.05
28 2047	204,887	341	29,503.7	10,776,003.5	13.40	1,157.6	422,808.5	13.46	1,162.84	424,719.7	0.161	13.87	5,066.2	0.104	9.02	3,292.67
29 2048	208,022	347	29,955.1	10,940,876.3	13.60	1,175.3	429,277.4	13.66	1,180.64	431,217.9	0.163	14.08	5,143.7	0.106	9.15	3,343.05
30 2049	211,204	352	30,413.4	11,108,271.7	13.81	1,193.3	435,845.4	13.87	1,198.70	437,815.6	0.165	14.30	5,222.4	0.108	9.29	3,394.19

Nota: Elaboración propia. Estimaciones fundamentadas según Andreoli *et al.* (2007, pág. 5).

ANEXO 5: DIAGRAMA DE FLUJO DE TRATAMIENTO DE LODOS, Y BALANCE DE MATERIALES



Legenda:

C-1: Corriente 1 (lodos efluentes de línea de aguas, e ingresantes a la línea de lodos), **C-2:** Corriente 2, **C-3:** Corriente 3, ..., **C-8:** Corriente 8 (**Biosólidos**), **C-14:** Corriente 14 (**Bioabono líquido**). Los materiales que fluyen por la Corriente 5 (**C-5**), y la Corriente 13 (**C-13**) viene a ser los materiales a irradiar. Se considera el proceso en estado estacionario. Nuestra propuesta adicional del proceso de desinfección, inicia a la derecha de la línea punteada de verde; el proceso a la izquierda de la línea punteada de verde corresponde a **Consorcio Fypasa** Construcciones y Operadora de Ecosistemas.

Nota: Elaboración propia.

(BALANCE DE MATERIALES - Año 2019)														
	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	C-9	C-10	C-11	C-12	C-13	C-14
Flujo volumétrico <Qv> (m ³ /año):	276,376.30	46,064.82	45,342.19	7,164.12	7,471.22	7,471.22	2,126.53	5,342.24	230,087.04	927,432.00	38,139.62	306.29	267,920.37	270,046.91
Flujo másico <m> (TM/año):	277,625.70	47,308.57	46,149.28	7,971.52	8,278.12	8,278.12	2,128.66	6,149.46	230,317.13	1,159.29	38,177.76	306.60	268,188.29	270,316.95
Fracción de Sólidos Suspendidos secos (%):	1.20	7.00	4.66	27.00	26.00	26.00	0.00	35.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Densidad ρ (kg/m ³):	1,004.52	1,027.0	1,017.8	1,112.7	1,108.0	1,108.0	1,001.0	1,151.1	1,001.0	1.25	1,001.0	1,001.0	1,001.0	1,001.0
Sólidos Suspendidos Secos en lodos <m> (TM SS/año):	3,311.60	3,311.60	2,152.31	2,152.31	2,152.31	2,152.31	0.00	2,152.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
(Flujo de Agua + Sólidos disueltos) <m> (TM H ₂ O/año):	274,314.10	43,996.97	43,996.97	5,819.21	6,125.81	6,125.81	2,128.66	3,997.15	230,317.13	0.00	38,177.76	306.60	268,188.29	270,317.0
Flujo másico de Biogas <m> (TM/año):	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,159.29	0	0	0	0

(BALANCE DE MATERIALES - Año 2020)														
	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	C-9	C-10	C-11	C-12	C-13	C-14
Flujo volumétrico <Qv> (m ³ /año):	280,604.90	46,770.07	46,035.91	7,273.73	7,585.53	7,585.53	2,159.07	5,423.98	233,606.84	941,648.00	38,723.15	310.98	272,019.01	274,178.08
Flujo másico <m> (TM/año):	281,873.30	48,032.86	46,855.35	8,093.48	8,404.77	8,404.77	2,161.23	6,243.54	233,840.44	1,177.06	38,761.87	311.29	272,291.03	274,452.25
Fracción de Sólidos Suspendidos secos (%):	1.20	7.00	4.66	27.00	26.00	26.00	0.00	35.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Densidad ρ (kg/m ³):	1,004.5	1,027.0	1,017.8	1,112.7	1,108.0	1,108.0	1,001.0	1,151.1	1,001.0	1.25	1,001.0	1,001.0	1,001.0	1,001.0
Sólidos Suspendidos en lodos <m> (TM SS/año):	3,362.30	3,362.30	2,185.24	2,185.24	2,185.24	2,185.24	0.00	2,185.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
(Flujo de Agua + Sólidos disueltos) <m> (TM H ₂ O/año):	278,511.00	44,670.56	44,670.11	5,908.24	6,219.53	6,219.53	2,161.23	4,058.30	233,840.44	0.00	38,761.87	311.29	272,291.03	274,452.25
Flujo másico de Biogas <m> (TM/año):	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,177.06	0	0	0	0

(BALANCE DE MATERIALES - Año 2021)														
	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	C-9	C-10	C-11	C-12	C-13	C-14
Flujo volumétrico <Qv> (m ³ /año):	284,898.20	47,485.05	46,740.39	7,385.04	7,701.61	7,701.61	2,192.11	5,506.98	237,181.68	956,016.00	39,315.72	315.74	276,181.66	278,373.76
Flujo másico <m> (TM/año):	286,186.00	48,767.14	47,572.37	8,217.33	8,533.38	8,533.38	2,194.30	6,339.09	237,418.86	1,195.02	39,355.03	316.05	276,457.84	278,652.14
Fracción de Sólidos Suspendidos secos (%):	1.20	7.00	4.66	27.00	26.00	26.00	0.00	35.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Densidad ρ (kg/m ³):	1,004.5	1,027.0	1,017.8	1,112.7	1,108.0	1,108.0	1,001.0	1,151.1	1,001.0	1.25	1,001.0	1,001.0	1,001.0	1,001.0
Sólidos Suspendidos en lodos <m> (TM SS/año):	3,413.70	3,413.70	2,218.68	2,218.68	2,218.68	2,218.68	0.00	2,218.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
(Flujo de Agua + Sólidos disueltos) <m> (TM H ₂ O/año):	282,772.30	45,353.44	45,353.69	5,998.65	6,314.70	6,314.70	2,194.30	4,120.41	237,418.86	0.00	39,355.03	316.05	276,457.84	278,652.14
Flujo másico de Biogas <m> (TM/año):	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,195.02	0	0	0	0

(BALANCE DE MATERIALES - Año 2022)															
	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	C-9	C-10	C-11	C-12	C-13	C-14	
Flujo volumétrico <Qv> (m ³ /año):	289,257.10	48,212.55	47,455.39	7,498.01	7,819.43	7,819.43	2,225.64	5,591.22	240,809.50	970,704.00	39,917.14	320.57	280,406.08	282,631.72	
Flujo másico <m> (TM/año):	290,564.60	49,514.29	48,300.10	8,343.04	8,663.92	8,663.92	2,227.87	6,436.06	241,050.31	1,213.38	39,957.06	320.89	280,686.49	282,914.36	
Fracción de Sólidos Suspendidos secos (%):	1.20	7.00	4.66	27.00	26.00	26.00	0.00	35.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Densidad ρ (kg/m ³):	1,004.5	1,027.0	1,017.8	1,112.7	1,108.0	1,108.0	1,001.0	1,151.1	1,001.0	1.25	1,001.0	1,001.0	1,001.0	1,001.0	
Sólidos Suspendidos en lodos <m> (TM SS/año):	3,466.00	3,466.00	2,252.62	2,252.62	2,252.62	2,252.62	0.00	2,252.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
(Flujo de Agua + Sólidos disueltos) <m> (TM H ₂ O/año):	287,098.60	46,048.29	46,047.48	6,090.42	6,411.30	6,411.30	2,227.87	4,183.44	241,050.31	0.00	39,957.06	320.89	280,686.49	282,914.36	
Flujo másico de Biogas <m> (TM/año):	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,213.38	0	0	0	0	

(BALANCE DE MATERIALES - Año 2023)															
	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	C-9	C-10	C-11	C-12	C-13	C-14	
Flujo volumétrico <Qv> (m ³ /año):	293,682.70	48,949.78	48,181.56	7,612.75	7,939.08	7,939.08	2,259.70	5,676.78	244,494.38	985,528.00	40,527.96	325.47	284,696.87	286,956.57	
Flujo másico <m> (TM/año):	295,010.30	50,271.43	49,039.20	8,470.70	8,796.50	8,796.50	2,261.96	6,534.54	244,738.87	1,231.91	40,568.49	325.80	284,981.57	287,243.52	
Fracción de Sólidos Suspendidos secos (%):	1.20	7.00	4.66	27.00	26.00	26.00	0.00	35.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Densidad ρ (kg/m ³):	1,004.5	1,027.0	1,017.8	1,112.7	1,108.0	1,108.0	1,001.0	1,151.1	1,001.0	1.25	1,001.0	1,001.0	1,001.0	1,001.0	
Sólidos Suspendidos en lodos <m> (TM SS/año):	3,519.00	3,519.00	2,287.09	2,287.09	2,287.09	2,287.09	0.00	2,287.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
(Flujo de Agua + Sólidos disueltos) <m> (TM H ₂ O/año):	291,491.30	46,752.43	46,752.11	6,183.61	6,509.41	6,509.41	2,261.96	4,247.45	244,738.87	0.00	40,568.49	325.80	284,981.57	287,243.52	
Flujo másico de Biogas <m> (TM/año):	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,231.91	0	0	0	0	

(BALANCE DE MATERIALES - Año 2024)															
	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	C-9	C-10	C-11	C-12	C-13	C-14	
Flujo volumétrico <Qv> (m ³ /año):	298,176.10	49,698.15	48,918.69	7,729.21	8,060.54	8,060.54	2,294.27	5,763.63	248,235.66	1,000,576.00	41,148.00	330.45	289,053.21	291,347.48	
Flujo másico <m> (TM/año):	299,523.90	51,040.00	49,789.44	8,600.30	8,931.08	8,931.08	2,296.56	6,634.51	248,483.90	1,250.72	41,189.15	330.78	289,342.27	291,638.83	
Fracción de Sólidos Suspendidos secos (%):	1.20	7.00	4.66	27.00	26.00	26.00	0.00	35.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Densidad ρ (kg/m ³):	1,004.5	1,027.0	1,017.8	1,112.7	1,108.0	1,108.0	1,001.0	1,151.1	1,001.0	1.25	1,001.0	1,001.0	1,001.0	1,001.0	
Sólidos Suspendidos en lodos <m> (TM SS/año):	3,572.80	3,572.80	2,322.08	2,322.08	2,322.08	2,322.08	0.00	2,322.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
(Flujo de Agua + Sólidos disueltos) <m> (TM H ₂ O/año):	295,951.10	47,467.20	47,467.36	6,278.22	6,609.00	6,609.00	2,296.56	4,312.43	248,483.90	0.00	41,189.15	330.78	289,342.27	291,638.83	
Flujo másico de Biogas <m> (TM/año):	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,250.72	0	0	0	0	

(BALANCE DE MATERIALES - Año 2025)															
	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	C-9	C-10	C-11	C-12	C-13	C-14	
Flujo volumétrico <Qv> (m ³ /año):	302,738.20	50,459.03	49,667.19	7,847.48	8,183.87	8,183.87		5,851.82	252,033.24	1,015,912.00	41,777.60	335.51	293,475.33	295,804.71	
Flujo másico <m> (TM/año):	304,106.70	51,821.43	50,551.27	8,731.89	9,067.73	9,067.73		6,736.03	252,285.27	1,269.89	41,819.38	335.84	293,768.81	296,100.51	
Fracción en peso de Sólidos Suspendidos secos (%):	1.20	7.00	4.66	27.00	26.00	26.00	0.00	35.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Densidad ρ (kg/m ³):	1,004.5	1,027.0	1,017.8	1,112.7	1,108.0	1,108.0	1,001.0	1,151.1	1,001.0	1.25	1,001.0	1,001.0	1,001.0	1,001.0	
Sólidos Suspendidos en lodos <m> (TM SS/año):	3,627.50	3,627.50	2,357.61	2,357.61	2,357.61	2,357.61	0.00	2,357.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
(Flujo de Agua + Sólidos disueltos) <m> (TM H ₂ O/año):	300,479.20	48,193.93	48,193.66	6,374.28	6,710.12	6,710.12	2,331.70	4,378.42	252,285.27	0.00	41,819.38	335.84	293,768.81	296,100.51	
Flujo másico de Biogas <m> (TM/año):	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,269.89	0	0	0	0	

(BALANCE DE MATERIALES - Año 2026)															
	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	C-9	C-10	C-11	C-12	C-13	C-14	
Flujo volumétrico <Qv> (m ³ /año):	307,370.10	51,231.05	50,427.07	7,967.54	8,309.08	8,309.08	2,365.01	5,941.35	255,889.32	1,031,456.00	42,416.77	340.64	297,965.46	300,330.47	
Flujo másico <m> (TM/año):	308,759.50	52,614.29	51,324.67	8,865.48	9,206.46	9,206.46	2,367.38	6,839.09	256,145.21	1,289.32	42,459.19	340.98	298,263.42	300,630.80	
Fracción en peso de Sólidos Suspendidos secos (%):	1.20	7.00	4.66	27.00	26.00	26.00	0.00	35.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Densidad ρ (kg/m ³):	1,004.5	1,027.0	1,017.8	1,112.7	1,108.0	1,108.0	1,001.0	1,151.1	1,001.0	1.25	1,001.0	1,001.0	1,001.0	1,001.0	
Sólidos Suspendidos en lodos <m> (TM SS/año):	3,683.00	3,683.00	2,393.68	2,393.68	2,393.68	2,393.68	0.00	2,393.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
(Flujo de Agua + Sólidos disueltos) <m> (TM H ₂ O/año):	305,076.50	48,931.29	48,930.99	6,471.80	6,812.78	6,812.78	2,367.38	4,445.41	256,145.21	0.00	42,459.19	340.98	298,263.42	300,630.80	
Flujo másico de Biogas <m> (TM/año):	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,289.32	0	0	0	0	

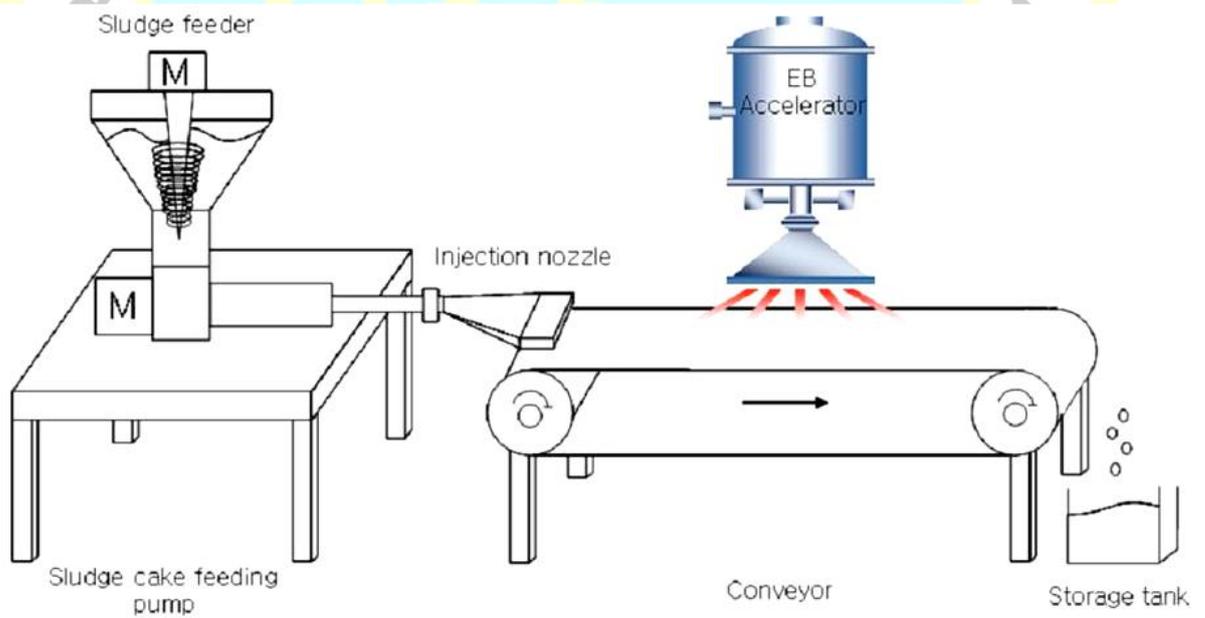
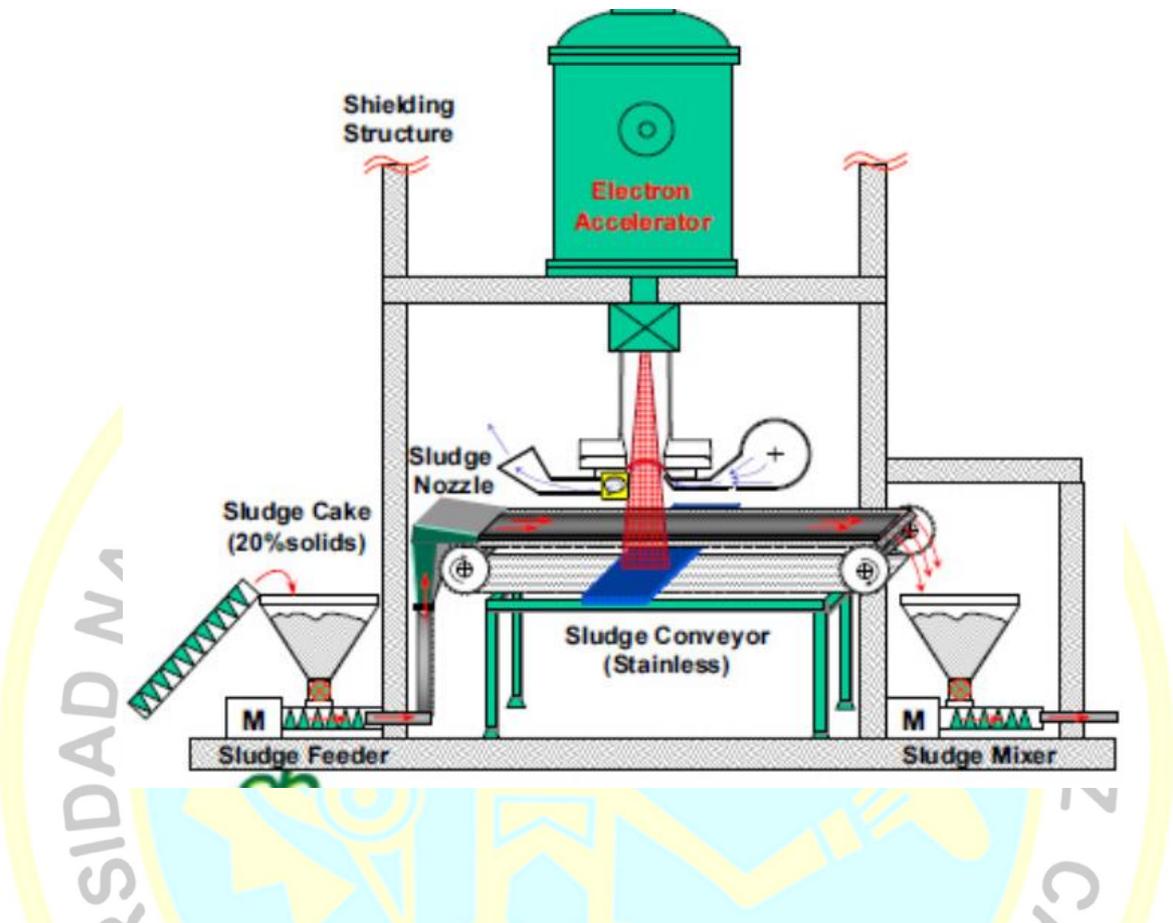
(BALANCE DE MATERIALES - Año 2027)															
	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	C-9	C-10	C-11	C-12	C-13	C-14	
Flujo volumétrico <Qv> (m ³ /año):	312,072.80	52,015.58	51,198.53	8,089.43	8,436.20	8,436.20	2,401.19	6,032.24	259,803.70	1,047,280.00	43,065.69	345.85	302,523.54	304,924.73	
Flujo másico <m> (TM/año):	313,483.50	53,420.00	52,109.87	9,001.11	9,347.31	9,347.31	2,403.59	6,943.71	260,063.50	1,309.10	43,108.76	346.20	302,826.06	305,229.65	
Fracción en peso de Sólidos Suspendidos secos (%):	1.20	7.00	4.66	27.00	26.00	26.00	0.00	35.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Densidad ρ (kg/m ³):	1,004.5	1,027.0	1,017.8	1,112.7	1,108.0	1,108.0	1,001.0	1,151.1	1,001.0	1.25	1,001.0	1,001.0	1,001.0	1,001.0	
Sólidos Suspendidos en lodos <m> (TM SS/año):	3,739.40	3,739.40	2,430.30	2,430.30	2,430.30	2,430.30	0.00	2,430.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
(Flujo de Agua + Sólidos disueltos) <m> (TM H ₂ O/año):	309,744.10	49,680.60	49,679.57	6,570.81	6,917.01	6,917.01	2,403.59	4,513.41	260,063.50	0.00	43,108.76	346.20	302,826.06	305,229.65	
Flujo másico de Biogas <m> (TM/año):	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,309.10	0	0	0	0	

(BALANCE DE MATERIALES - Año 2047)															
	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	C-9	C-10	C-11	C-12	C-13	C-14	
Flujo volumétrico <Qv> (m ³ /año):	422,808.50	70,471.55	69,365.87	10,959.89	11,429.71	11,429.71	3,253.23	8,172.73	351,993.42	1,418,824.00	58,347.33	468.57	409,872.18	413,125.42	
Flujo másico <m> (TM/año):	424,719.70	72,374.29	70,600.58	12,195.07	12,664.12	12,664.12	3,256.49	9,407.63	352,345.41	1,773.53	58,405.68	469.04	410,282.05	413,538.54	
Fracción en peso de Sólidos Suspendedos secos (%):	1.20	7.00	4.66	27.00	26.00	26.00	0.00	35.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Densidad ρ (kg/m ³):	1,004.5	1,027.0	1,017.8	1,112.7	1,108.0	1,108.0	1,001.0	1,151.1	1,001.0	1.25	1,001.0	1,001.0	1,001.0	1,001.0	
Sólidos Suspendedos en lodos <m> (TM SS/año):	5,066.20	5,066.20	3,292.67	3,292.67	3,292.67	3,292.67	0.00	3,292.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
(Flujo de Agua + Sólidos disueltos) <m> (TM H ₂ O/año):	419,653.50	67,308.09	67,308.09	8,902.40	9,371.45	9,371.45	3,256.49	6,114.96	352,345.41	0.00	58,405.68	469.04	410,282.05	413,538.54	
Flujo másico de Biogas <m> (TM/año):	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,773.53	0	0	0	0	

(BALANCE DE MATERIALES - Año 2048)															
	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	C-9	C-10	C-11	C-12	C-13	C-14	
Flujo volumétrico <Qv> (m ³ /año):	429,277.40	71,549.59	70,427.21	11,127.59	11,604.59	11,604.59	3,303.01	8,297.78	357,379.09	1,440,520.00	59,239.87	475.74	416,143.22	419,446.23	
Flujo másico <m> (TM/año):	431,217.90	73,481.43	71,680.82	12,381.67	12,857.88	12,857.88	3,306.31	9,551.57	357,736.47	1,800.65	59,299.11	476.22	416,559.37	419,865.68	
Fracción en peso de Sólidos Suspendedos secos (%):	1.20	7.00	4.66	27.00	26.00	26.00	0.00	35.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Densidad ρ (kg/m ³):	1,004.5	1,027.0	1,017.8	1,112.7	1,108.0	1,108.0	1,001.0	1,151.1	1,001.0	1.25	1,001.0	1,001.0	1,001.0	1,001.0	
Sólidos Suspendedos en lodos <m> (TM SS/año):	5,143.70	5,143.70	3,343.05	3,343.05	3,343.05	3,343.05	0.00	3,343.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
(Flujo de Agua + Sólidos disueltos) <m> (TM H ₂ O/año):	426,074.20	68,337.73	68,337.73	9,038.62	9,514.83	9,514.83	3,306.31	6,208.52	357,736.47	0.00	59,299.11	476.22	416,559.37	419,865.68	
Flujo másico de Biogas <m> (TM/año):	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,800.65	0	0	0	0	

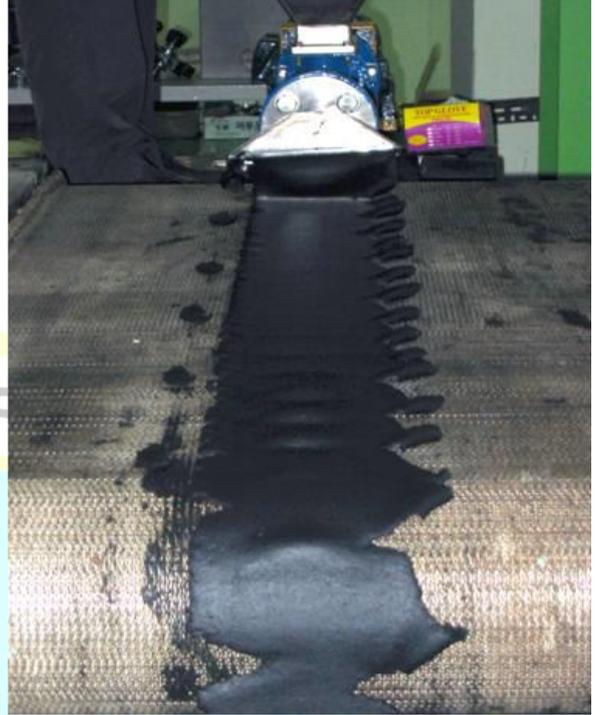
(BALANCE DE MATERIALES - Año 2049)															
	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	C-9	C-10	C-11	C-12	C-13	C-14	
Flujo volumétrico <Qv> (m ³ /año):	435,845.40	72,644.32	71,504.57	11,297.81	11,782.1091	11,782.11	3,353.54	8,424.71	362,850.04	1,462,568.00	60,146.28	483.02	422,513.30	425,866.84	
Flujo másico <m> (TM/año):	437,818.60	74,605.71	72,777.35	12,571.07	13,054.5769	13,054.58	3,356.89	9,697.69	363,212.89	1,828.21	60,206.43	483.50	422,935.81	426,292.70	
Fracción de Sólidos Suspendedos secos (%):	1.20	7.00	4.66	27.00	26.00	26.00	0.00	35.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Densidad ρ (kg/m ³):	1,004.5	1,027.0	1,017.8	1,112.7	1,108.0	1,108.0	1,001.0	1,151.1	1,001.0	1.25	1,001.0	1,001.0	1,001.0	1,001.0	
Sólidos Suspendedos en lodos <m> (TM SS/año):	5,222.40	5,222.40	3,394.19	3,394.19	3,394.19	3,394.19	0.00	3,394.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
(Flujo de Agua + Sólidos disueltos) <m> (TM H ₂ O/año):	432,596.2	69,383.3	69,383.31	9,176.88	9,660.39	9,660.39	3,356.89	6,303.50	363,212.89	0.00	60,206.43	483.50	422,935.81	426,292.7	
Flujo másico de Biogas <m> (TM/año):	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,828.21	0	0	0	0	

ANEXO 6:
SISTEMA DE DESINFECCIÓN DE LODOS POR IRRADIACIÓN DE ELECTRONES



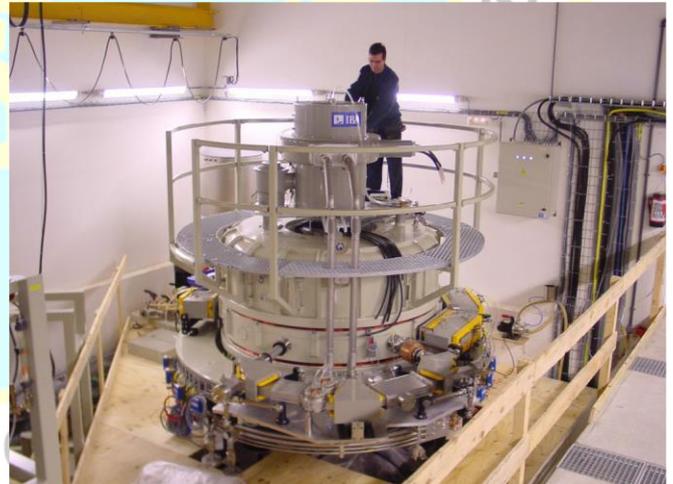
Nota: (Kim, Y., Han, B., Kim, J. K., y Yaacov, 2009, pág. 30)

ANEXO 7: Inyección de lodos a través de la boquilla sobre la faja transportadora



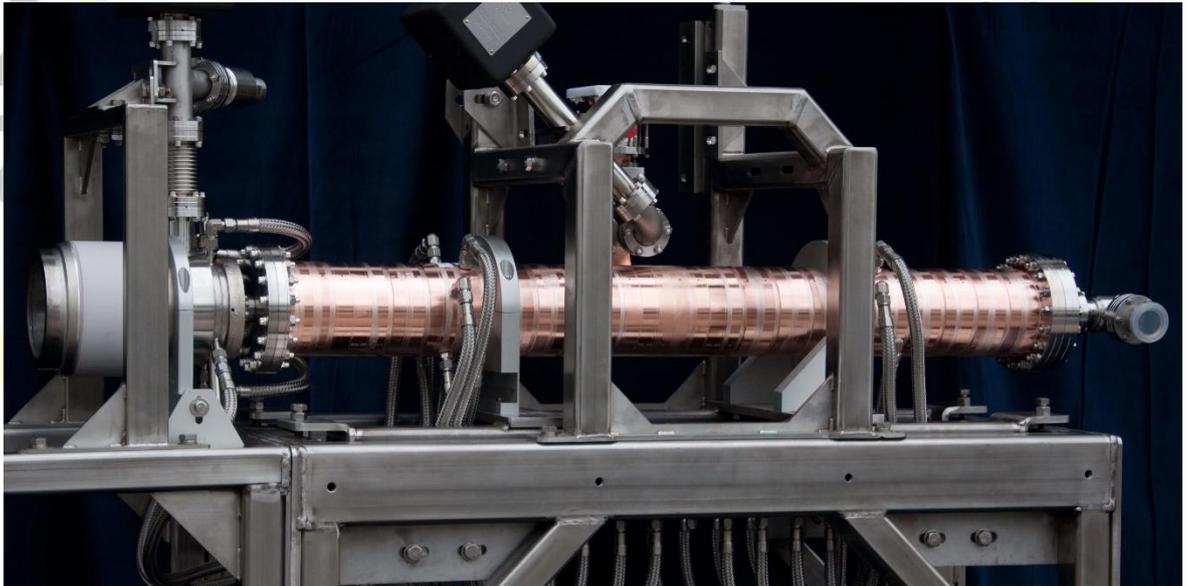
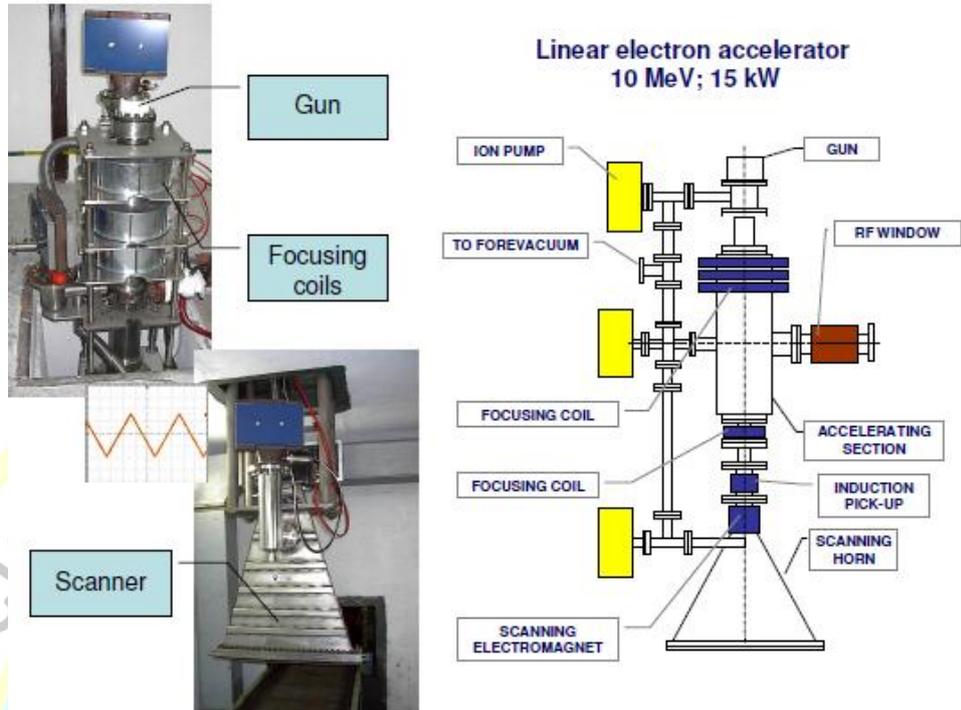
Nota: (Kim, Y., Han, B., Kim, J. K., y Yaacov, 2009, pág. 19)

ANEXO 8: ACELERADOR DE ELECTRONES. CIRCULAR



Nota: (IAEA, International Atomic Energy Agency, IIA, International Irradiation Association, 2010, pág. 20)

ANEXO 9: ACELERADOR DE ELECTRONES.LINEAL



Nota: (MeVex Corporation, 2017)

ANEXO 10: Detalle de Inversión en estudios de pre inversión, y Expediente técnico

Estudios preliminares o de pre inversión, y Expediente técnico		S/ 247 100,0
1.	Estudios preliminares o de pre inversión: Ficha técnica o Perfil (según invierte.pe)	75 000,0
2.	Estudios definitivos (Expediente técnico)	172 100,0
2.1	<u>Estudios base</u>	<u>S/ 75 900,0</u>
	Estudio topográfico	3 200,0
	Estudio de suelos	3 200,0
	Estudio de impacto ambiental	50 000,0
	Diagnóstico estructural	9 000,0
	Tasas INC - CIRA	1 500,0
	Consultoría CIRA-INC (documentos del área a certificar)	9 000,0
2.2	<u>Otros estudios</u>	<u>S/ 96 200,0</u>
	Arquitectura	48 000,0
	Estructuras	21 000,0
	Instalaciones sanitarias	12 000,0
	Instalaciones eléctricas	12 000,0
	Metrados y presupuestos	3 200,0

Nota: Elaboración propia

ANEXO 11: Detalle de la Inversión en Equipamiento principal

3. Equipamiento principal		U.S \$ 3 059 020,0	S/ 10 125 356,2
3.1	Accelerador de electrones y garantía **	1 500 000	4 965 000,0
3.2	Sistema de manejo y transporte de lodos (conveyor)*	400 770	1 326 548,7
3.3	Sistema de control de procesos	100 000	331 000,0
3.4	Sistema de dosimetría	100 000	331 000,0
3.5	Piezas de repuesto	250 000	827 500,0
3.6	Transporte de envío e instalación	50 000	165 500,0
3.7	Equipos de laboratorio de análisis químico y análisis microbiológico (control de calidad)	500 000	1 655 000,0
3.8	Otros documentos (Impuestos, seguros de envío, etc.)*	18 250	60 407,5
3.9	Sistema de refrigeración (por agua, y aire comprimido)	10 000	33 100,0
3.10	Sistema de monitoreo de radiaciones	100 000	331 000,0
3.10	Sistema de seguridad y contra incendio	10 000	33 100,0
3.11	Sistema de distribución de energía	20 000	66 200,0

Nota: Elaboración propia. Tipo de cambio: U. S. \$ 1 = S/ 3,31, (al 09 marzo 2019).

(*): (Moreno J., Colín A., Balcázar M., y Tavera L., 2002, pág. 196)

(**): (ebTECH, 2009, pág. 30)

ANEXO 12: Detalle de la Inversión en equipamiento auxiliar

4. Equipamiento auxiliar		S/ 1 292 650,0
4.1	Bombas centrífugas para impulsión de líquidos de espesado y deshidratación (bioabono líquido)	4 80 000,0
4.2	Bombas de tornillo para impulsión de lodos o fangos	3 90 000,0
4.3	Filtro prensa para deshidratación de lodos:	1 496 500,0
4.4	Montacarga para movimiento de lodos desinfectados	1 132 400,0
4.5	Camión volquete de tolva (25 a 30 TM) para transporte de biosólidos	4 413 750,0
4.6	Sistema de tuberías y válvulas	1 40 000,0
4.7	Tanque de acondicionamiento de lodos o fangos ($\phi = 12$ m x H = 2.7 m)	1 20 000,0
4.8	Agitador para tanque de acondicionamiento de lodos o fangos (3 kW)	2 20 000,0

Nota: Elaboración propia. Tipo de cambio: U. S. \$ 1 = S/ 3,31, (al 09 Marzo 2019).

ANEXO 13. Detalle de la Inversión en Infraestructura (obras civiles)

5. Infraestructura (obras civiles)		S/ 6 155 844,2
5.1	Terreno para planta de irradiación (100m x 50m = 5 000 m ²)	1 1 241 250,0
5.2	Obras civiles	4 680 565,9
	Cerco perimétrico (300m x 2.5m = 550 m ²), y 2 portones	1 216 546,9
	Bóveda blindada contra fuga de radiaciones*	1 966 520,0
	Edificaciones especiales (Sala de control, Lab. de dosimetría, Lab. de control de calidad de aguas y lodos) *.	3 1 599 349,0
	Edificaciones varias (Oficinas administrativas, estación de bombas, almacén de lodos) *	3 1 208 150,0
	Estacionamiento de cisternas, y otros vehículos.	1 40 000,0
	Almacén de bioabono líquido	2 150 000,0
	Instalaciones sanitarias (agua y desagüe)	1 220 000,0
	Instalaciones eléctricas (planta de fuerza, postes, tuberías, cables conductores)	1 280 000,0
5.3	Supervisión (5% de obras civiles)	234 028,3

Nota: Elaboración propia. Tipo de cambio: U. S. \$ 1 = S/ 3,31, (al 09 marzo 2019).

(*) (Moreno J., Colín A., Balcázar M., y Tavera L., 2002, pág. 196)

ANEXO 14. Detalle de la inversión en servicios especializados

6. Servicios especializados		S/ 116 200,0
6.1	Licenciamiento de la planta de irradiación por IPEN	50 000,0
6.2	Configuración del sistema, y puesta en marcha de la planta de irradiación	49 650,0
6.3	Capacitación y entrenamiento de operadores	16 550,0

Nota: Elaboración propia. Tipo de cambio: U. S. \$ 1 = S/ 3,31, (al 09 marzo 2019).

ANEXO 15: Capital de trabajo (1° mes de operaciones de la planta de irradiación).

7. Capital de trabajo (1° mes de inicio de operaciones)		S/ 181 660,8
7.1	Sueldo de personal laboral	34 500,0
7.2	Combustible para camión volquete y montacargas	3 376,0
7.3	Servicios de agua potable y alcantarillado	90,0
7.4	Servicios de energía eléctrica	45 400,0
7.5	Servicios de telefonía e internet	250,0
7.6	Servicios de transporte de bioabono líquido	98 044,8

Nota: Elaboración propia.

ANEXO 16: COSTOS OPERATIVOS ANUALES FIJOS S/ **S/ 2 684 080,4****1. COSTOS OPERATIVOS FIJOS LABORALES** S/ 414 000,0

DESCRIPCION DEL CARGO	Unidad	Cantidad	Sueldo mensual (S/)	Costo anual (S/)
Ing. Mecánico Eléctrico ó Ing. Electrónico	Turno	1	4 500,0	54 000,0
Lic. En Física	Turno	1	4 500,0	54 000,0
Ing. Químico o Lic. En Química	Turno	1	4 500,0	54 000,0
Lic. En Biología o Lic. En Microbiología	Turno	1	4 500,0	54 000,0
Lic. En Administración	Turno	1	4 500,0	54 000,0
Secretaria	Turno	1	2 000,0	24 000,0
Operador de vehículo montacarga	Turno	2	2 500,0	60 000,0
Chofer de camión cisterna	Turno	2	2 500,0	60 000,0

Nota: Elaboración propia

2. AMORTIZACIÓN DEL PRÉSTAMO BANCARIO: S/ **1 689 919,87**

Monto solicitado en Calidad de Préstamo, (**Io**): 19 024 751,7

Tasa de Interés Anual Social, (**i**): 8%

Cantidad de Amortizaciones Anuales, (**n**): 30

$$AAN = \frac{Io \times \left(1 + \frac{i}{100}\right)^n \left(\frac{i}{100}\right)}{\left(1 + \frac{i}{100}\right)^n - 1}$$

De la ecuación anterior: Amortización Anual, (AAN): S/ **1 689 919,87**

Nota: Elaboración propia.

3. DEPRECIACIÓN ANUAL DE ACTIVOS:

S/ /año: 580 160,58

COMPONENTE	Vida útil (años) ^(#)	Inversión (S/)	Tasa lineal de depreciación (%) ^(#)	Depreciación anual (S/)
Depreciación de Obras civiles: vida útil: (50 a 80 años) ^(#)	65	4 680 565,9	2% - 1,25%	72 008,7
Cerco perimétrico de seguridad	65	216 546,9	2% - 1,25%	3 331,49
Bóveda blindada contra fuga de radiaciones (Bunker) ^(*)	65	966 520,0	2% - 1,25%	14 869,54
Edificaciones especiales (Sala de control, lab. de dosimetría, lab. Aguas y lodos) ^(*)	65	1 599 349,0	2% - 1,25%	24 605,37
Edificaciones (Oficinas administrativas, almacén de biosólidos, estación de bombas) [*]	65	1 208 150,0	2% - 1,25%	18 586,92
Estacionamiento de cisternas de transporte de lodos, y otros vehículos	65	40 000,0	2% - 1,25%	615,38
Almacenes de bioabono líquido	65	150 000,0	2% - 1,25%	2 307,69
Instalaciones sanitarias (agua y desagüe)	65	220 000,0	2% - 1,25%	3 384,62
Instalaciones eléctricas (planta de fuerza, postes, tuberías, cables conductores)	65	280 000,0	2% - 1,25%	4 307,69

Nota: Elaboración propia.

(#): MEF (2014, pág. 4)

(*): Moreno *et al.* (2002, pág. 196)

COMPONENTE	Vida útil (años)	Inversión (S/)	Tasa lineal de depreciación (%)	Depreciación anual (S/)
Depreciación de Equipamiento principal	30	10 125 356,2	-	337 511,8
Equipo de irradiación (Acelerador de electrones y garantía)**	30	4 965 000,0	-	165 500,0
Sistema de manejo y transporte de lodos (alimentador, transportador)*	30	1 326 548,7	-	44 218,3
Sistema de control de procesos	30	331 000,0	-	11 033,3
Sistema de dosimetría	30	331 000,0	-	11 033,3
Piezas de repuesto	30	827 500,00	-	27 583,3
Transporte de envío e instalación de equipos	30	165 500,0	-	5 516,6
Equipos de laboratorio de análisis químico y análisis microbiológico	30	1 655 000,0	-	55 166,7
Otros documentos (Impuestos, seguros de envío, etc.)*	30	60 407,5	-	2 013,58
Sistema de refrigeración (por agua y aire comprimido)	30	33 100,0	-	1 103,33
Sistema de monitoreo de radiaciones	30	331 000,0	-	11 033,33
Sistema de seguridad y contra incendio	30	33 100,0	-	1 103,33

Nota: Elaboración propia.

(*): Moreno *et al.* (2002, pág. 196).

(**): Kim *et al.* (2009, pág. 28)

COMPONENTE	Vida útil (años) ^{***}	Inversión (S/)	Tasa lineal de depreciación (%) ^{***}	Depreciación anual (S/)
Depreciación de Equipamiento auxiliar	-	1 292 650,0		170 640,0
Bombas centrífugas para impulsión de bioabono líquido (4)	10	80 000,0	10	8 000,0
Bombas de tornillo para impulsión de lodos o fangos (3)	10	90 000,0	10	9 000,0
Filtro prensa para deshidratación de biosólidos (1)	10	496 500,0	10	49 650,0
Montacarga para movimiento de lodos desinfectados (biosólidos) (1)	10	132 400,0	10	13 240,0
Camión volquete de tolva (25 a 30 TM) para transporte de biosólidos (1)	20	413 750,0	20	82 750,0
Sistema de tuberías y válvulas (1)	10	40 000,0	10	4 000,0
Tanque de acondicionamiento de lodos o fangos ($\Phi = 12 \text{ m} \times H = 2.7 \text{ m}$) (1)	10	20 000,0	10	2 000,0
Agitador para tanque de acondicionamiento de lodos o fangos (03 kW) (2)	10	20 000,0	10	2 000,0

Nota: Elaboración propia.

(***): (Cámara Peruana de Comercio, 2018, pág. 13)

ANEXO 17: COSTOS OPERATIVOS ANUALES VARIABLES

S/ 2 116 520.3

1. COSTO ANUAL DE MANTENIMIENTO

S/ 243 332.2

DESCRIPCIÓN DEL ITEM	Inversión (S/)	% de la Inversión	Costo Anual de Mantenimiento (S/)
1.1 Equipamiento principal	4 965 000,0		181 438.9
Equipo de irradiación (Acelerador de electrones y garantía)**	1 326 548,7	2%	99 300,0
Sistema de manejo y transporte de lodos (alimentador, transportador)*	331 000,0	2%	26 530,9
Sistema de control de procesos	331 000,0	2%	6 620,0
Sistema de dosimetría	1 655 000,0	2%	6 620,0
Equipos de laboratorio de análisis químico y análisis microbiológico	33 100,0	2%	33 100,0
Sistema de refrigeración (por agua y aire comprimido)	331 000,0	2%	662,0

Sistema de monitoreo de radiaciones	33 100,0	2%	6 620,0
Sistema de seguridad y contra incendio	66 200,0	2%	662,0
Sistema de distribución de energía	4 965 000,0	2%	1 324,0

1.2 Equipamiento auxiliar **S/ 38 779,5**

Bombas centrífugas para impulsión de bioabono líquido	80 000,0	3%	2 400,0
Bombas de tornillo para impulsión de lodos o fangos	90 000,0	3%	2 700,0
Filtro prensa para deshidratación de biosólidos	496 500,0	3%	14 895,0
Montacarga para movimiento de lodos desinfectados (biosólidos)	132 400,0	3%	3 972,0
Camión volquete de tolva (25 a 30 TM) para transporte de biosólidos	413 750,0	3%	12 412,5
Sistema de tuberías y válvulas	40 000,0	3%	1 200,0
Tanque de acondicionamiento de lodos o fangos ($\Phi = 12\text{ m} \times H = 2.7\text{ m}$)	20 000,0	3%	600,0
Agitadores para tanque de acondicionamiento de lodos o fangos (03 kW)	20 000,0	3%	600,0

1.3 Infraestructura (Obras Civiles) **S/ 23 113,69**

Cerco perimétrico de seguridad	158 719,4	0,5%	793,6
Bóveda blindada contra fuga de radiaciones (Bunker)*	966 520,0	0,5%	4 832,6
Edificaciones especiales (Sala de control, lab. de dosimetría, lab. Aguas y lodos)*	1 599 349,0	0,5%	7 996,7
Edificaciones (Oficinas administrativas, almacén de biosólidos, estación de bombas)*	1 208 150,0	0,5%	6 040,7
Estacionamiento de cisternas de transporte de lodos, y otros vehículos	40 000,0	0,5%	200,0
Almacenes o tanques de bioabono líquido	150 000,0	0,5%	750,0
Instalaciones sanitarias (agua y desagüe)	220 000,0	0,5%	1 100,0
Instalaciones eléctricas (planta de fuerza, postes, tuberías, cables conductores)	280 000,0	0,5%	1 400,0

Nota: Elaboración propia.

ANEXO 18:**2. COSTO ANUAL DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA:****S/ 545 819,6**Costo unitario de energía eléctrica: S/ 0.5351/kW-H

DISPOSITIVO ELÉCTRICO	Potencia (kW)	Consumo anual (kW-H/año)	Costo anual (S/ /año)
Bomba centrífuga (Impulsión de líquidos en tubería 12)	0,00343	13,18	7,05
Bomba centrífuga (Impulsión de líquidos en tubería 13)	1,801	6 915,00	3 700,22
Bomba centrífuga (Impulsión de líquidos en tubería 14)	1,815	6 969,89	3 729,59
Bomba centrífuga (Impulsión de líquidos en tubería 7)	0,014	54,89	29,37
Bomba para lodos (Impulsión de lodos en tubería 4)	3,0	11 520,00	6 164,35
Bomba para lodos (Impulsión de lodos en tubería 5)	5,0	19 200,00	10 273,92
Bomba para lodos (Impulsión de lodos en tubería 6)	5,0	19 200,00	10 273,92
Agitador horizontal de líquidos, 5 kW (aprox. 7 HP)	5,0	38 400,00	20 547,84
Acelerador de electrones (eficiencia = 70%)	200,0	768 000,00	410 956,80
Sistema transportador de lodos (conveyor 1.5 kW)	1,5	5 760,00	3 082,18
Filtro prensa de deshidratación de biosólidos, 27.5 kW (aprox. 37 HP)	27.500	105 600,00	56 506,56
Otros dispositivos (equipos de laboratorio, alumbrado, refrigeración, etc.)	10.000	38 400,00	20 547,84

Nota: Elaboración propiaTiempo de operación: 16 horas/día = 3 840 horas/año, 20 días/mes = 240 días/año

No se considera los costos de energía del espesador 1 y espesador 2, por corresponder a otro operador.

3. COSTO ANUAL DE COMBUSTIBLE Y LUBRICANTES**S/ 108 288,0**

ITEM	(S/ /mes)	(S/ /año)
Combustible para camión volquete de tolva	3 376,0	40 512,0
Aceite lubricante para camión volquete de tolva	3 448,0	41 376,0
Combustible para montacarga	1 500,0	18 000,0
Aceite lubricante para montacarga	700,0	8 400,0
Combustible para camión volquete de tolva	3 376,0	40 512,0
Aceite lubricante para camión volquete de tolva	3 448,0	41 376,0
Combustible para montacarga	1 500,0	18 000,0

4. COSTO ANUAL DE TRANSPORTE DE BIOABONO LÍQUIDO:**S/ 1 207 737,0**

ITEM	(S/ /mes)	(S/ /año)
Costo de combustible	20 363,2	244 358,4
Costo de lubricantes	1 733,3	20 799,6
Costo de servicios de chofer y camión	45 000,0	540 000,0
Utilidad (50% de costos)	33 548,2	402 579,0

5. COSTO ANUAL DE SERVICIO DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y ARBITRIOS MUNICIPALES:

S/ 11 343,5

ITEM	Consumo (m ³ /año)	Costo unitario (S/ /m ³)	Monto anual (S/)
Volumen de agua potable	1 825,00	3,42	6 241,50
Servicio de alcantarillado	1 825,00	1,00	1 825,00
	IGV:	18%	1 451,97
		Sub-total:	9 518,47
Arbitrios municipales	365 días/año	5 S/ /día	1 825,00

Nota: Elaboración propia

COSTOS OPERATIVOS ANUALES TOTALES:

S/ 4 800 600,7

ANEXO 19:

COSTO OPERATIVO TOTAL UNITARIO (en el horizonte del pyto: año 2049): **11,05(S/ /m³)**

ITEM	Producción (m ³ /año)	Costo Unitario (S/ /m ³)	Costo Unitario (S/ /TM)
Volumen anual de lodos irradiados (biosólidos)	11 782,1	11,054	10,0
Volumen anual de líquidos de espesamiento y deshidratación (bioabono líquido)	422 513,3	11,054	11,1
Volumen total de material irradiado:	434 295,4		

Por lo tanto; el costo operativo unitario es: S/ 4 800 600,7 /434 295,4 m³ = **11,05 (S/ /m³)**

Nota: Elaboración propia.

ANEXO 20: Estimación del precio de venta del bioabono líquido

- ❖ Precio de venta de la solución concentrada hidropónica la Molina: **S/ 19,0**, para 200 Litros de solución completa hidropónica (ver boleta de venta siguiente).
- ❖ Precio de agua potable (para disolver la solución concentrada hidropónica): **S/ 1,0**, para 1 000 Litros (1 m³).
- ❖ Precio de venta de solución completa hidropónica la Molina:

$$\left(\frac{19,0 \text{ Soles}}{200 \text{ L}} + \frac{1,0 \text{ Sol}}{1000 \text{ L}} \right) = \mathbf{0,096 \text{ (Soles/Litro)}}$$

La concentración de elementos nutrientes del bioabono líquido a producir, es la mitad de la concentración de la solución completa hidropónica la Molina. Por lo tanto, el precio de venta del bioabono líquido deber ser también la mitad del precio de venta de la solución completa hidropónica la Molina: 0.096/2 (Soles/Litro) = **0.048 (Soles/Litro)**





Jr. Camilo Carrillo N° 325 -Jesús María - Lima - Lima

Página Web: www.fdaweb.com

RUC: 20101259014
BOLETA DE VENTA ELECTRÓNICA
B251 - 00003960

Fecha :	14/02/2019
Identificación:	DOC. NACIONAL DE IDENTIDAD
N° Identificación:	41518981
Nombre:	JUAN JOSE BUSTAMANTE
Dirección:	LIMA-LIMA-LIMA-LIMA

DESCRIPCIÓN	UND.	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	IMPORTE
Juego de solución simple	NIU	1.00	19.00	19.00

SON: DIECINUEVE Y 00/100 SOLES						
TOTAL GRAVADA	TOTAL EXONERADA	TOTAL DSCTO.	VALOR VENTA	IMPUESTO	ISC	IMPORTE TOTAL
0.00	19.00	0.00	19.00	0.00	0.00	19.00

Autorizado mediante resolución N° 0320050000973 /SUNAT

TDnV7L15ljqwOHAKYXVuhpf8rhs= Puede descargar su comprobante desde el sitio: <http://consulta.fdaweb.com.pe>



Nota: Fundación para el Desarrollo Agrario (UNALM, Universidad Nacional Agraria la Molina, 2019)



Carlos Job Fiestas Urbina
ASESOR

Berardo Beder Ruiz Sánchez
PRESIDENTE

José Vicente Nunja García
SECRETARIO

Jaqueline Victoria Aroni Mejia
VOCAL