

USO DE HACES ELECTRÓNICOS DE ALTA ENERGÍA PARA ESTERILIZAR LAS AGUAS NEGRAS MUNICIPALES DEL DISTRITO LUNAHUANÁ

USING HIGH ENERGY ELECTRON BEAMS TO ESTERILIZE MUNICIPAL SEWAGE DISTRICT LUNAHUANA

PARTE I: Viabilidad técnica para la descontaminación eficiente

Recibido: 07/04/2015

Revisado: 23/04/2015

Aceptado: 09/06/2015

Benigno Benito Lizárraga Zavaleta¹, Carlos Job Fiestas Urbina²,
Francisco Bautista Loyola², Cayo Eduardo Guerra Lazo¹

RESUMEN

Objetivo: Agregar valor a los efluentes y lodos de los sistemas de tratamiento de aguas residuales aplicando la tecnología de haces electrónicos de alta energía para una adecuada disposición y uso, disminuyendo los problemas ambientales y de salud de la población del distrito Lunahuaná. **Métodos:** Se utilizó el tipo de investigación aplicada no experimental, para resolver el problema de saneamiento eficiente de las aguas residuales municipales y lodos de los sistemas de tratamiento. Se analizó las aplicaciones de la tecnología de irradiación con electrones, pero se acepta y no discute la data experimental de las dosis de irradiación publicada. **Resultados:** En el año 2033 Lunahuaná tendrá 6900 habitantes, sus aguas residuales municipales fluyen a 707,2 m³/día, las que deben ser irradiadas para obtener agua inocua con alto contenido de Nitrógeno, Fósforo y Potasio para riego agrícola, y una producción de 150 TM/año de lodos secos esterilizados como bioabono para incorporar a la agricultura. La dosis para inactivar *Escherichia Coli*, el microorganismo patógeno más radio resistente es de 4,04 (KGy). Se propone construir una red troncal de alcantarillado de 22 Km, para recolectar las aguas y lodos efluentes de los sistemas de tratamiento de los 12 anexos del distrito; y la construcción de la planta de tratamiento eficiente por irradiación en un área de 1,2 Ha, ubicada frente al anexo de Socsi. **Conclusiones:** La propuesta es viable técnicamente, los irradiadores electrónicos son máquinas electromecánicas On-Off que usan energía eléctrica para su funcionamiento de emisión de haces de electrones, las que se vienen aplicando en otros países para tratamiento de aguas y lodos de depuradoras, e irradiación de alimentos entre otros usos, actualmente ya se ofertan en Perú dada su eficacia.

Palabras clave: Haces electrónicos, dosis de irradiación, KGy, *Escherichia Coli*, lodos secos.

ABSTRACT

Objective: Adding value to effluent and sludge treatment systems wastewater technology using high-energy electron beams for proper disposal and use, reducing environmental and health problems of the people of Lunahuaná district. **Methods:** the type of applied research is not experimental, was used to solve the problem of efficient disposal of municipal and sludge from wastewater treatment systems. Technology applications of electron irradiation was analyzed, but is accepted and not disputed the experimental data published dose of irradiation. **Results:** In the year 2033 will Lunahuaná 6900 inhabitants, its municipal wastewater flow 707.21 m³ / day, which they must be irradiated for safe water with high content of nitrogen, phosphorus and potassium for irrigation, and a production of 150 MT / year of dry sludge sterilized as biofertilizer to include agriculture. The dose to inactivate *E. coli*, the most resistant pathogen radius is 4.04 (KGy). It plans to build a trunk sewer 22 Km, to collect water and effluent sludge treatment systems of the 12 annexes of the district; and construction of efficient plant irradiation treatment in an area of 1.2 hectares, located opposite the Socsi annex. **Conclusions:** The proposal is technically feasible, electronic irradiators are On-Off electromechanical machines that use electricity to operate emission electron beams, which have been applied in other countries for water treatment and sewage sludge, and irradiation food and other uses, and are currently offered in Perú given its efficacy.

Keywords: Electron beams, irradiation dose, KGy, *Escherichia coli*, dry sludge

INTRODUCCIÓN

En el ámbito nacional se tiene como antecedentes de la tecnología de irradiación, la aplicación de radiaciones ultra violeta (luz UV) para desinfección de efluentes de la planta de tratamiento de aguas del río Surco, usada para regar las áreas verdes del distrito de San Borja, (Rosadio, B. 2008). Actualmente, nuestro país aún no aplica la irradiación con haces electrónicos a la desinfección o

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

²Facultad de Ciencias, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión.

esterilización de los efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTARs), solo se aprecia la oferta de aceleradores de electrones para tratamiento de aguas residuales mediante una sucursal de la empresa "Acelera S.A.C", ubicada en Arequipa.

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.

Water/Wastewater treatment plant

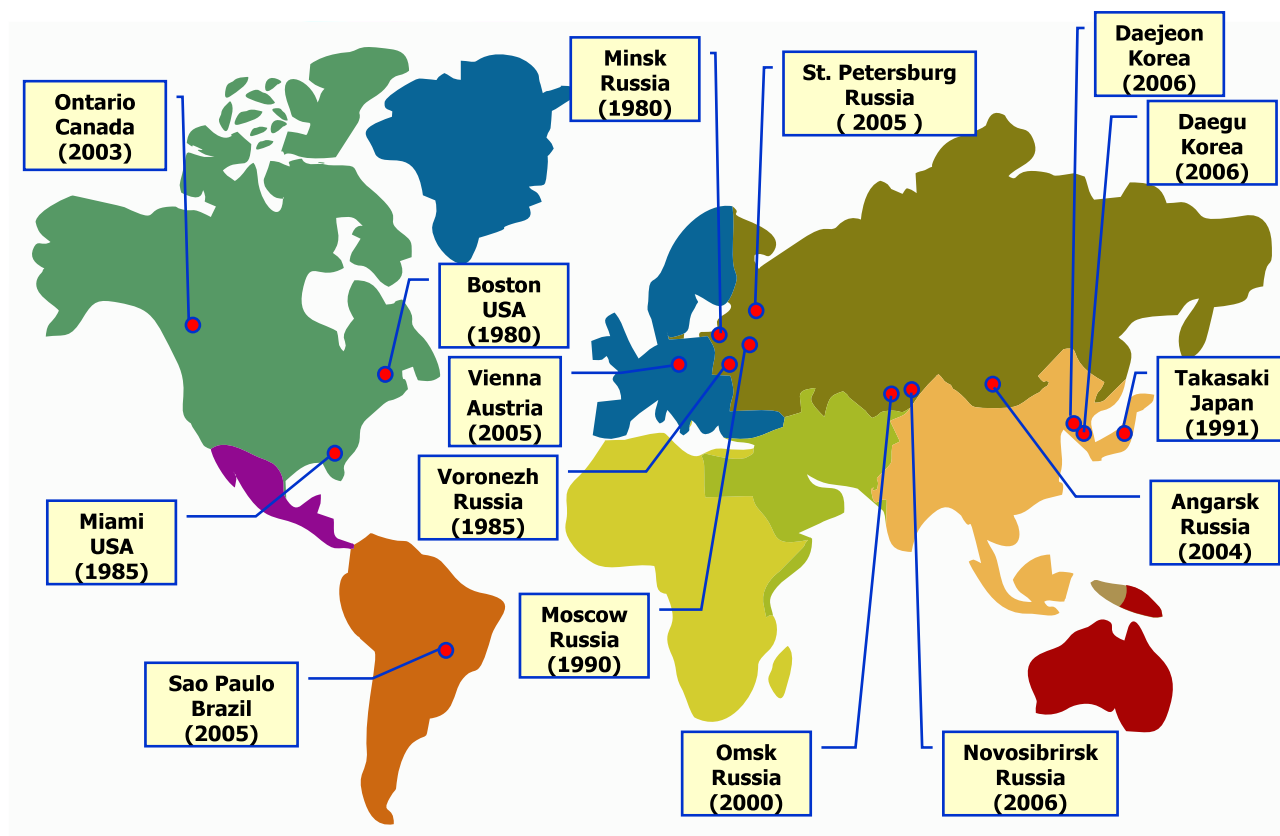


Figura 1. Plantas de tratamiento de aguas residuales con haces electrónicos en diferentes países del Planeta.

Fuente: Electrón beam technology ebTECH 550 yongsan-dong Yuseong-gu, Daejeon 305-500, Korea, (2009)

Como antecedente en la valoración del poder fertilizante de las excretas humanas, citamos a Víctor Hugo (1802-1885), quien en su obra, "la tierra empobrecida por el mar" de Los Miserables, 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".

Tabla 1. Composición de diferentes tipos de excretas

Excretas	N (%)	P (%)	K (%)	Humedad (%)
Humano	5-7	3-5,4	1-2,5	66-80
Vaca	1,67	1,11	0,56	80
Caballo	2,29	1,25	1,38	75
Borrego	3,75	1,87	1,25	68
Cerdo	3,75	1,87	1,25	82
Gallina	6,27	5,92	3,27	56

Fuente: Gootas, composting, (1956), p. 35-37

Justificación

El presente estudio se justifica plenamente por tener una relevancia tecnológica, económica, social y ambiental; por tanto es un instrumento clave para el uso eficiente de las aguas residuales municipales y el desarrollo sustentable en agricultura; el Perú es importador neto de fertilizantes químicos al no tener actualmente ninguna planta de producción de fertilizantes. Los beneficiarios directos del presente proyecto serán los agricultores de la zona rural agrícola de Lunahuaná, Nuevo Imperial, Imperial y San Vicente de Cañete, por el ahorro en adquisición de fertilizantes químicos, también se beneficiará a la población urbana por las mejoras ambientales y sanitarias, tanto económicas por reducción de tarifas municipales por saneamiento.

La construcción de la planta de tratamiento incorporando tecnología innovadora de haces electrónicos para desinfección y/o esterilización de los efluentes permitirá convencer a la población y autoridades de la bondad de esta tecnología para ser aplicada también en otros lugares del país. Los resultados de la experiencia al ejecutarse el presente proyecto va a permitir obtener elementos de juicio para establecer una legislación exigente y promotora del uso de las aguas residuales domésticas.

Hipótesis

Si se aplica la tecnología de haces electrónicos, entonces se descontamina eficientemente las aguas y lodos residuales de las plantas de tratamiento del distrito Lunahuaná.

El problema central y sus causas

De acuerdo al diagnóstico de la situación actual del problema, definimos al problema central como: "Inadecuada disposición de efluentes y lodos de los sistema de tratamiento de aguas residuales del distrito Lunahuaná, que ocasionan frecuentes problemas ambientales y de salubridad de la población y no aportan valor agregado a los efluentes y lodos".

Causas identificadas en el árbol de problemas

Insuficientes etapas en los sistemas de tratamiento de aguas residuales y lodos, originado por: Escasa o nula investigación y aplicación tecnológica de "haces electrónicos de alta energía" en el diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales y lodos (PTAR) del Perú. Especialización basada solo en lagunaje.

- Inadecuada disposición de excretas y aguas residuales
Motivado por: Ausencia del Sistema de alcantarillado. Ausencia de sistemas de tratamiento aguas residuales que incluya "haces electrónicos" para desinfección y/o esterilización.
- Inadecuados hábitos y prácticas de higiene
Originado por: El bajo nivel de educación sanitaria.
- Insuficientes recursos para eficiente Operación y Mantenimiento (O&M) de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTARs), SUNASS (2008).
- Debido a la baja formación de operarios en Operación y Mantenimiento de las PTARs, y se administra el servicio como centro de costos y no de beneficios, SUNASS (2008).

Tabla 2. Matriz de involucrados

Grupos involucrados	Intereses	Problemas percibidos
Municipal Distrital de Lunahuaná	Elevar el nivel de vida de la población y proteger el medio ambiente	Contaminación del medio ambiente, reclamos de la población.
E.P.S EMAPA Cañete S.A	Lograr la satisfacción de la población por los servicios prestados, así como la protección del medio ambiente.	Contaminación del medio ambiente, reclamos de la población.
Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión	Proyectar y transferir a la comunidad sus logros académicos y o investigación aplicada, para el desarrollo de su ámbito de influencia Regional y Nacional.	Por coordinación directa entre las autoridades locales de la Municipalidad, se encargó investigar y encontrar solución al problema de saneamiento de la localidad de Lunahuaná Cercado.
La Población	Contar con un buen servicio de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales municipales. Disminución de la contaminación.	Incremento de enfermedades diarreicas y parasitarias. Canales de riego contaminados con aguas servidas que son utilizados en los cultivos agrícolas.
Junta de Regantes	Disminución de la contaminación del agua de riego.	Contaminación del agua de los canales de riego, contaminación de los terrenos agrícolas.
Instituciones de Salud	Contribuir con la mejora de la salud, reduciendo la demanda de atención de enfermedades	No cuentan con el personal ni la infraestructura necesaria para la atención de la población, que demandan atención en parte por la baja calidad del saneamiento.

Fuente: Moreno Sotomayor, J. B. (2010)

Se han identificado los siguientes efectos directos e indirectos del problema:

- Incremento de morbilidad
- Incremento de tarifas por servicios de saneamiento
- Incremento de la desnutrición
- Incremento de los gastos de salud y de servicios de saneamiento de la población.
- Baja calidad de vida de la población del distrito Lunahuaná.

Objetivo: El objetivo general es: “Agregar valor a los efluentes y lodos de los sistemas de tratamiento de aguas residuales aplicando la tecnología de haces electrónicos de alta energía para una adecuada disposición y uso, disminuyendo los problemas ambientales y de salud de la población del distrito Lunahuaná”.

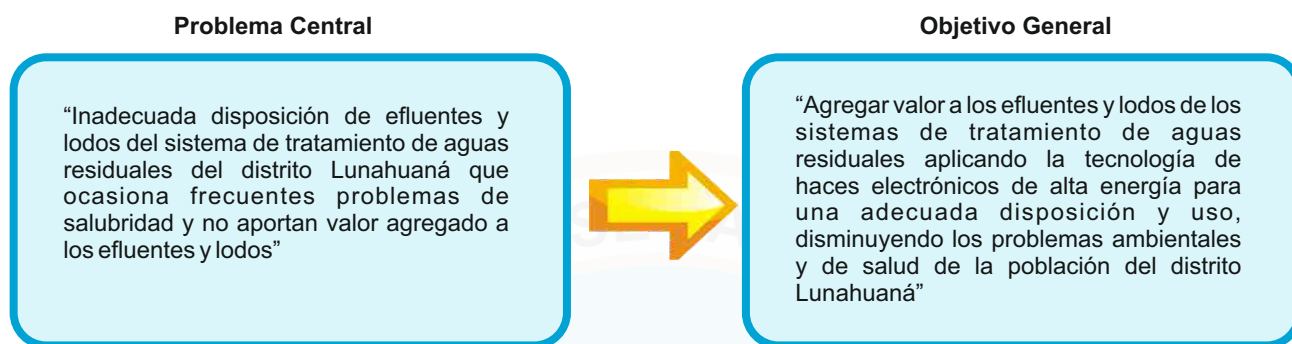


Figura 2. Problema Central y Objetivo General

Fuente: Elaboración propia

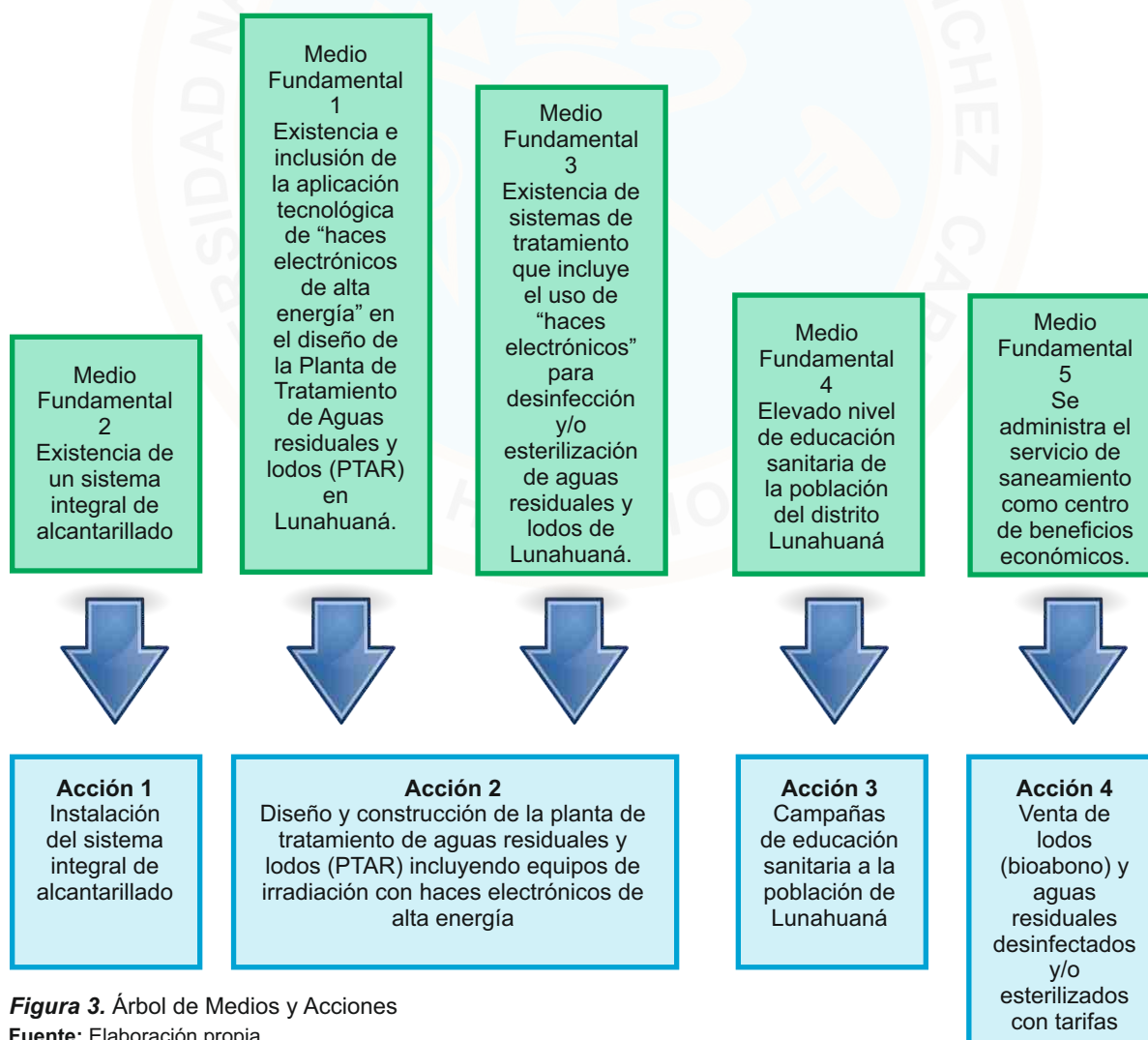


Figura 3. Árbol de Medios y Acciones

Fuente: Elaboración propia

MÉTODOS

Se utilizó el tipo de investigación aplicada no experimental, para resolver el problema de saneamiento eficiente de las aguas residuales municipales y lodos de los sistemas de tratamiento. Se analizó las aplicaciones de la tecnología de irradiación de electrones, pero se acepta y no discute la data experimental de las dosis de irradiación publicada en internet libre.

Descripción de la alternativa propuesta para resolver el problema

La alternativa consiste en:

- Instalación de redes de alcantarillado y conexiones domiciliarias, incluyendo la construcción de un tanque Imhoff para pretratamiento en cada anexo.
- Diseño y construcción de un colector troncal de alcantarillado de aproximadamente 22 Km de longitud

que recepciona y transporta las aguas y lodos residuales pre-tratados de cada anexo y de Lunahuaná cercado, que inicia en Catapalla y termina en Socsi, paralelo al río Cañete.

- Diseño y construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas y lodos Residuales (PTAR); incluye:
 - ▲ Diseño y construcción de tanques reservorios, bombas y filtros de homogenización y acondicionamiento de aguas y lodos efluentes, aptos para ser irradiados.
 - ▲ Construcción e instalación de la facilidad de irradiación (irradiador de electrones).
 - ▲ Construcción del taller de preparación y almacenamiento de bioabono sólido.
 - ▲ Construcción del reservorio de almacenamiento de bioabono líquido.

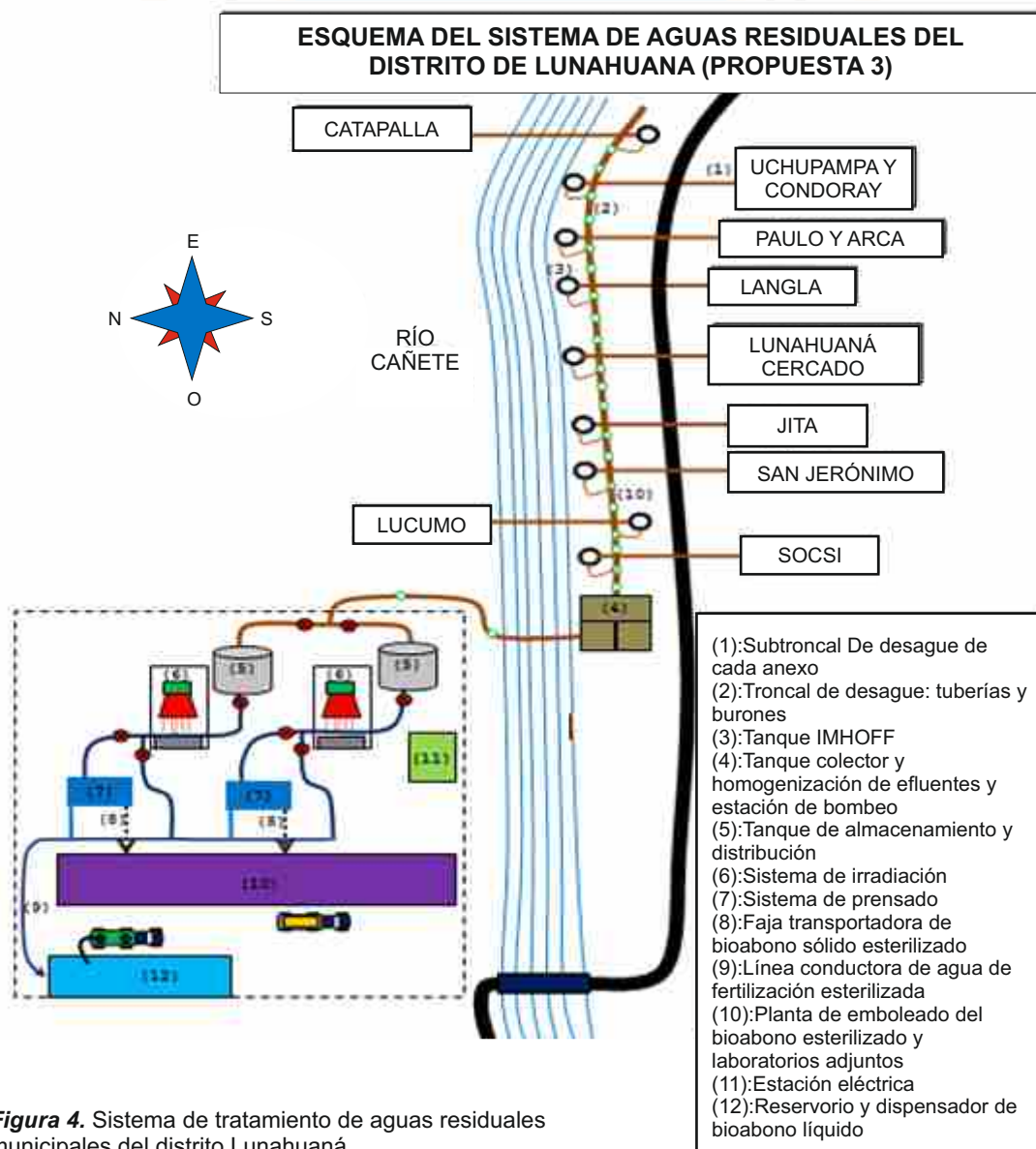


Figura 4. Sistema de tratamiento de aguas residuales municipales del distrito Lunahuaná

Fuente: Elaboración propia

RESULTADOS

El crecimiento demográfico de Lunahuaná se estima según la relación matemática siguiente:

$$PL_n = PL_{2007} (1 + \beta)^n$$

Dónde: $n = 1, 2, 3, \dots, 20$ (año horizonte del proyecto)

PL_n = Población en el año n

$\beta = 1,6\%$ (tasa de crecimiento poblacional del Perú)

$PL_{2007} = 4\,567$ habitantes de Lunahuaná en el año 2007, INEI (2007).

Los cálculos estimados de la población de Lunahuaná se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 3. Población estimada del cercado y anexos del distrito Lunahuaná

Anexo	Año				
	2007	2010	2013	...	2033
Catapalla	450	472	495	...	680
Uchupampa	450	472	495	...	680
Condoray	450	472	495	...	680
Cercado	601	630	661	...	908
Jita	596	625	655	...	900
Langla	360	378	396	...	544
San Jerónimo	895	939	984	...	1352
Paullo	392	411	431	...	592
Socsi	93	98	103	...	141
Lúcumo	90	94	99	...	136
Los Olivo	71	74	78	...	107
Ramadilla	71	74	78	...	107
Concon	48	51	53	...	73
TOTAL	4567	4790	5023	...	6900

Fuente: INEI Censo Nacional (2007). Las poblaciones han sido estimadas, con la tasa anual de crecimiento poblacional de 1,6 %.

Como se observa, en el año 2033 el distrito Lunahuaná tendrá un total de 6 900 habitantes. Esta población define el tamaño y dimensiones del diseño de los sistemas de alcantarillado, colector central, planta de tratamiento y

equipo de irradiación electrónica. La dotación de agua potable es de 120 L/hab.día al año 2013 (con una tasa de crecimiento de 1%), y el caudal de agua residual es 70% de la dotación de agua potable, Norma OS.90 Perú (2006).

Tabla 4. Dotación de agua potable y agua residual del distrito Lunahuaná

	Unidad	Año 2013	Año 2014	...	Año 2032	Año 2033
Dotación de agua potable	Personas	5023	5103	...	6791	6900
	L/hab.día	120,0	121,2	...	145,0	146,4
	m³/día	602,76	618,53	...	984,53	1100,29
Caudal de agua residual	L/hab.día	84,00	84,84	...	101,48	102,50
	m³/día	421,93	432,96	...	689,17	707,21

Fuente: Norma OS.90 Perú (2006), y elaboración propia

Tabla 5. Aporte per cápita de constituyentes de aguas residuales municipales

Constituyente	g/hab.día	g/día	mg/L (ppm aprox.)
Nitrógeno total: N	6-12	$4,14 \times 10^4$ - $8,28 \times 10^4$	58 - 117
Fósforo: P	1-8	$6,90 \times 10^3$ - $5,52 \times 10^4$	10 - 78
Potasio: K	2-6	$1,38 \times 10^4$ - $4,14 \times 10^4$	20 - 58
Sólidos totales:	250	$1,725 \times 10^6$	2434
DBO ₅	54	$3,726 \times 10^5$	526,85
DQO:	57	$3,933 \times 10^5$	556,11
Microorganismos	gérmenes/hab.día	gérmenes/día	gérmenes/m³
Bacterias totales:	10^{11} - 10^{12}	$6,9 \times 10^{14}$ - $6,9 \times 10^{16}$	$9,75 \times 10^5$ - $9,75 \times 10^6$
Coliformes totales:	10^9 - 10^{11}	$6,9 \times 10^{12}$ - $6,9 \times 10^{15}$	$9,75 \times 10^3$ - $9,75 \times 10^5$
Coliformes termotolerantes:	10^8 - 10^{11}	$6,9 \times 10^{11}$ - $6,9 \times 10^{14}$	$9,75 \times 10^2$ - $9,75 \times 10^5$
Streptococo fecal:	10^7 - 10^{10}	$6,9 \times 10^{10}$ - $6,9 \times 10^{13}$	$9,75 \times 10^1$ - $9,75 \times 10^4$
Salmonella typhosa:	10 - 10^4	$6,9 \times 10^4$ - $6,9 \times 10^7$	97 - $9,75 \times 10^4$
Huevos de helmintos:	10 - 10^3	$6,9 \times 10^4$ - $6,9 \times 10^6$	97 - $9,75 \times 10^3$
Virus (UFP):	10^2 - 10^4	$6,9 \times 10^5$ - $6,9 \times 10^7$	975 - $9,75 \times 10^4$

Fuente: Rojas, V. (2002), y elaboración propia

Efecto de la radiación ionizante

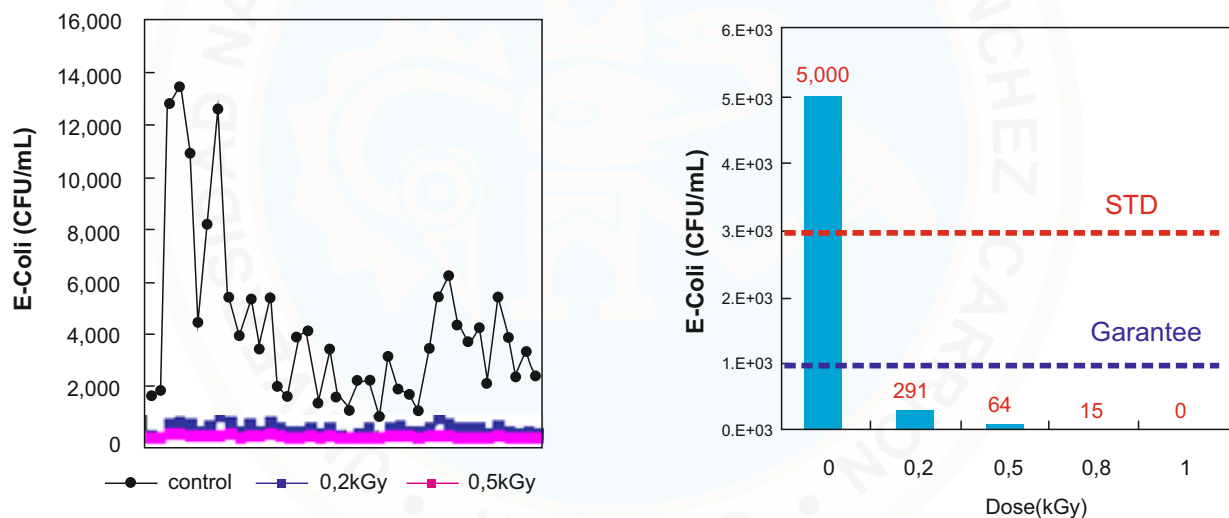


Figura 5. Efecto de haces de electrones sobre *Escherichia Coli* de aguas residuales municipales

Fuente: Kim, Y., Han, B., Kim, J. (2003)

Tabla 6. Desinfección de *Escherichia Coli* en efluentes secundarios de aguas municipales residuales

Dosis (kGy)	Población <i>Escherichia Coli</i> (UFC/mL)
0,0	5000
0,2	291
0,5	64
0,8	15

Fuente: Elaboración propia

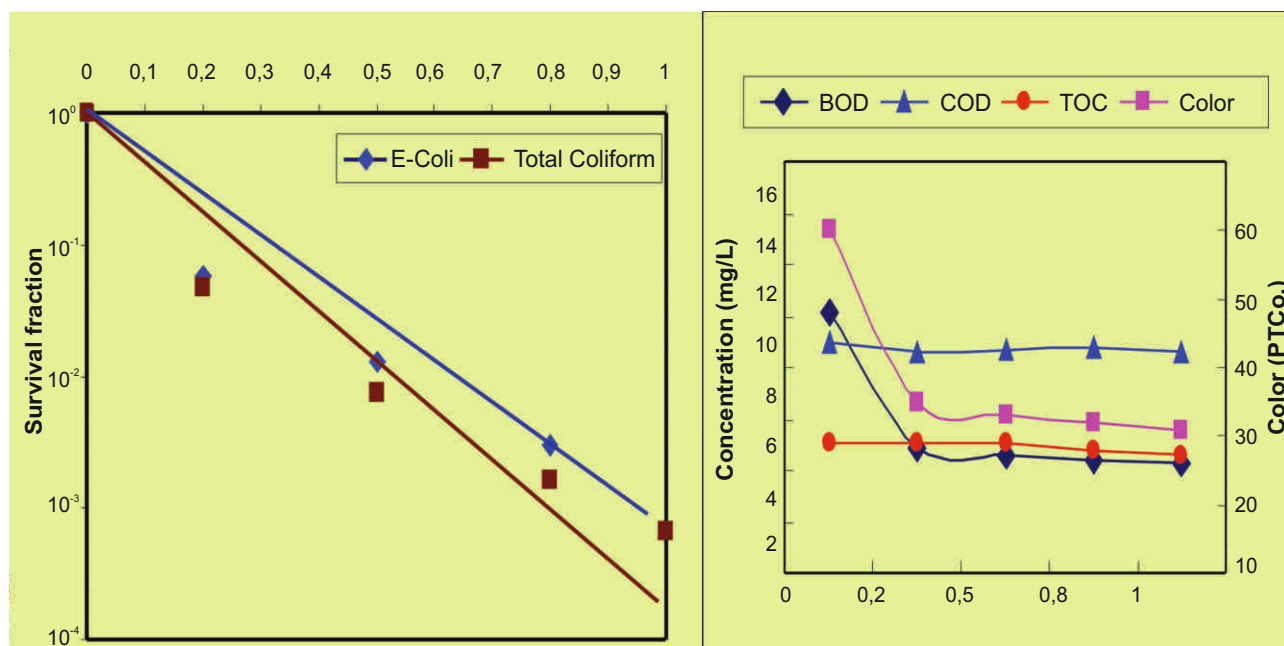


Figura 6. Efectos de las dosis diferentes sobre: *Escherichia coli* en (kGy), BOD₅, DQO, Carbono Total, y Color

Fuente: Kim, Y., Han, B. et al (2009)

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

$$N(D) = N_0 \exp(-KD)$$

Donde:

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

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

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

K : constante de reducción de la población de microorganismos, (KGy⁻¹).

Del ajuste de la ecuación antes descrita, a los datos experimentales, resulta la constante $K = 6,846$ (KGy⁻¹). La dosis decimal, que es la dosis de radiación ionizante necesaria para reducir la población microbiana en un factor de 10, se ha obtenido del siguiente modo.

$$D_{10} = -\frac{\ln\left(\frac{1}{10}\right)}{K} = \frac{\ln\left(\frac{1}{10}\right)}{6.846(KGy^{-1})} = 0.33634(KGy)$$

La dosis de inactivación del *Escherichia Coli* es:

$$D_{inac} = 12 D_{10} = 12 \times 0.33634 \text{ KGy} = 4.04 (KGy)$$

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

DISCUSIÓN

La concentración de macronutrientes para plantas Nitrógeno ($N = 58$ a 117 ppm), Fósforo ($P = 10$ a 78 ppm), y Potasio ($K = 20$ a 58 ppm), ver Tabla 5, es el resultado de dividir el aporte total de macronutrientes de la población de Lunahuaná en g/día, entre el caudal de agua residual en m³/día. Ejemplo para el N: $4,4 \times 10^4 \text{ g/día} / 707,2 \text{ m}^3/\text{día} = 58$

ppm. Es preciso señalar que dichas concentraciones de N , P , y K están distribuidas en el agua residual y los lodos efluentes. Así mismo, comparando los valores de las concentraciones de N , P , y K anteriores con los valores de concentración de la solución hidropónica la Molina ($N = 190$ ppm, $P = 35$ ppm, y $K = 210$ ppm), UNALM (2012), podemos afirmar que dichas concentraciones alcanzan valores similares a la solución hidropónica completa, y se puede referenciar para su valoración nutritiva y valoración económica.

La dosis necesaria para inactivar *Escherichia Coli*, que es el microorganismo patógeno más radio resistente es de $4,04$ (KGy). Si aseguramos que la *E. Coli* se ha



Figura 7. Irradiador emitiendo haces de electrones

inactivado, los demás microorganismos patógenos también se inactivan. Este resultado asegura una desinfección eficiente y nos permite afirmar y verificar la hipótesis.

Consideramos la propuesta viable desde el punto de vista técnico, los irradiadores electrónicos son máquinas electromecánicas On-Off que usan energía eléctrica para su funcionamiento de emisión de haces de electrones, las que se vienen aplicando en otros países para tratamiento de aguas y lodos de depuradoras, e irradiación de alimentos entre otros usos, actualmente ya se ofertan en Perú dada su eficacia, y por ser una tecnología de descontaminación limpia, libre de productos químicos y es mucho más rápida que los métodos tradicionales con rayos gamma.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Electron beam technology ebTech 550 yongsan-dong Yuseong-gu, Daejeon 305-500, Korea, (2009). diapositiva de exposición "International Topical Meeting on Nuclear Research Applications and Utilization of Accelerators Vienna, Austria 4 - 8 May 2009". [Citado el 02 de Nov del 2011]. Disponible en: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/P1433_CD/data/presentations/SM-EB-23.pdf
- INEI, Censos Nacionales (2007). XI de Población y VI de Vivienda. [Citado el 26 de Jul. 2010]. Disponible en: <http://censos.inei.gob.pe/cpv2007/tabulados/#>
- Kim Y., Han B., Kim J. (EB-TECH Co., Ltd., Daejeon, Republic of Korea), (2003). Disinfection of total coli-

forms in the effluent from municipal wastewater plant with electron beam. IAEA-CN-115-38. [Citado el 05 de Marzo, 2012]. Disponible en: <http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/P1251-cd/papers/38.pdf>

- Kim, Y., Han, B., Kim, J., K., Yaacov, N., B. (2009). Design of electron beam sludge hygienization plant. International topical meeting on Nuclear Research Applications and utilization of accelerators. Vienna Austria 4-8 May.
- Moreno Sotomayor, J. B. (2010). Subgerencia de desarrollo urbano, Municipalidad distrital de Nuevo Imperial, Proyecto de Inversión Pública: "Rehabilitación y mejoramiento del sistema de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales en el cercado de Lunahuana, distrito de Lunahuana - cañete - lima", Código SNIP 17006, viable, Lunahuaná, 2010.
- Norma OS.90, Perú. Reglamento Nacional de Edificaciones. Diario oficial El Peruano (06 junio del 2006).
- Rojas Vargas, R. (2002). Coordinador de Proyectos Especiales CEPIS/OPS-OMS. Conferencia Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales, Curso Internacional "Gestión integral de tratamiento de aguas residuales". Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. División de Salud y Ambiente. Organización Panamericana de la Salud. Organización Mundial de la Salud, 2002.
- Rosadio Bernal, R. (2008). Tratamiento biofísico de las aguas residuales para el uso en el ecosistema urbano, Tesis doctoral, Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima-Perú, 2008.
- SUNASS Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento, (2008). Diagnóstico situacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en las EPS del Perú y propuestas de solución, Biblioteca Nacional del Perú, 2008, [citado el 06 de Febrero del 2013], pp. 23-34. Disponible en: http://www.proagua.org.pe/files/de62b65581b727d66847f48aa52fbbfd/Libro_PTAR.pdf
- UNALM (2012), Universidad Nacional Agraria La Molina, Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral. [Citado el 05 de Marzo, 2012]. Disponible en: <http://www.lamolina.edu.pe/hidroponia/solucion1.htm>



Figura 8. Recojo de muestras de agua residual (Planta de tratamiento Pacarán-Lunahuaná), 2013



Figura 9. Investigadores en tanque Imhoff de la Planta de Tratamiento de aguas Residuales (PTAR Pacarán - Lunahuaná), 2013.