

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL
Y DE RECURSOS NATURALES

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



INFORME FINAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO
CONTINUO POR ELECTROCOAGULACIÓN PARA
LOS EFLUENTES DOMÉSTICOS Y SU REÚSO EN
EL RIEGO DE JARDINES Y ÁREAS VERDES”**

Autor: Dr. Máximo Fidel Baca Neglia - Código 1233

**PERIODO DE EJECUCIÓN: Del 01 de Diciembre de 2018
al 30 de Noviembre de 2019**

Resolución de aprobación N° 034-2019-R-Callao 15.01.2019

Callao, Noviembre de 2019

INDICE

	Pág.
INDICE	001
RESUMEM	006
ABSTRAC	007
INTRODUCCION	008
Importancia	009
Justificación	010
Justificación ambiental	010
Justificación económica	011
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	012
1.1. Descripción de la realidad problemática.	012
1.2. Formulación del problema.	015
1.3. Objetivos.	016
1.3.1. Objetivo general	016
1.3.2. Objetivos específicos	017
1.4. Limitantes de la investigación.	017
1.4.1. Limitante teórica.	017
1.4.2. Limitante temporal.	017
1.4.3. Limitante espacial.	017
II. MARCO TEORICO	019
2.1. Antecedentes Nacionales.	019
2.1.1. (Barbosa Palomino, 2011), Tesis de Maestría: “Reducción de la carga contaminante de las aguas residuales de la planta de tratamiento de Totorá-Ayacucho empleando la técnica de electrocoagulación”.	019
2.1.2. (Aguilar Ascón, 2015), Tesis de Maestría: “Evaluación de la eficiencia de una celda de electrocoagulación a escala laboratorio para el tratamiento de agua”.	019
2.2. Antecedentes Internacionales.	020
2.2.1. Guanoluiza Llivera, 2013, Quito – Ecuador, en su tesis de Ing. Químico titulado: “Dimensionamiento de un sistema de electrocoagulación aplicado al tratamiento de aguas residuales domésticas, con y sin irradiación de electrones acelerados”.	020
2.2.2. Mercado Martínez, 2010, Cartagena-Colombia: Trabajo de Investigación “En busca de la depuración de la materia orgánica: reactor fisicoquímico vs. reactor de electrocoagulación”.	021

2.2.3. Robles Mendoza & López Bueno, 2017, Bogotá-Colombia, tesis para optar el título de ingeniero civil, titulado: “Diseño de un prototipo para el tratamiento de aguas residuales domésticas basado en electrocoagulación”	021
2.3. Marco.	022
2.3.1. Teórico.	022
i. Los efluentes.	022
ii. Aguas residuales domésticas.	022
iii. Calidad de efluentes domésticos tratados.	022
2.3.2. Conceptual.	023
2.3.3. Teórico – Conceptual.	025
a. Sistema de tratamiento.	025
b. Sistema de Tratamiento de Electrocoagulación.	026
2.4. Definición de términos básicos.	031
2.4.1. Parámetros de control para el tratamiento de aguas residuales.	031
2.5. Normas Legales.	034
2.5.1. Constitución Política del Perú (29 de diciembre de 1993).	034
2.5.2. Ley N° 28611, Ley General del Ambiente (13 de octubre del 2005).	035
2.5.3. D.L. N° 1055, Decreto Legislativo que modifica la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente.	035
2.5.4. Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM	035
2.5.5. R.M. N° 026-INTICI/DM Protocolo de Monitoreo de efluentes Líquidos y emisiones Atmosféricas.	035
2.5.6. DS N° 003-2010 Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR), para el sector Vivienda.	035
2.5.7. DS N° 011-2006-VIVIENDA, Reglamento Nacional de Edificaciones y su modificatoria: Modifican Norma Técnica OS.090 “Planta de tratamiento de aguas residuales” (DSN° 022-2009-VIVIENDA).	035
2.5.8. Políticas públicas que promueven el tratamiento y reúso de las aguas residuales.	037
III. HIPOTESIS Y VARIABLES	039
3.1. Hipótesis.	039
3.2. Definición conceptual de variables.	039
3.2.1. Variable independiente.	039

3.2.2. Variable dependiente.	039
3.3. Operacionalización de las variables	039
3.3.1. Indicadores operacionales de la variable independiente.	039
3.3.2. Indicadores operacionales de la variable dependiente.	040
3.4. Definiciones operacionales de la variable.	040
IV. DISEÑO METODOLOGICO	042
4.1. Tipo y diseño de la investigación.	042
4.2. Método de investigación.	042
4.2.1. Diseño y montaje del Prototipo del Sistema de Tratamiento Continuo por Electrocoagulación.	042
4.2.2. Celda de electrocoagulación.	043
4.2.3. Selección del material de los electrodos, número y dimensiones.	044
4.2.4. Fuente de poder	045
4.3. Población y muestra.	047
4.4. Lugar de estudio.	047
4.5. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos.	047
4.6. Análisis y procedimientos de datos.	049
V RESULTADOS	050
5.1. Características del efluente previos al tratamiento a través del sistema de electrocoagulación.	050
5.2. Características del efluente a la salida del sistema de electrocoagulación.	050
5.3. Determinación de la eficiencia de remoción de los parámetros del efluente tratado en el sistema de electrocoagulación.	050
5.4. Determinación de la Eficiencia promedio de remoción por cada parámetro.	051
VI DISCUSIÓN DE RESULTADOS	052
6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados.	052
6.1.1. Resultados del Potencial de Hidrogeno después del tratamiento.	053
6.1.2. Resultados de la Demanda Bioquímica del Oxígeno después del Tratamiento.	054
6.1.3. Resultados de la Demanda Química de Oxígeno después del tratamiento.	055
6.1.4. Resultado de los Aceites y Grasas después del tratamiento.	056

6.1.5. Resultados de la presencia de los Coliformes Termotolerantes después del tratamiento.	056
6.1.6. Resultados de la Turbiedad después del tratamiento.	057
6.1.7. Resultados de la Conductividad Eléctrica, después del tratamiento.	058
6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares.	059
6.3. Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes.	060
CONCLUSIONES	064
RECOMENDACIONES	064
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	065
ANEXOS	068
Matriz de consistencia	069
Decreto Supremo N° 007-2017-MINAM	070
APENDICE	080
Figuras	081
4.4.1. Jardín posterior de la FIARN, lugar donde se ubica el Prototipo del Sistema de Tratamiento Continuo por Electrocoagulación.	081
4.4.2. Ubicación el Prototipo del Sistema de Tratamiento Continuo por Electrocoagulación.	081
4.4.3. Prototipo del Sistema de Tratamiento Continuo por Electrocoagulación, vistas del lado derecho, durante su montaje.	082
4.4.4. Prototipo del Sistema de Tratamiento Continuo por Electrocoagulación, vistas del lado izquierdo, durante el montaje.	082
5.1. Vista del PSTCE, trabajando e caudal de 45 L/h, 20 Amperios y 5 Voltios, la vista corresponde al 16 de setiembre de 2019.	083
5.2. Vistas que corresponde a la toma del valor de la muestra del afluente doméstico hacia el PSTCE, del 16 de setiembre de 2019.	083
5.3. Vistas que corresponde a la toma del valor de la muestra del efluente doméstico tratado en el PSTCE, el 16 de setiembre de 2019.	084
5.4. Vistas que corresponde a tres muestras del efluente domésticos, de izquierda a derecha, el primero es la muestra de ingreso, el segundo el de la salida y el tercero el efluente tratado en el interior de la celda del electrocoagulador del PSTCE, del 16 de setiembre de 2019.	084

RESUMEN

El presente trabajo investigación, denominado: **“Evaluación de un sistema de tratamiento continuo por electrocoagulación para los efluentes domésticos y su reúso en el riego de jardines y áreas verdes”**, se realizó en la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional del Callao, ubicada en el Distrito de Bellavista - Callao, investigación que se realiza con el fin de resolver el problema, situación que la planteamos a modo de pregunta: ¿El uso inadecuado de agua potable para el riego de las áreas verdes y jardines de viviendas, residencias, edificios multifamiliares, y de otras ubicadas en las zonas urbanas alta y media de la ciudad de Lima y Callao, contribuyen con las limitaciones de la población con escaso o nulo abastecimiento de agua potable, de modo que si se implementase un sistema de tratamiento continuo por electrocoagulación para los efluentes domésticos generados en las propias viviendas permitirán su reúso como agua de riego?. Con el fin de responder a esta interrogante, nos planteamos la hipótesis siguiente: La calidad de los efluentes domésticos tratados para su reutilización, mediante un sistema de tratamiento continuo por electrocoagulación cumplirán con los LMPs que permitan su reúso como agua de riego.

La investigación desarrollada fue del tipo aplicada de modo que para demostrar la hipótesis de investigación, se diseñó, construyó y opero un Sistema de Tratamiento Continuo por Electrocoagulación con el cual se manipularon los Indicadores de la Variable Independiente, y como resultado de ello se demostró, aquellos valores de los indicadores de la Variable Dependiente que permitan la caracterización de los efluentes tratados para su reutilización, en el riego de áreas verdes, obteniéndose los resultados siguientes: 89.22% de reducción de DBO₅, 85.57% de reducción de DQO, 88.23% de reducción de AyG, 86.83% de reducción de CT, 89.04% de reducción y 12.33% de reducción de la CE, todos estos valores dentro de un pH de 7.8, bajo los parámetros siguientes, caudal 45 L/h, 20 Amperios equivalentes a 4 mA/cm² y 5 V, con ánodos y cátodos de aluminio.

Palabras clave: Electrocoagulación; Densidad de corriente eléctrica; Cátodos.

ABSTRACT

The present research work, entitled: "**Evaluation of an continuous electrocoagulation treatment system for domestic effluents and their reuse in irrigation of gardens and green areas**", was carried out in the University City of the National University of Callao, located in the District of Bellavista - Callao, research that is carried out in order to solve the problem, situation that we ask as a question: Does the inadequate use of drinking water for irrigation of green areas and gardens of housing, residences, multifamily buildings, and others located in the upper and middle urban areas of the city of Lima and Callao, contribute to the constraints of the population with scarce or no supply of drinking water, so if a continuous electrocoagulation treatment system were implemented for the domestic effluents generated in the homes themselves will allow their reuse as irrigation water?

In order to answer this question, we consider the following hypothesis: The quality of domestic effluents treated for reuse, through a continuous electrocoagulation treatment system will comply with the Limits Maximum Permissible that allow its reuse as irrigation water.

The research developed was of the type applied so that to demonstrate the hypothesis of research, and designed, built and operated a Continuous Electrocoagulation Treatment System with which manipulated the Independent Variable Indicators, and as a result was demonstrated, those values of the Dependent Variable indicators that allow the characterization of the effluents treated for reuse, in the irrigation of green areas, obtaining the following results: 89.22% reduction in BOD₅, 85.57% reduction in COD, 88.23% AyG reduction, 86.83% TC reduction, 89.04% reduction and 12.33% EC reduction, all these values within a pH of 7.8, under the following parameters, flow 45 L/h , 20 amps equivalent to 4 mA/cm² and 5 V, with aluminum anodes and cathodes.

Keywords: Electrocoagulation; Electric current density; cathodes.

INTRODUCCION

Frente a las limitaciones de agua potable que existe en la ciudad de Lima para satisfacer las necesidades del total de su población, y a pesar de ello la gran mayoría que habita en las zonas urbanas tiene una demanda de agua muy elevada en comparación con otras capitales en la región.

Sin embargo, esta demanda elevada no es uniforme, son los barrios de medios y altos recursos que más agua usan, mientras que los habitantes de los barrios marginales sufren la situación de escasez diariamente. Una población del orden de 765,212 habitantes de la población de Lima¹, en su mayoría ubicado en los asentamientos humanos ubicados en las laderas de los cerros de la ciudad es abastecida a través de camiones cisterna, pozos artesanales, ríos, acequias o manantiales. Muchas veces esta agua es de inadecuada calidad y su provisión no es segura².

La cobertura actual de agua potable en la ciudad es de 92%, es decir, cerca de 800 mil habitantes no cuenta con el servicio de agua potable.

El consumo promedio en Lima es elevado (250 litros/hab. día), debido a prácticas de uso ineficiente y por las filtraciones en el sistema de distribución, originada por la antigua infraestructura en mal estado. Cerca de 1,5 millones de limeños no tienen acceso al agua potable en sus viviendas³.

Esta situación de escases se ve incrementada cuando el agua no se usa en forma racional, es decir cuando se hace mal uso de esta, en otras palabras cuando la mayoría de los municipios de Lima y Callao actualmente estarían consumiendo 2,300 L/s para el riego de sus áreas verdes recreativas, caudal atendido por 14.4 L/s del río Surco, 100 L/s directamente del río Rímac y otros 400 L/s de las plantas de tratamiento de aguas residuales, por tanto quedaría claro que los restantes 1,785.6 L/s deben ser atendidos con agua potable o subterránea, valioso recurso que no se estaría utilizando como se debiera, en el consumo de la población de

¹ Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), Perú: Formas de Acceso al Agua y Saneamiento Básico; Lima Marzo 2018.

² Lima, mega ciudad en el desierto, Módulo para la creación de materiales de difusión sobre el problema hídrico en Lima y Callao – Aqua Fondo, Inversión de agua para Lima

³ Fuentes de información: INEI, SEDAPAL, ANA, USAID

la ciudad, como se aprecia en la Tabla 2 denominada Consumo de Agua para el Riego de áreas Verdes de Lima y Callao, siguiente:

Tabla 2
Consumo de Agua para el Riego de áreas Verdes de Lima y Callao

Fuente	Caudal m³/s	Volumen Anual Millones M³
Agua de rio	0.1000	3.15
Agua de rio pre-tratada	0.0144	0.45
Agua potable y de pozo	1.7856	56.31
Agua residual tratada	0.4000	12.61
Total:	2.3000	72.52

Fuente: Estudio de opciones de tratamiento y Reúso de Aguas Residuales en Lima Metropolitana – 2011 (Ing. Guillermo Moscoso Cavallini)

Este trabajo de investigación tuvo como Objetivo General “Evaluar el rendimiento de un sistema de tratamiento continuo por electrocoagulación para los efluentes domésticos generados en las viviendas, residencias u otras unidades familiares que permita su reúso en el riego de las áreas verdes y jardines de las propias viviendas, residencias u otras unidades familiares, y proponer el mismo para su implementación”.

El problema objeto de estudio que se planteó a modo de pregunta para la investigación fue el siguiente: **¿El uso inadecuado de agua potable para el riego de las áreas verdes y jardines de viviendas, residencias, edificios multifamiliares, y de otras ubicadas en las zonas urbanas alta y media de la ciudad de Lima y Callao, contribuyen con las limitaciones de la población con escaso o nulo abastecimiento de agua potable, de modo que si se implementase un sistema de tratamiento continuo por electrocoagulación para los efluentes domésticos generados en las propias viviendas permitirán su reúso como agua de riego?**

Importancia.- La importancia del presente trabajo de investigación radica principalmente en la reutilización de los efluentes domésticos tratados para su reúso en el riego de áreas verdes y jardines mediante un sistema compacto de electrocoagulación, que permita su fácil implementación y comercialización, de modo que se sustituya el uso de agua potable por este

concepto mejorando la oferta de agua potable para cubrir las necesidades de la población con actual carencia o deficiencia de este líquido elemental. Este sistema de tratamiento podría ser replicado en las ciudades del país que tengan las deficiencias similares o mayores que las ciudades de Lima y Callao, su réplica permitirá implementar un nuevo nicho de actividades de producción y tecnología para el reúso de las aguas servidas con fines de sostenibilidad.

Justificación.- El presente trabajo de investigación se justificó debido a la necesidad de sustituir el agua potable que se viene utilizando con fines de riego de áreas verdes y jardines específicamente en las viviendas, residencias u otras unidades familiares, sustitución que sería a través del tratamiento de los efluentes generados en las propias viviendas, de modo que este tratamiento permita alcanzar la calidad aceptable para este reúso, de modo que se hace necesario la propuesta de un sistema de tratamiento que utilice alguna tecnología que permita su instalación en las propias instalaciones de la viviendas, residencia entre otras, por lo que el presente trabajo de investigación se enmarca dentro del modelo de Innovación Tecnológica.

La calidad de los efluentes domésticos permite tratar estas a nivel de un sistema de tratamiento que acondicione las características del efluente tratado para su reutilización con fines de riego dentro de la normatividad vigente, este sistema de tratamiento (prototipo compacto) tendrá la capacidad de transformar las características del efluente domestico de modo que se ha de comportar como la herramienta principal para la investigación.

Justificación ambiental.- Contar con un nuevo sistema que permita tratar los efluentes domésticos para su reúso como agua de riego cumpliendo con la normatividad vigente, sistema que se instalaría a nivel de la propia vivienda y le permita el reúso del agua, en la medida que se implemente su uso, el agua potable que se usaba en forma inadecuadamente para regar jardines y áreas verdes, sería la fuente para abastecer a la población carente de agua potable.

Justificación económica.- El tratamiento físico químico de las aguas residuales domésticas, se realizan dosificando coagulantes en unos casos sales de hierro y/o de aluminio que requieren de infraestructura de alto costo, al igual que el uso de polímeros sintéticos que generalmente son importados de un costo mucho mayor y que igualmente requiere de infraestructura similar al del uso de sales inorgánicas, de adoptase por tratamiento biológico, ello también exige de infraestructura especial y de costo significativo, en cambio, la técnica de electrocoagulación por su alta practicidad de operación, el costo de los electrodos fabricados de placas metálicas son de mucho menor costo, haciendo uso de la energía eléctrica de baja carga y voltaje, lo que representa ser más económica que las otras alternativas tanto en la inversión como en su operación.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

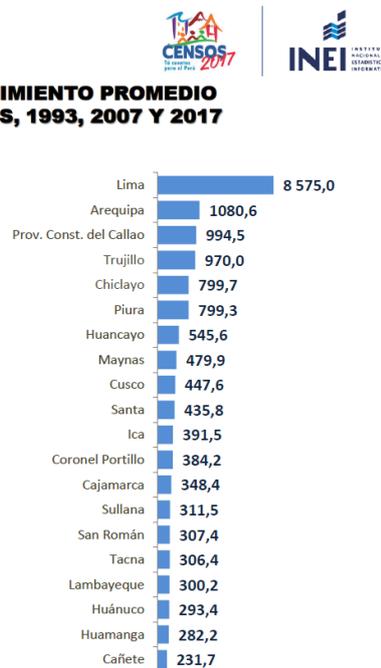
1.1. Descripción de la realidad problemática.- La zona metropolitana de Lima y Callao ocupan el segundo lugar como las ciudades más grandes del mundo ubicada en un desierto, después de la ciudad de El Cairo en Egipto. Solo llueve 9 milímetros al año y la escasez de agua es una de las principales condicionantes ambientales que ha acompañado el crecimiento de la ciudad durante su historia⁴. Lograr el manejo ambiental del ecosistema desértico y llegar a una gestión integral, equitativa y eficiente del agua es un enorme desafío, considerando que Lima provincia y Callao tienen una población de casi 8'575,000 y 994,500 respectivamente, (ver Tabla 1.1), lo que sumados ascienden a 9'769,500 de habitantes⁵, convirtiéndola en la 5° ciudad de Sudamérica junto con Sao Paulo, Río de Janeiro, Buenos Aires y Bogotá con mayor población.

TABLA 1.1

20 provincias más pobladas

PERÚ: POBLACIÓN CENSADA Y TASA DE CRECIMIENTO PROMEDIO ANUAL, DE LAS 20 PROVINCIAS MÁS POBLADAS, 1993, 2007 Y 2017

Provincia	1993	2007	2017	Tasa de crecimiento promedio anual	
				1993-2007	2007-2017
Lima	5 706 127	7 605 742	8 574 974	2,0	1,2
Arequipa	676 790	864 250	1 080 635	1,7	2,3
Prov. Const. del Callao	639 729	876 877	994 494	2,2	1,3
Trujillo	631 989	811 979	970 016	1,8	1,8
Chiclayo	617 881	757 452	799 675	1,4	0,5
Piura	544 907	665 991	799 321	1,4	1,8
Huancayo	437 391	466 346	545 615	0,4	1,6
Maynas	393 496	492 992	479 866	1,6	-0,3
Cusco	270 324	367 791	447 588	2,2	2,0
Santa	338 951	396 434	435 807	1,1	1,0
Ica	244 741	321 332	391 519	1,9	2,0
Coronel Portillo	248 449	333 890	384 168	2,1	1,4
Cajamarca	230 049	316 152	348 433	2,3	1,0
Sullana	234 562	287 680	311 454	1,4	0,8
San Román	168 534	240 776	307 417	2,5	2,5
Tacna	188 759	262 731	306 363	2,3	1,5
Lambayeque	210 537	259 274	300 170	1,5	1,5
Huánuco	223 339	270 233	293 397	1,3	0,8
Huamanga	163 197	221 469	282 194	2,2	2,5
Cañete	152 378	198 811	231 731	1,9	1,5



Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática – Censos Nacionales de Población y Vivienda.

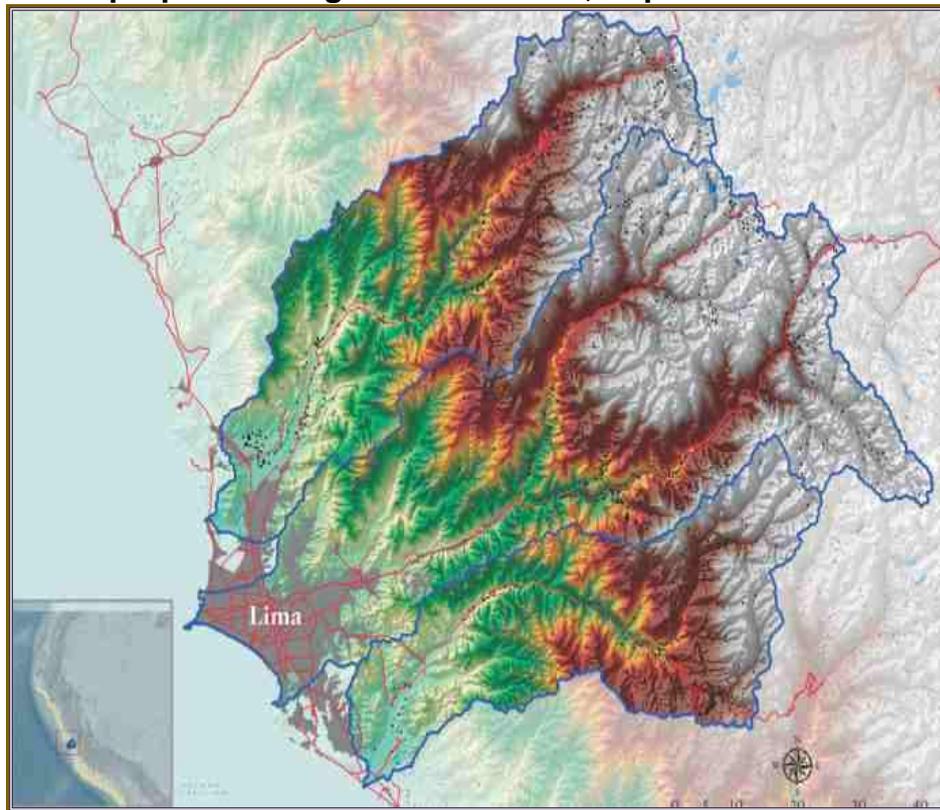
⁴ Lima, mega ciudad en el desierto, Módulo para la creación de materiales de difusión sobre el problema hídrico en Lima y Callao – Aqua Fondo, Inversión de agua para Lima

⁵ Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) informe emitido el 25 de junio 2018, sobre el Censos Nacionales del 2017 (XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas).

A diferencia de El Cairo, la ciudad de Lima no tiene grandes ríos ni reservas de agua. En la capital del Perú, se asienta cerca de 30% de la población de todo el país, que se abastece de agua utilizando el recurso hídrico de tres cuencas, de los ríos Chillón, Rímac y Lurín (ver Figura 1.1).

Estos ríos nacen en la sierra de Lima, en las provincias de Huarochirí y Canta. El agua de estas cuencas tiene origen en los Andes Centrales y en parte proviene de los glaciares ubicados sobre los 4,500 metros sobre el nivel del mar⁶.

Figura 1.1
Mapa de las cuencas de los Ríos Chillón, Rímac y Lurín, que proporciona agua dulce a Lima, Capital de Perú.



Fuente: SIG MINAM y Base de Datos TNC.

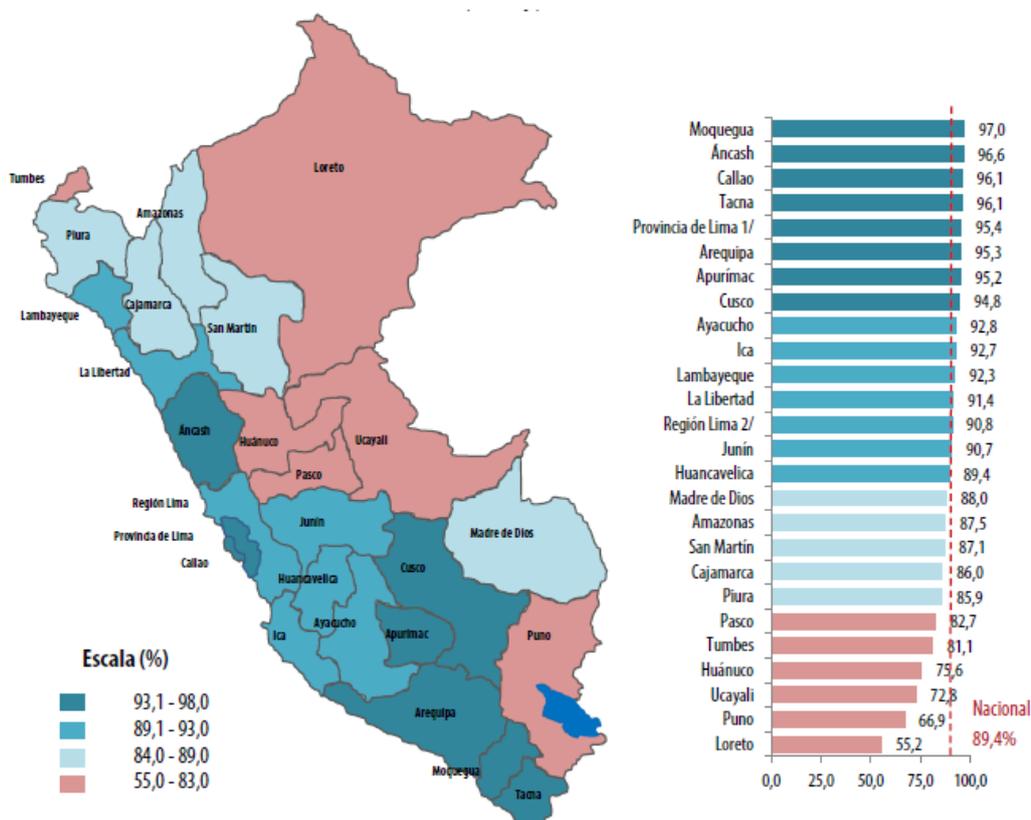
Elaborado por: M. Ibáñez – The Nature Conservancy. Copyright © TNC 2012.

Sin embargo la fuente de agua provenientes de estos tres ríos, no cuentan con la cantidad suficiente que garantice la demanda requerida por la población, y la situación se vuelve crítica cuando

⁶ Lima, mega ciudad en el desierto, Módulo para la creación de materiales de difusión sobre el problema hídrico en Lima y Callao – Aqua Fondo, Inversión de agua para Lima

nuevos asentamientos humanos se sitúan en los perímetros de las áreas urbanas, carentes de redes sanitarias y de agua potable, peor aun cuando la carencia de agua para satisfacer la demanda de agua potable para cerca del 8.1% y 6.6 % respectivamente de la población⁷ de Lima provincia (694,575 habitantes) y Callao (65,637), (ver Figura 1.2) se ve aún más alejada de ser satisfecha debido al mal uso del agua potable, al destinarse parte de esta para el uso de riego de parques y jardines de la ciudad y aun de las áreas verdes y jardines de las propias viviendas y otras formas de habitas.

Figura 1.2
Población que consume agua de la red pública por departamento (%)



Nota: Red pública, incluye agua por red pública dentro de vivienda, fuera de la vivienda, pero dentro de la edificación o pilón de uso público.

1/ Comprende los 43 distritos que conforman la provincia de Lima.

2/ Comprende las provincias de Barranca, Cajatambo, Canta, Cañete, Huaral, Huarochirí, Huaura, Oyón y Yauyos.

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática- Encuesta Nacional de Programas Presupuestales.

⁷ Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), Perú: Formas de Acceso al Agua y Saneamiento Básico; Lima Marzo 2018.

1.2. Formulación del problema.- Frente a las limitaciones de agua potable que existe en la ciudad de Lima para satisfacer las necesidades del total de su población, y a pesar de ello la gran mayoría que habita en las zonas urbanas tiene una demanda de agua muy elevada en comparación con otras capitales en la región.

Sin embargo, esta demanda elevada no es uniforme, son los barrios de medios y altos recursos que más agua usan, mientras que los habitantes de los barrios marginales sufren la situación de escasez diariamente. Una población del orden de 765,212 habitantes de la población de Lima⁸, en su mayoría ubicado en los asentamientos humanos ubicados en las laderas de los cerros de la ciudad es abastecida a través de camiones cisterna, pozos artesanales, ríos, acequias o manantiales. Muchas veces esta agua es de inadecuada calidad y su provisión no es segura⁹.

La cobertura actual de agua potable en la ciudad es de 92%, es decir, cerca de 800 mil habitantes no cuenta con el servicio de agua potable. El consumo promedio en Lima es elevado (250 litros/hab. día), debido a prácticas de uso ineficiente y por las filtraciones en el sistema de distribución, originada por la antigua infraestructura en mal estado. Cerca de 1,5 millones de limeños no tienen acceso al agua potable en sus viviendas¹⁰.

Esta situación de escases se ve incrementada cuando el agua no se usa en forma racional, es decir cuando se hace mal uso de esta, en otras palabras cuando la mayoría de los municipios de Lima y Callao actualmente estarían consumiendo 2,300 L/s para el riego de sus áreas verdes recreativas, caudal atendido por 14.4 L/s del río Surco, 100 L/s directamente del río Rímac y otros 400 L/s de las plantas de tratamiento de aguas residuales, por tanto quedaría claro que los restantes 1,785.6 L/s deben ser atendidos con agua potable o subterránea, valioso recurso que no se estaría utilizando como se

⁸ Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), Perú: Formas de Acceso al Agua y Saneamiento Básico; Lima Marzo 2018.

⁹ Lima, mega ciudad en el desierto, Módulo para la creación de materiales de difusión sobre el problema hídrico en Lima y Callao – Aqua Fondo, Inversión de agua para Lima

¹⁰ Fuentes de información: INEI, SEDAPAL, ANA, USAID

debiera, en el consumo de la población de la ciudad, como se aprecia en la Tabla 1.2 denominada Consumo de Agua para el Riego de áreas Verdes de Lima y Callao, siguiente:

Tabla 1.2
Consumo de Agua para el Riego de áreas Verdes de Lima y Callao

Fuente	Caudal m³/s	Volumen Anual Millones M³
Agua de rio	0.1000	3.15
Agua de rio pre-tratada	0.0144	0.45
Agua potable y de pozo	1.7856	56.31
Agua residual tratada	0.4000	12.61
Total:	2.3000	72.52

Fuentes: Estudio de opciones de tratamiento y Reúso de Aguas Residuales en Lima Metropolitana – 2011 (Ing. Guillermo Moscoso Cavallini)

Enunciado del problema:

¿El uso inadecuado de agua potable para el riego de las áreas verdes y jardines de viviendas, residencias, edificios multifamiliares, y de otras ubicadas en las zonas urbanas alta y media de la ciudad de Lima y Callao, contribuyen con las limitaciones de la población con escaso o nulo abastecimiento de agua potable, de modo que si se implementase un sistema de tratamiento continuo por electrocoagulación para los efluentes domésticos generados en las propias viviendas permitirán su reúso como agua de riego?

1.3. Objetivos.- El trabajo de Investigación se planteó inicialmente para desarrollarse durante dos años, sin embargo el VRI creo conveniente se desarrolle el mismo solo en un año, situación que dio lugar a que su desarrollo se efectuase en dos partes, por lo que se planteó:

1.3.1. Objetivo general.- Diseñar el sistema de tratamiento por electrocoagulación para los efluentes domésticos generados en las viviendas, residencias u otras unidades familiares que permita su reúso en el riego de las áreas verdes y jardines de las propias viviendas, residencias u otras unidades familiares, y proponer el mismo para su implementación.

1.3.2. Objetivos específicos.-

- Identificar, las características de los efluentes domésticos previos a su tratamiento.
- Diseñar, construir el sistema de tratamiento continuo por electrocoagulación para los efluentes domésticos.
- Operar el sistema de tratamiento para evaluar su eficiencia.

1.4. Limitantes de la investigación.-

1.4.1. Limitante teórica.- La limitación del presente tema de investigación radica principalmente en la poca información sobre la el diseño de sistemas continuos de electrocoagulación. Otra del uso, de sistema continuos de electrocoagulación para el tratamiento de efluentes domésticos para su reúso en el riego de áreas verdes.

1.4.2. Limitante temporal.- La limitante de carácter temporal, es que no es posible desarrollar todo la investigación completa como inicialmente la propusimos para desarrollarla durante dos años, se nos limitó para que solo aplicáramos un año para el presente trabajo, tiempo que limito la investigación solo en el desarrollo del diseño y construcción y montaje de un prototipo para el tratamiento de los efluentes domésticos, unidad que está pendiente la puesta en marcha para evaluación (situación que se encuentra mientras preparamos el presente informe)

1.4.3. Limitante espacial.- El trabajo de investigación se realizó en la Ciudad Universitaria de la Universidad Del Callao, específicamente en el Jardín posterior de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales, donde se generan los efluente, se cuenta con una toma o buzón para la toma de los fluentes, y el espacio para ubicar el prototipo del electrocoagulador para el tratamiento de los efluentes.

Este sistema de tratamiento dependiendo del éxito de la investigación podría ser replicado en las ciudades del país que tengan las deficiencias similares o mayores que las ciudades de Lima y Callao,

su réplica permitirá implementar un nuevo nicho de actividades de producción y tecnología para el reúso de las aguas servidas con fines de sostenibilidad.

II. MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes Nacionales. –

2.1.1. Barboza Palomino, 2011, presentó su tesis de maestría denominada: **Reducción de la carga contaminante de las aguas residuales de la planta de tratamiento de Totora-Ayacucho empleando la técnica de electrocoagulación**; Cuya problemática de estudio:

“indica la existencia de una alta concentración de bacterias coliformes totales (BCT) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) a la salida de la planta de tratamiento dirigidas al río Alameda. El objetivo de esta investigación es reducir la carga de contaminantes, específicamente determinar por medición el porcentaje de remoción de la turbidez, coliformes fecales y DBO₅; así como evaluar los parámetros de trabajo para el proceso, las cuales son: densidad de corriente, tiempo de electrocoagulación, conductividad, turbidez, y su efecto en el pH en la muestra en estudio. La metodología fue de tipo experimental separadas en dos etapas, la primera consistió en realizar la caracterización física, química y biológica del efluente; y la segunda, la aplicación de electrodos de sacrificio al aluminio, para reducir la carga contaminante. En la investigación se concluyó que en 25 minutos de tratamiento utilizando una densidad de corriente de 12.5mA/cm² y 21-23 voltios, con pH de trabajo regulado 7.33-7.34 se obtuvo 94.65% de remoción de turbidez, 65.1% de remoción de coliformes fecales y 64.8% de disminución de DBO₅, logrando mejorar la calidad del agua al reducir la turbidez y disminuir el valor de DBO₅ a 14.75 mg O₂/L cuyo valor estaría dentro de los estándares de calidad ambiental del agua”.

2.1.2. Aguilar Ascón, 2015, en su tesis de maestría titulada: **Evaluación de la eficiencia de una celda de electrocoagulación a escala laboratorio para el tratamiento de agua**; Tuvo como objetivo:

“evaluar la eficiencia de la remoción de la demanda química de oxígeno (DQO) en una celda de electrocoagulación en base a electrodos de aluminio y hierro, proveniente del agua residual de la industria de pintura, así como determinar las condiciones del pH, conductividad, intensidad de corriente y tiempo de electrocoagulación. La metodología fue de tipo experimental, que consistió en el desarrollo del diseño del reactor, ensayos preliminares y definitivos, y condiciones de operación óptimas. La principal conclusión fue que a una intensidad de corriente (I)=5 amperios, pH natural del efluente = 7.12 y tiempo de tratamiento de 15 minutos se determinó una eficiencia promedio del 87% en la remoción del DQO, la cual cumple con la normativa ambiental vigente”.

2.2. Antecedentes internacionales. -

2.2.1. Guanoluiza Llive, 2013, Quito – Ecuador, en su tesis para obtener el título de Ingeniero Químico, titulado: **Dimensionamiento de un sistema de electrocoagulación aplicado al tratamiento de aguas residuales domésticas, con y sin irradiación de electrones acelerados**; Se estudió:

“el tratamiento del agua residual doméstica descargada en el río Machángara, de la ciudad de Quito, a escala de laboratorio, por medio de electrocoagulación y la combinación de este tratamiento con un proceso de irradiación con electrones acelerados. Para la electrocoagulación, se analizó la influencia del tipo de ánodo, el flujo de alimentación y la intensidad de corriente eléctrica. Para ello, se realizaron ensayos con electrodos de hierro y aluminio, con flujos de alimentación de 18 L/h, 30 L/h, 50 L/h, 70 L/h y 100 L/h, intensidades de corriente de 2 A, 4 A, 6 A, 10 A y 13 A, en un reactor de electrocoagulación de 6,5 L. La irradiación en el acelerador de electrones se efectuó a una dosis de 3 kGy. Se determinó que las mejores condiciones de operación del sistema de electrocoagulación, a escala de laboratorio, fueron el uso de ánodos de hierro, flujos de 18 L/h y una intensidad de corriente de 13 A. Los resultados mostraron que no es necesario realizar el

proceso de irradiación previo. Finalmente, con estos parámetros de operación definidos, se dimensionó un sistema de electrocoagulación para el tratamiento de la descarga del colector municipal Anglo - French".

2.2.2. Mercado Martínez, 2010, Cartagena-Colombia, en su trabajo de investigación titulado: **En busca de la depuración de la materia orgánica: reactor fisicoquímico vs. reactor de electrocoagulación**; se analizó:

“la mejor alternativa entre dos tecnologías usadas en el tratamiento de aguas residuales: reactor de precipitación por efecto químico vs. reactor electroquímico de electrocoagulación, en la búsqueda para remover materia orgánica en términos de la DQO presente en las aguas residuales industriales provenientes de una fábrica automotriz”.

2.2.3. Robles Mendoza & Lopez Bueno, 2017, Bogota-Colombia, en su tesis para optar el título de ingeniero civil, titulado: **Diseño de un prototipo para el tratamiento de aguas residuales domésticas basado en electrocoagulación**; su investigación:

“consistió en el diseño y construcción a escala de laboratorio de un prototipo de electrocoagulador, como opción de tratamiento de aguas residuales domésticas y urbanas. En el cual se desarrollaron diferentes pruebas de laboratorio a fin de analizar la eficiencia del sistema, mediante el tratamiento de agua residual no convencional basado en electrocoagulación, con el cual se mejoró la calidad del agua, medida en función de diferentes parámetros fisicoquímicos como: sólidos, pH, turbidez, color, DQO, temperatura, DBO, densidad relativa y oxígeno disuelto. Con la experimentación realizada se obtuvieron eficiencias de remoción de DQO (75-83%), DBO₅ (89-100%), sólidos totales disueltos (51-54%), turbidez (93-97%), color (82-95%), conductividad (51-52%), Coliformes (99.9%), al igual que el aumento del porcentaje de oxígeno disuelto (349 – 578%) con respecto al agua residual cruda”.

2.3. Marco. -

2.3.1. Teórico. - Tendremos que referirnos primero al concepto de Efluentes, en segundo lugar, debemos referirnos a las Aguas residuales domésticas y en tercer lugar a la Calidad de efluentes domésticos tratados.

i Los efluentes. - son una mezcla compleja que contiene agua, mezcla de contaminantes orgánicos e inorgánicos tanto en suspensión como disueltos que implican una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica, (Hernández Muñoz y Hernández Lehmann, 1995, p 13).

Los principales contaminantes en el agua residual entran en las siguientes categorías: nitrógeno, fósforos, organismos patógenos, metales pesados, y trazas orgánicas. Los patógenos incluyen bacterias, virus, protozoarios y helmintos. Los metales pesados incluyen cadmio, cobre, cromo, plomo, mercurio, selenio, y zinc. Las trazas orgánicas incluyen compuestos sintéticos muy estables, sobre todo hidrocarburos clorados, (Lara Borreo J. 1999, p. 19).

ii Aguas residuales domésticas.- Son aguas procedentes de los vertidos de las actividades humanas. Su composición es muy variable dependiendo del uso que se le da al agua, (C. Orozco B. et. al. 2004), a su vez estas pueden clasificarse en:

- **Aguas de cocina.**- (sales, materia, grasa, sólidos etc.).
- **Aguas blancas de baño y lavado** (jabones, detergentes, líquido de limpieza etc.).
- **Aguas negras.**- Procedente de la defecación del ser humano.

iii. Calidad de efluentes domésticos tratados.- La reutilización de aguas para el riego de áreas verdes tiene que ver con el sistema de tratamiento y con su calidad, por ello se han dictado las normas de calidad, de acuerdo a el Health Services Survey Departament en EE.UU, así como en Monterrey (México), señalan que la utilización de las aguas residuales para el riego de plantas, es saludable y aceptable, siempre y cuando se le dé el tratamiento adecuado antes de ser utilizado, (Calidad de efluentes domésticos tratados). La reutilización de las aguas residuales debe considerar lo siguiente:

- Caracterización biológica y contenido de sólidos orgánicos e inorgánicos.
- Problemática de la contaminación.
- Técnicas de Control que garanticen la calidad adecuada.
- Consideraciones socio-económicas.
- Técnicas de reutilización.

Aquí en el Perú lo exige la Ley N° 29338 – Ley de Recursos Hídricos del 09.03.2009 y su Reglamento, en el Capítulo VII REUSO DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS:

Artículo 147°. - **Reúso de agua residual.** - Para efectos del reglamento se entiende por reúso de agua residual a la reutilización, de aguas residuales tratadas resultantes de las actividades antropogénicas.

Artículo 148°. - **Autorización de reúso de aguas residuales tratadas.** - Podrá autorizarse el reúso de aguas residuales únicamente cuando se cumplan con todas las condiciones que se detallan a continuación:

- a. Sean sometidas a los tratamientos previos y que cumplan con los parámetros de calidad establecidos para los usos sectoriales, cuando corresponda.
- b. Cuente con la certificación ambiental otorgada por la autoridad ambiental sectorial competente, que considere específicamente la evaluación ambiental de reúso de las aguas.
- c. En ningún caso se autorizará cuando ponga en peligro la salud humana y el normal desarrollo de la flora y fauna o afecte otros usos.

2.3.2. Conceptual. - A modo de glosario, se presentan los términos a utilizar en la investigación.

- **Ánodo.**- Elemento de los dispositivos electrónicos que recibe el flujo de corriente de electrones” (Malvino, 1999, p.1094).
- **Cátodo.**- Elemento de los dispositivos electrónicos que proporciona el flujo de corriente de electrones, (Malvino, 1999, p.1094).

- **Circuito eléctrico.** - Lazo cerrado formado por su conjunto de elementos, dispositivos y equipos eléctricos, alimentados por la misma fuente de energía y con las mismas protecciones contra sobretensiones y sobrecorrientes, (Ministerio de Minas y Energía de Colombia, 2013, p.19).
- **Corriente alterna.** - Corriente eléctrica que invierte su dirección de forma repetida; las cargas eléctricas vibran alrededor de puntos relativamente fijos, conceptos básicos.
- **Corriente directa o continua.** - Es el paso de electrones por un conductor siempre en el mismo sentido y con una intensidad constante a lo largo del tiempo (...). Una corriente continua mantiene constantemente el mismo valor de la intensidad y el mismo sentido, (Departamento de electrónica IES Juan de la Cierva, p.1)
- **Corriente eléctrica.** - Es el movimiento de cargas eléctricas entre dos puntos que no se hallan al mismo potencial, por tener uno de ellos un exceso de electrones respecto al otro, (Ministerio de Minas y Energía de Colombia, 2013, p.21).
- **Densidad de corriente.** - Expresa la cantidad de flujo de carga en un punto dentro de un conductor (...), es una cantidad microscópica y se representa por un vector en la dirección de la corriente en un punto dentro del conductor, (Barco, Rojas,y Restrepo, 2012, p.171).
- **Fuente eléctrica o fuente de fuerza electromotriz.** - Existen varios dispositivos como pilas, baterías, generadores eléctricos y acumuladores entre otros en los cuales mantienen una diferencia de potencial entre dos puntos de un conductor. A estos dispositivos se les denomina Fuentes de fuerza electromotriz (fem). Una fuente de fuerza electromotriz (fem) es un dispositivo el cual transforma energía química, mecánica o cualquier otro tipo de energía en energía eléctrica. (Barco et al., 2012, p.174).
- **Fuerza electromotriz (fem).** - Trabajo que debe hacer la fuente sobre los portadores de carga para moverlos de un punto de bajo potencial a un punto de mayor potencial. En otras palabras, es la

diferencia de potencial entre los bornes de la fuente cuando no está suministrando corriente eléctrica. (Barco et al., 2012, p.174).

- **Intensidad de corriente.** - Es la cantidad de carga eléctrica que atraviesa una sección transversal cualquiera de un conductor en la unidad de tiempo” (Barco et al., 2012, p.169).

- **Puente rectificador.** - Tipo más común de circuito rectificador. Tiene cuatro diodos. dos de los cuales conducen al mismo tiempo. Para un transformador dado, produce la tensión continua de salida mayor con el rizado menor” (Malvino, 1999, p.1101).

2.3.3. Teórico – Conceptual. - se incluye las categorías de los sistemas de tratamiento.

a. Sistemas de tratamiento. - Las características del agua residual determinan el sistema de tratamiento, ver Tabla 2.1 (Metcalf and Eddy, 1995).

Tabla 2.1
OPERACIONES Y PROCESOS UNITARIOS O SISTEMAS DE TRATAMIENTO UTILIZADOS PARA ELIMINAR LA MAYORÍA DE CONTAMINANTES PRESENTES EN LAS AGUAS RESIDUALES

Contaminante	Operación unitaria, proceso unitario o sistema de tratamiento
Sólidos en Suspensión	Desbaste y dilaceración, Desarenado, Sedimentación, Filtración, Flotación, Adición de polímeros, Coagulación/sedimentación, Sistemas naturales (tratamiento por evacuación al terreno).
Materia orgánica biodegradable	Variantes de fangos activados, películas fijas: Filtros percoladores ó biodiscos (RBC), Variantes del lagunaje, Filtración intermitente en arena, sistemas físico químicos, sistemas naturales.
Compuestos orgánicos volátiles	Arrastre por aire, Tratamiento de gases, Adsorción con Carbón,
Patógenos	Cloración, Hipo cloración, Cloruro de bromo, Ozonización, Radiación U.V. Sistemas naturales
Nutrientes Nitrogenadas	Variantes de sistemas de cultivo en suspensión con nitrificación y de nitrificación, Variantes de sistemas de película fija con nitrificación de nitrificación, Arrastre de amoníaco, Intercambio iónico, Cloración, Sistemas naturales.
Fósforo	Adición de sales metálicas, Coagulación y sedimentación con cal, eliminación biológica del fósforo, eliminación biológica –química del P, Sistemas naturales.
Nitrógeno y fósforo	Eliminación biológica de nutrientes,
Materia orgánica refractaria	Adsorción de carbón, Ozonización terciaria, Sistema naturales.
Metales pesados	Precipitación química, Intercambio iónico, sistema de tratamiento en el terreno.
Sólidos orgánicos domésticos	Intercambio iónico, Osmosis inversas, electro diálisis.

Fuente: METCALF & EDDY – INGENIERIA DE AGUAS RESIDUALES

b. Sistema de Tratamiento de Electrocoagulación.- El método de tratamiento para los efluentes domésticos a ser evaluado será el de electrocoagulación.

Es un proceso electroquímico muy utilizado en el tratamiento de aguas residuales, por medio del cual se desestabilizan las partículas de contaminantes que se encuentran suspendidas, emulsionadas o disueltas en un medio acuoso, induciendo corriente eléctrica en el agua a través de placas metálicas paralelas de diversos materiales, en los que el hierro y el aluminio son los más utilizados (Arango, 2005).

En el proceso de electrocoagulación hay generación de coagulantes in situ por la disolución de iones de aluminio o de hierro de los electrodos de aluminio o hierro respectivamente. La generación de iones metálicos tiene lugar en el ánodo y en el cátodo hay liberación de burbujas de hidrógeno gaseoso las cuales ayudan a la flotación de las partículas floculadas, las mismas que serán retiradas posteriormente (Arango, 2005).

La electrocoagulación es utilizada en la remoción de contaminantes de muy diversas aguas residuales, tales como las de la industria de galvanoplastia, electro-plateado metálico, fábricas de envasados, industria del papel (desperdicios de molinos de papel), peleterías, molinos de acero, efluentes con contenido de cromo, plomo o mercurio y efluentes con contenido de aceites como los generados por talleres de maquinaria, refinerías, talleres de reparación de autos, transporte, almacenamiento y distribución de aceites, efluentes de la industria alimentaria, lavanderías e industria textil, y finalmente ha sido utilizada en la remoción de los contaminantes de las aguas para consumo humano y residuales domésticas (Arango,2007).

- **Mecanismos del proceso de electrocoagulación.** - En la electrólisis ocurren una serie de procesos físicos y químicos que

permiten la remoción de los contaminantes. Estos procesos se pueden describir de la siguiente manera:

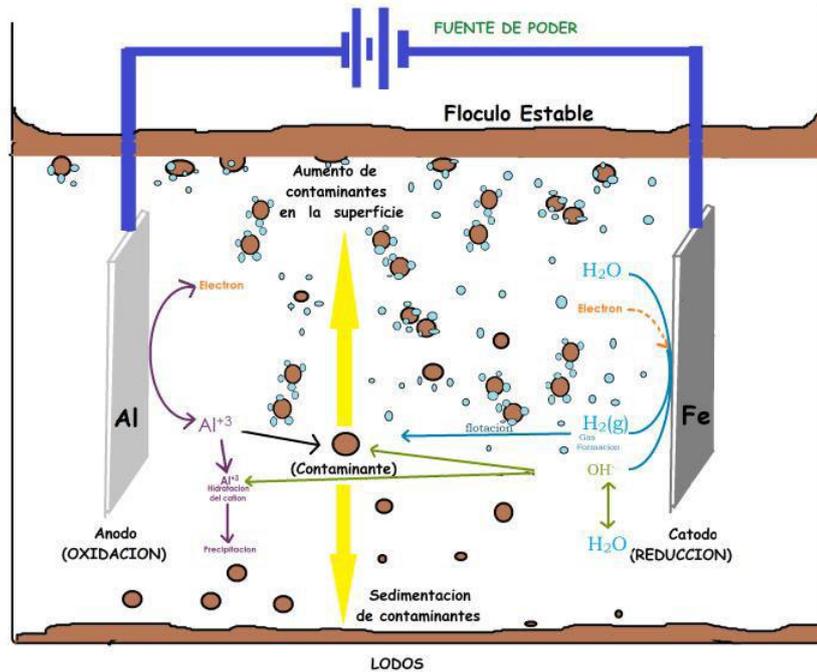
En los electrodos ocurren una serie de reacciones que proporcionan iones tanto positivos como negativos. El ánodo provee iones metálicos. A este electrodo se le conoce como electrodo de sacrificio, ya que la placa metálica que lo conforma se disuelve, mientras la placa que forma el cátodo permanece sin disolverse. (Restrepo, Arango y Garcés, 2006).

Los iones producidos cumplen la función de desestabilizar las cargas que poseen las partículas contaminantes presentes en el agua. Cuando estas cargas se han neutralizado los sistemas que mantienen las partículas en suspensión desaparecen, permitiendo la formación de agregados de los contaminantes e iniciando así el proceso de coagulación. Los iones que proveen los electrodos desencadenan un proceso de eliminación de contaminantes que se puede dar por dos vías: la primera por reacciones químicas y precipitación y la segunda procesos físicos de agregación de coloides, que dependiendo de su densidad pueden flotar o precipitar.

Las reacciones más importantes que pueden sufrir las partículas de contaminantes son: hidrólisis, electrólisis, reacciones de ionización y formación de radicales libres. Estas reacciones cambian las propiedades del sistema agua- contaminantes, que conlleva a la eliminación de la carga contaminante del agua. (Restrepo, et al 2006).

De acuerdo con la ley de Faraday, que rige el proceso de electrocoagulación, la cantidad de sustancias formadas en un electrodo es proporcional a la cantidad de cargas que pasan a través del sistema, y el número total de moles de sustancia formada en un electrodo está relacionado por estequiometría con la cantidad de electricidad puesta en el sistema, ver Figura 2.1.

Figura 2.1
Esquema de una celda de electrocoagulación



Fuente: (Mollah et al., 2004).

A diferencia de la coagulación química, proceso en el cual el coagulante es adicionado al sistema como agente químico, en la electrocoagulación el coagulante es formado in situ mediante las reacciones dadas por la disolución de iones del metal que conforma el electrodo de sacrificio. Como se explicó anteriormente, la producción de iones metálicos se da en el ánodo y son los iones que, por oxidación electrolítica, dan origen a la sustancia química que hace las veces de coagulante. (Restrepo, et al, 2006).

Se considera que en el proceso de electrocoagulación intervienen tres etapas: inicialmente se forma el coagulante por oxidación electrolítica del metal del ánodo, luego se da la desestabilización de los contaminantes y emulsiones y, finalmente, se produce la formación de flocos por agregación de partículas del contaminante o adsorción de éstas en el coagulante. (Restrepo, et al, 2006).

- **Electrolisis.-** A diferencia de las reacciones redox espontaneas, que convierten la energía química en energía eléctrica, en la electrolisis se utiliza la energía eléctrica para inducir una reacción química que es no espontanea.

Este Proceso se lleva a cabo en un dispositivo que se conoce como celda electrolítica. La electrolisis se basa en los mismos principios en que se fundamentan los procesos que se realizan en las celdas electroquímicas. (Chang, 2007).

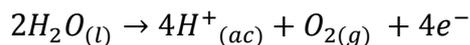
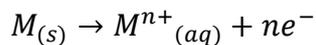
- **Electrocoagulación.-** La electrocoagulación es una técnica utilizada para el tratamiento de las aguas residuales. Los contaminantes de muy diversos efluentes son removidos aplicando el principio de coagulación, pero en este caso no se hace uso de un coagulante químico (cuya función es llevada a cabo por corriente eléctrica que es aplicada al medio líquido contaminado). Podemos entonces definir la electrocoagulación como un proceso en el cual son desestabilizadas las partículas de contaminantes que se encuentra suspendidas, emulsionadas o disueltas en un medio acuoso, induciendo corriente eléctrica en el agua a través de placa metálicas paralelas de diversos materiales, siendo el hierro y el aluminio los más utilizados. (Holt, Barton, & Mitchell, 2005) (Rajeshwar & Ibanez, 1997) (Chen, 2004).

La corriente eléctrica proporciona la fuerza electromotriz que provoca una serie de reacciones químicas, cuyo resultado final es estabilidad de las moléculas contaminantes. Por lo general este estado estable produce partículas sólidas menos coloidales y menos emulsionadas o solubles. Cuando esto ocurre, los contaminantes forman componentes hidrofóbicos que se precipitan o flotan, facilitando su remoción por algún método de separación secundario. Los iones metálicos se liberan y dispersan en el medio líquido y tienden a formar óxidos metálicos que atraen eléctricamente a los contaminantes que han sido

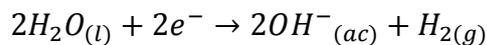
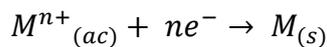
desestabilizados. (Holt, Barton, & Mitchell, 2005) (Chen, 2004) (Stephenson & Tennant, 2006)

- **Reacciones en la electrocoagulación.**- Según (Comninellis, 2009); Las reacciones generalmente tienen el siguiente principio, se muestra las expresiones con el metal M tanto para el ánodo como para el cátodo:

Reacciones de oxidación producidas en el ánodo,



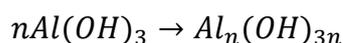
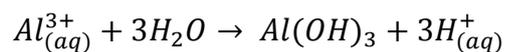
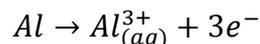
Reacciones de reducción producidas por el cátodo,



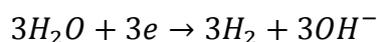
En el caso de que los electrodos sean de aluminio la disolución del ánodo produce especies como Al^{3+} , $Al(OH)^{+}_2$ los cuales producen espontáneamente los respectivos hidróxidos o polihidróxidos; estos dependen del pH de la solución iónica. Los hidróxidos y polihidroxidos formados en estas reacciones electroquímicas tienen una gran afinidad por partículas dispersas y iones, lo que permite la coagulación. Y los gases formados son los que realizan la flotación del material coagulado.

A continuación, se muestra el mecanismo general:

En el ánodo:



En el cátodo:



Los iones Al^{+3} en combinación con los OH^{-} reaccionan para formar alguna especie monoméricas como $Al(OH)_2^{+}$, $Al_2(OH)_2^{++}$, $Al(OH)_2^{+}$, y otras poliméricas, tales como $Al_6(OH)_{15}^{3+}$, $Al_7(OH)_{17}^{4+}$, $Al_8(OH)_{20}^{4+}$, $Al_{13}O_4(OH)_{24}^{7+}$ y

$Al_{13}(OH)_{13}^{5+}$ que por procesos de precipitación forman el **Al(OH)₃(s)** como se muestra en la reacción de ánodo. El **Al (OH)₃(s)** es una sustancia amorfa de carácter gelatinoso, que expone una gran área superficial con propiedades absorbentes y que es propicia para los procesos de adsorción y atracción de las partículas contaminantes. (Restrepo, et al 2006).

2.4. Definición de términos básicos.-

2.4.1. Parámetros de control para el tratamiento de aguas residuales.- Los parámetros de control son los fundamentales para determinar el diseño del sistema de depuración de las aguas residuales urbanas pueden reducirse a, (M. Baca N. 2012):

a. Partículas en Suspensión, Sólidos Totales.- Es el contenido total de la materia sólida en el agua, comprendiendo tanto materia orgánica como inorgánica, estos sólidos pueden encontrarse como: Sólidos Disueltos, Sólidos en Suspensión, Sólidos Sedimentables y Sólidos no Sedimentables.

b. Contenido de microorganismos.- Estos pueden ser benignos o patógenos y se clasifican en, (M. Baca N. 2018, p. 47):

- **Aerobios.-** Que constituye el 60 al 65 % de los microorganismos existentes en el agua residual, caracterizándose por captar en forma directa el oxígeno disuelto.

- **Anaerobios.-** Que constituye del 10 al 25% de los microorganismos existentes en el agua residual, obtiene oxígeno por descomposición de la materia orgánica constituida por tres o más elementos (C, H, O, N, S, P, K).

- **Facultativos.-** que constituyen del 10 al 30 %, estos pueden adaptarse a condiciones aerobias y anaerobias.

c. Contenido Orgánico.- Específicamente esta descrita por la Materia Oxidable Biológicamente, materias de tipo orgánico que absorben en forma natural hasta su desmineralización una cierta cantidad de oxígeno, debido a los procesos químicos o biológicos de

oxidación que se producen en el seno del agua, (M. Baca N. 2018, p. 47).

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅).**- Es una medida indirecta de la materia orgánica en ambientes acuáticos. Es la cantidad de O₂ disuelto necesario para la oxidación microbiana de la materia orgánica biodegradable, (Prescott, Harley y Klein 2008, p. 1055).

Es la cantidad de O₂ consumida por el agua residual durante la oxidación (vía biológica) de la materia orgánica biodegradable presente en el agua residual. Para el control de los procesos de depuración suele adoptarse la DBO₅ a los 5 días y a 20 °C (DBO₅), cuyo valor se aproxima al valor asintótico de la DBO₅ correspondiente al ciclo del carbono. Para determinar este parámetro es necesario que el agua se encuentre a un pH entre 6,50 y 8,30, (M. Baca N. 2018, p. 47).

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO).**- Es la cantidad de oxígeno disuelto consumida por el agua residual (por vía química) provocada por un agente químico, fuertemente oxidante. La oxidación es activa sobre las sales minerales oxidables, así como sobre la materia orgánica biodegradable, que existe en el agua analizada. La relación encontrada entre la DBO₅ y la DQO indicará la importancia de los vertidos industriales y sus posibilidades de biodegradabilidad, (M. Baca N. 2018, p. 47 - 48).

- **Oxígeno Disuelto (OD).**- “La cantidad de oxígeno disuelto determina sus condiciones aerobias, microceacerófilas, anóxicas y anaerobias para los procesos biológicos. Los desagües crudos generalmente tienen bajas concentraciones de OD, mientras que los desagües sépticos son anaeróbicos; para los procesos de denitrificación es necesario un ambiente anóxico, es decir no necesariamente anaeróbico estricto, mientras que en los tanques de aireación de lodos activados y

lagunas aireadas, es necesaria la incorporación de oxígeno por algún medio apropiado” (C. Lazcano, 2014, p.359).

d. Contenido de Nutrientes.- Este se refiere al Nitrógeno y al Fosforo, (M. Baca N. 2018. p. 48).

i. Nitrógeno.- En su variedad amoniacal, nitritos, y nitratos señalan la proximidad ó distancia al punto de vertido del agua residual.

- **Concentración del ion Amonio.-** Es la primera etapa del ciclo del nitrógeno por transformación de la urea, el agua con un contenido reducido de amoníaco no es perjudicial para usos agrícolas, pero si para la vida piscícola.

- **Nitritos y Nitratos.-** Los nitritos y los nitratos constituyen una segunda y tercera etapa del ciclo del nitrógeno, al que se llega por la acción de bacterias aerobias, los nitrosomas y los nitrobacter.

ii. Fósforo Total.- Elemento imprescindible para el desarrollo de los microorganismos en las aguas y para el proceso de la depuración biológica. El contenido de nitrógeno en las aguas se debe a los vertidos urbanos (detergentes, fosas sépticas).

e. Potencial de Hidrogeno (pH).- En la naturaleza, así como en los vertidos urbanos se encuentran ácidos y bases que modifican ampliamente el pH de las aguas. Las aguas urbanas tienen un pH próximo al valor de 7, es decir son adecuadas para los microorganismos neutrófilos. Es necesario controlar el pH para garantizar los procesos biológicos, debiendo encontrarse entre valores de 6,2 y 8,3 para que no se generen problemas de inhibición, (M. Baca N. 2018, p. 49).

f. Aceites y Grasas.- Las grasas generan problemas por su poder tensó activo que impiden la captación del oxígeno, o genera una película envolvente en los flóculos biológicos impidiendo su respiración, aligerándolos y llevándolos a flotación, dificultándose así la decantación secundaria, (M. Baca N. 2018, p. 49).

Ver a continuación, la Tabla 2.2, denominada Composición típica de las Aguas Residuales Domesticas, se pueden observar las características mínimas y suficientes para definir un vertido urbano, (Metcalf and Eddy, 1995)

Tabla 2.2.
COMPOSICION TIPICA DEL AGUA RESIDUAL DOMESTICA

Contaminantes	Concentración			
	Unidades	Débil	Media	Fuerte
Sólidos totales (ST)	mg/L	350	720	1,200
Disueltos totales (SDT)	mg/L	250	500	850
Fijos	mg/L	145	300	525
Volátiles	mg/L	105	220	325
Sólidos en suspensión (SS)	mg/L	100	220	350
Fijos	mg/L	20	55	75
Volátiles	mg/L	80	165	275
Sólidos sedimentables	ml/L	5	10	20
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	mg/L	110	220	400
Carbono orgánico total (COT)	mg/L	80	160	290
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	250	500	1,000
Nitrógeno (total de la forma N)	mg/L	20	40	85
Orgánico	mg/L	8	15	35
Amoníaco libre	mg/L	12	25	50
Nitritos	mg/L	0	0	0
Nitratos	mg/L	0	0	0
Fósforo (total de la forma P)	mg/L	4	8	15
Orgánico	mg/L	1	3	5
Inorgánico	mg/L	3	5	10
Cloruros	mg/L	30	50	100
Sulfatos	mg/L	20	30	50
Alcalinidad (como CaCO ₃)	mg/L	50	100	200
Grasa	mg/L	50	100	150
Coliformes totales	Nº/100 mL	10 ⁶ – 10 ⁷	10 ⁶ – 10 ⁸	10 ⁶ – 10 ⁹
Compuestos orgánicos volátiles, (COVs)	µg/L	< 100	100 – 400	> 400

Fuente: METCALF & EDDY – INGENIERIA DE AGUAS RESIDUALES

2.5. Normas Legales. - El reúso de aguas residuales deberá garantizar el nivel adecuado de tratamiento en función al uso específico, a fin de no generar riesgos en la salud de la población que tenga contacto con las zonas irrigadas con el agua residual tratada. Para determinar el sistema de tratamiento de aguas residuales para fines de aprovechamiento se debe plantear la calidad del tipo del efluente que se requiere de acuerdo:

2.5.1. Constitución Política del Perú (29 diciembre de 1993). - La constitución en su Capítulo II del Ambiente y los Recursos Naturales, señala:

Art. 2º.- Toda persona tiene derecho a la paz, a la tranquilidad, al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida.

Art. 66º.- Los recursos naturales, renovables y no renovables, son patrimonios de la Nación. El Estado es soberano en su aprovechamiento.

Art. 67º El estado determina la política nacional del ambiente.

2.5.2. Ley Nº 28611, Ley General del Ambiente (13 de octubre del 2005). -

Art. 1º.- La presente Ley es la norma ordenadora del marco normativo legal para la gestión ambiental en el Perú. Establece los principios y normas básicas para asegurar el efectivo ejercicio del derecho a un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, así como el cumplimiento del deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de la población y lograr el desarrollo sostenible del país.

Art. 5º.- La gestión del ambiente y de sus componentes, así como el ejercicio y la protección de los derechos que establece la presente ley, se sustentan en la integración equilibrada de los aspectos sociales, ambientales y económicos del desarrollo nacional, así como en la satisfacción de las necesidades de las actuales y futuras generaciones.

2.5.3. D.L. Nº 1055, Decreto Legislativo que modifica la Ley Nº 28611, Ley General del Ambiente. -

Art. 1º.- Modifíquense los artículos 32º, 42º, 43º y 51º de la Ley Nº 28611, Ley General del Ambiente, en los siguientes términos:

Art. 32º.- Del Límite Máximo Permisible, El Límite Máximo Permisible – LMP, es la medida de la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su determinación corresponde al Ministerio del Ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el Ministerio del Ambiente y los organismos que conforman el Sistema Nacional de

Gestión Ambiental. Los criterios para la determinación de la supervisión y sanción serán establecidos por dicho Ministerio.

2.5.4. Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM: Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. (7 de junio 2017).- Anexos: Categoría 1: Población y Recreacional.

Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales.

Categoría 3: Riego de vegetales y bebidas de animales.

Categoría 4: Conservación del ambiente acuático.

2.5.5. R.M. N° 026-ITINCI/DM Protocolo de Monitoreo de Efluentes Líquidos y Emisiones Atmosféricas. (23/02/2000).- La respectiva resolución ministerial contiene las pautas necesarias para la ejecución del monitoreo, procesamiento de los datos y elaboración de informes de monitoreo ambiental.

2.5.6. DS N° 003-2010 Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas o Municipales (PTAR), para el sector Vivienda.- Decretan en su artículo 1° la Aprobación de Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de plantas de tratamiento de Agua Residuales Domésticas o Municipales (PTAR), los que en Anexo (Tabla 6 denominada "Limite Máximos Permisibles para los Efluentes de PTAR", la cual forman parte integrante del presente y que aplican en el ámbito nacional.

2.5.7. DS N° 011-2006-VIVIENDA, Reglamento Nacional de Edificaciones y su modificatoria: Modifican Norma Técnica OS.090 "Plantas de tratamiento de aguas residuales" (DS N° 022-2009-VIVIENDA).-

- El objetivo principal es normar el desarrollo de proyectos de tratamiento de aguas residuales en los niveles preliminar, básico y definitivo.

- La presente norma está relacionada con las instalaciones que requiere una planta de tratamiento de aguas residuales municipales y los procesos que deben experimentar las aguas residuales antes de su descarga al cuerpo receptor o a su reutilización.

2.5.8. Políticas públicas que promueven el tratamiento y reúso de las aguas residuales.- Mediante Resolución Ministerial N° 176-2010-VIVIENDA de fecha 05 de noviembre del 2010, se aprobaron los **“Lineamientos de Política para la promoción del tratamiento para el reúso de las aguas residuales domésticas y municipales en el riego de áreas verdes urbanas y periurbanas”**, la cual consta de cinco (05) lineamientos de Política que de manera integral orienten las acciones al fortalecimiento del marco normativo, tecnológico, económico, de acceso a la información y fortalecimiento de capacidades relacionadas a este tema. Los lineamientos de política son los siguientes:

- **LINEAMIENTO 1.** El reúso de las aguas residuales domésticas y municipales tratadas para riego de áreas verdes en zonas urbanas y periurbanas deberá incorporarse a la política, planes y estrategias sectoriales, de forma que contribuya a la gestión integrada de los recursos hídricos a nivel nacional, propiciando la sustitución del agua potable.
- **LINEAMIENTO 2.** El uso de tecnologías efectivas de tratamiento de aguas residuales domésticas y municipales, para el riego de áreas verdes urbanas y periurbanas deberá ser parte de la política nacional de saneamiento, promoviendo y apoyando la implementación de investigaciones específicas que contribuyan a mejorar la eficiencia del proceso, reducir los costos de tratamiento y mitigar los impactos ambientales.
- **LINEAMIENTO 3.** La activa participación del sector público, el sector privado, la sociedad civil y los organismos internacionales es clave para fortalecer la gestión de Recursos Hídricos y garantizar el principio de sostenibilidad y el financiamiento necesario para la gestión de los sistemas de tratamiento para el reúso de aguas

residuales domésticas y municipales en el riego de áreas verdes urbanas y periurbanas.

- **LINEAMIENTO 4.** La promoción de la participación ciudadana y el acceso público a la información debe asegurarse como forma de garantizar la transparencia, el control y la eficiencia en la gestión de los sistemas de tratamiento para el reúso de aguas residuales domésticas y municipales en el riego de áreas verdes urbanas y periurbanas.

- **LINEAMIENTO 5.** El fortalecimiento de las capacidades y el entrenamiento de los diversos actores públicos y privados debe ser parte de una política sectorial permanente, dotada de recursos específicos orientados a satisfacer las demandas de los distintos actores vinculados al tratamiento para el reúso de las aguas residuales domésticas y municipales en el riego de áreas verdes urbanas y periurbanas.

Para la implementación de estos lineamientos se conformó el **Comité Multisectorial** Conformado por representantes del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, la Autoridad Nacional del Agua-ANA, Ministerio de Salud, Ministerio del Ambiente, la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento-SUNASS.

III. HIPOTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis. –

“La calidad de los efluentes domésticos tratados para su reutilización, mediante un sistema de tratamiento continuo por electrocoagulación cumplirán con los LMPs que permitan su reúso como agua de riego”.

3.2. Definición conceptual de las variables.-

3.2.1. Variable independiente.- “Sistema de tratamiento continuo por electrocoagulación”, por medio del cual se desestabilizan las partículas de contaminantes que se encuentran suspendidas, emulsionadas o disueltas en un medio acuoso, induciendo corriente eléctrica en el agua a través de placas metálicas paralelas de diversos materiales, en los que el hierro y el aluminio son los más utilizados. El proceso combina en un mismo tanque: reacción y clarificación.

3.2.2. Variable dependiente.- “Calidad de los efluentes domésticos tratados para su reutilización”, Concentración o grado de elemento, sustancia o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan al efluente o emisión tratada que permita su Clasificación.

3.3. Operacionalización de las variables.- Para demostrar y comprobar la hipótesis anteriormente formulada, la operacionalizamos, determinando las variables y los indicadores que a continuación se mencionan:

3.3.1. Indicadores operacionales de la variable independiente.-

Sistema de tratamiento continuo por electrocoagulación:

- Caudal, ($M^3/día$) X_1
- Carga Superficial, ($M^3/M^2.d$) X_2
- Tiempo de retención hidráulica, (TRh) X_3
- Voltaje, (voltios) X_4
- Amperaje, (amperios) X_5

3.3.2. Indicadores operacionales de la variable dependiente.-

Calidad de los efluentes domésticos tratados para su reutilización:

- Potencial Hidrogeno (pH) Y₁
- Demanda Química de Oxigeno (DQO) Y₂
- Demanda Bioquímica de Oxigeno (DBO₅) Y₃
- Aceites y Grasas, (AyG) Y₄
- Coliformes Termotolerantes, (CT) Y₅
- Turbiedad, (T) Y₆
- Conductividad Eléctrica, (CE) Y₇

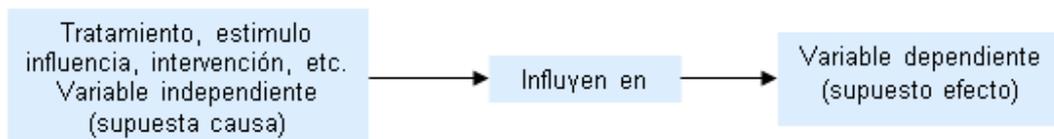
3.4. Definiciones operacionales de la variable.-

- Caudal (M³/seg).- es la cantidad de fluido que pasa en una unidad de tiempo.
- Carga Superficial (M³/M².d).- Carga orgánica a tratar por metro cuadrado día.
- Tiempo de retención hidráulica.- Tiempo promedio de permanencia del efluente que ingresa al tanque de aireación. (Lazcano, C. 2014)
- Voltaje.- Se define al voltaje como la cantidad de voltios que actúan en un aparato o en un sistema eléctrico. De esta forma, el voltaje, que también es conocido como tensión o diferencia de potencial, es la presión que una fuente de suministro de energía eléctrica o fuerza electromotriz ejerce sobre las cargas eléctricas o electrones en un circuito eléctrico cerrado. De esta forma, se establece el flujo de una corriente eléctrica. (Real Academia Española)
- Amperaje.- Se define como la intensidad de corriente eléctrica que pasa a través de un conductor o cable eléctrico, entre dos puntos, uno negativo y el otro positivo, la corriente eléctrica circula del negativo al positivo. (Real Academia Española)
- Potencial Hidrogeno (pH).- Grado de acidez o alcalinidad que posee el agua y que depende de la concentración de iones de hidrogeno presentes. (Lazcano, C. 2014)

- Demanda Química de Oxígeno (DQO).- Es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar el carbono orgánico completamente a CO₂, H₂O y amonio. (Lazcano, C. 2014)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅).- Se define como la cantidad de oxígeno disuelto consumida por los microorganismos para la oxidación de la materia orgánica (carbonácea e inorgánica). (Lazcano, C. 2014)
- Aceites y Grasas.- constituyen los Lípidos presentes en las aguas en proporción del 10% de los componentes orgánicos. Se les considera como componentes indeseables, debido a que inhiben el crecimiento de los microorganismos. (Lazcano, C. 2014)
- Coliformes Termotolerantes (CT) ó Coliformes Fecales (CF).- La denominación genérica coliformes designa a un grupo de especies bacterianas que tienen ciertas características bioquímicas en común e importancia relevante como indicadores de contaminación del agua y los alimentos. Los coliformes fecales son microorganismos con una estructura parecida a la de una bacteria común que se llama *Escherichia coli* y se transmiten por medio de los excrementos. La *Escherichia* es una bacteria que se encuentra normalmente en el intestino del hombre y en el de otros animales. Hay diversos tipos de *Escherichia*; algunos no causan daño en condiciones normales y otros pueden incluso ocasionar la muerte.

IV. DISEÑO METODOLOGICO

4.1. Tipo y diseño de la investigación.- SAMPIERE (2006) los experimentos manipulan tratamientos, estímulos, influencias o intervenciones (denominadas variables independientes) para observar sus efectos sobre otras variables (las dependientes) en una situación de control, como lo apreciamos en el diagrama:



Para el desarrollo del trabajo de Investigación, como se ha especificado se diseñó y se construyó un Sistema de Tratamiento Continuo por Electrocoagulación con el cual se manipularan los Indicadores de la Variable Independiente, y como resultado de ello se ha de demostrar los valores de los indicadores de la Variable Dependiente la caracterización de los efluentes tratados para su reutilización de estas, en el riego de áreas verdes, para lo cual habrá la necesidad de medir el valor de la variable dependiente a través de sus indicadores para ver el efecto que tiene la variable independiente sobre ella.

4.2. Método de investigación.- El presente proyecto de investigación se centra en la adecuación de los efluentes domésticos con el fin de reutilizarlos en el riego de áreas verdes y jardines mediante un sistema de tratamiento compacto basado en la tecnología de electrocoagulación, para ello se hace necesario, utilización de las técnicas analíticas de los Métodos Normalizados para análisis de agua potable y residual, diseñar y operar el Sistema de Tratamiento Continuo por Electrocoagulación, caracterizar los efluentes tratados, utilización de técnicas estadísticas y pruebas de hipótesis.

4.2.1. Diseño y montaje del Prototipo del Sistema de Tratamiento Continuo por Electrocoagulación.- Para este propósito usamos como referencia experimental el trabajo

desarrollado por Arango Ruiz & Garcés Giraldo, 2007: “Diseño de una celda de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea”, quienes diseñaron un prototipo de 2.7 litros que fuera el volumen total de la Celda, siendo el volumen la zona de reacción y de sedimentos de 2.00 litros, mientras 0.7 litros correspondieron a la zona de flotación de espumas.

4.2.2. Celda de electrocoagulación.- Se diseño teniendo considerando una distribución volumétrica que contemplara tres regiones: una región superior para el depósito de los lodos de flotación o lodos menos densos y las espumas, llamada zona de flotación, una zona media de las reacciones electroquímicas en donde ese encuentran sumergidos los electrodos, y la zona inferior, de sedimentos, donde se depositan los lodos de precipitación o lodos más densos. Se tuvo el criterio de Arango Ruiz & Garcés Giraldo, 2007, en su prototipo de 2.7 litros, es decir con las tres zonas:

- **Zona de reacción:** donde están sumergidos los electrodos y se produce el proceso de electrocoagulación.
- **Zona de Sedimentación:** donde precipitan los lodos sedimentables.
- **Zona de Flotación:** donde se acumulan los lodos productos de la flotación.

Los parámetros de diseño de nuestra celda de electrocoagulación, o cuba electrolítica, fue diseñada para un volumen de 60 litros del tipo, batch, de forma de paralelepípedo rectangular, en el cual están sumergidos los electrodos de aluminio (cátodo y ánodo, ambos de forma rectangular), fueron los siguientes:

- | | |
|---|-----------|
| a. Volumen total de la celda: | 60 litros |
| b. Largo: | 60 cm |
| c. Ancho: | 33 cm |
| d. Profundidad: | 30 cm |
| e. Volumen de la zona de flotación de espumas: | 16 litros |
| f. Profundidad de la zona de flotación de espumas: | 0.8 cm |
| g. Volumen de la zona de reacción y sedimentos: | 22 litros |

- h. Profundidad de la zona de reacción: 17 cm
- i. Profundidad de la zona de sedimentos: 05 cm

La celda se construyó con planchas de acrílico transparente, de tal forma que se pueda apreciar el efecto de los procesos físico químicos sobre el efluente en tratamiento.

Adicionalmente a esto se instaló una compuerta de retención de espumas a modo de presa, que evite que las espumas se trasladen a la salida o toma del efluente tratado.

4.2.3. Selección del material de los electrodos, número y dimensiones.- Los electrodos se diseñaron a partir de placas de aluminio, del tipo comercial, que se encuentra disponible como láminas de forma rectangular, cuyas medidas fueron las siguientes:

- i. Largo: 25 cm
- ii. Altura: 15 cm y
- iii. Espesor: 03 mm,

Se adoptó una separación entre cada placa o electrodo de 5 cm, y separación con las paredes laterales de la cuba de 2.5 cm, con el fin de permitir facilitar el flujo del agua residual durante la electrolisis, colocándose en el fondo de la celda dos guías a modo de peine que permita mantener una distancia paralela o de separación entre los electrodos y asimismo la separación del fondo de la cuba hacia los electrodos de 5 cm.

A si como se instaló un presa o compuerta que retenga las espumas y que esta no lleguen juntas con el efluente tratados a la salida, obligando que el efluente pase por debajo del fondo de la compuerta i ascienda hacia la salida, del mismo modo se instaló en el lado del ingreso del efluente una presa o compuerta que obligara al afluente a entra por debajo de la cuba a la altura de donde se hallan ubicadas las placas de aluminio o electrodos, ambas compuertas están separadas respectivamente de 10 cm a 5 cm de la salida y de la entrada respectivamente, por lo que de los 60 cm de largo que tiene la celda, solo se dispone de 45 cm (restando 15 cm de la entrada y salida) para instalar los electrodos, disponiendo por ello de 14

electrodos de 3 mm de espesor colocados paralelamente con separación de 3 cm, como se aprecia en las Figuras 4.1. y 4.2.

Figura 4.1.
Vista superior del prototipo del electrocoagulador



Fuente: Autoría propia

Figura 4.2.
Vista lateral del electrocoagulador



Fuente: Autoría propia

4.2.4. Fuente de poder.- Para el diseño de la fuente de poder se tomó la referencia de artículos y trabajos donde se mencionan los rangos de corriente eléctrica y su voltaje, estableciéndose los rangos de corriente eléctrica y voltajes con base a 50 a 100 Amperios/m², rango promedio reportado en la bibliografía con buenos resultados en la remoción de contaminantes, como lo limitan Arango Ruiz &

Garcés Giraldo, 2007, por otro lado las variaciones de voltaje adoptada para nuestro caso de conexión monopolar el voltaje total será igual al voltaje entre los electrodos para ello se escogieron variaciones de +/- 5 volt. de modo que la fuente tuvo como máximo hasta 50 voltios, con un transformador de 220 voltios a 50 voltios (voltajes variables), como se aprecia en las Figuras 4.3. y 4.4.

Figura 4.3.
Fuente de poder, se observa el amperímetro y el voltímetro



Fuente: Autoría propia

Figura 4.4.
Se observa la Celda del electrocoagulador y la fuente de poder



Fuente: Autoría propia

4.3. Población y muestra.- La Población o Universo (**N**) del presente trabajo de investigación, son los efluentes domésticos generados en la Ciudad Universitaria del Callao, y que serán tratados para su reutilización en el sistema de tratamiento de electrocoagulación, los mismos que se muestrearán en forma puntual y compuesta para determinar su caracterización, siguiendo los procedimientos protocolares diseñados para este tipo de muestreo, las técnicas que se utilizarán para evaluar los parámetros Físico – Químicos, Biológicos son las guías de calidad de agua para riego que especifica la Ley General de Aguas y que se basan en las establecidas por la OMS/OPS. Para determinar los parámetros de calidad se utilizarán, los Métodos Normalizados por el INDECOPI, basados en los Métodos Normalizados para Análisis de Aguas Potables y Residuales publicados por APHA, AWWA y WPCF (Standard Methods for the Examination of Water and Wastes 17 edition).

La muestra.- La muestra es el caudal tratado por el sistema de tratamiento Electrocoagulador, el cual será obtenido de un tanque de almacenamiento de efluente captados en la ciudad universitaria, en la toma, siendo el muestreo de tipo no probabilístico por conveniencia, ya que la muestra seleccionada resulta ser accesible para el investigador; la muestra será medida en la entrada como en la salida del sistema. En base a los resultados obtenidos de los equipos de medición de turbiedad, pH, conductividad y las tomas de muestra que se derivaron al laboratorio para determinar, DBO₅, DQO, AyG y CT.

4.4. Lugar de estudio.- Jardín posterior al edificio de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales que se ubica en la Ciudad Universitaria del Callao, ver en Anexo Figuras 4.4.1., 4.4.2., 4.4.3. y 4.4.4.

4.5. Técnicas e instrumento de recolección de datos.- La toma de muestras del efluente a la entrada y salida del sistema de tratamiento por electrocoagulación se realizarán con instrumentos de medición insitu y según el protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales-ANA RJ 010-2016 ANA, para la

toma de muestras de los parámetros (DBO₅, DQO, AyG y CT). La recopilación de datos (parámetros a analizar) se harán con instrumentos de medición tal como se muestra en las Tablas 4.1. y 4.2.

Tabla 4.1 Requisitos de toma de muestra y preservación

Parámetro	Recipiente	Volumen	Conservar /Preservar	Tiempo de almacenamiento	Instrumento de medición
Turbidez	Plástico (P)	100 ml	4 C°, guardar en la oscuridad	Máximo 24 horas	Turbidímetro
pH	Plástico (P)	100 ml	---	Análisis Inmediato	pH-metro/ multiparámetro
Conductividad eléctrica	Plástico (P)	500 ml	Refrigerar a 4 C°	Análisis Inmediato	Multiparámetro
Coliformes Termotolerantes	Frasco de vidrio, boca ancha	500 ml	Refrigerar a >10°C	24 horas	laboratorio
Aceites y Grasas	Vidrio Ámbar de boca ancha	1000 mL	Refrigerar a 4°C, agregar H ₂ SO ₄ pH<2	28 días	laboratorio
Demanda Química de Oxígeno	Plástico	200ml	Refrigerar a 4°C, agregar H ₂ SO ₄ pH<2	28 días	laboratorio
Demanda Bioquímica de Oxígeno	Plástico	1000ml	Refrigerar a 4°C	24 horas	laboratorio

Fuente: Anexo VII Conservación y preservación de muestras de agua en función del parámetro evaluado - RJ 010-2016 ANA

Tabla 4.2 Métodos normalizados y equipos para el monitoreo

Parámetro	Estándar Methods APHA	Método	Equipos	Unidades
Temperatura	2550-B	Termométrico	Multiparámetro	°C
Turbidez	2130-B	Nephelometric	Turbidímetro	NTU
pH	4500-H	Sensor- insitu	PH metro	unidades
Conductividad eléctrica	2510-B	Celda o electrodo de conductividad	Conductímetro / Multiparámetro	µmhos/cm
Coliformes termotolerantes	9222-E	Filtración por membrana	Equipo de filtración, placa esterilizada	NMP/100mL
Aceites y Grasas	5520-B	Extracción liquido-liquido	Pera de decantación y destilador	mg/L
Demanda Química de Oxígeno	5220-B	Reflujo cerrado	colorímetro	mg/L
Demanda Bioquímica de Oxígeno	5210-B	DBO ₅ (5 días, 20°C)	Incubadora	mg/L

Fuente: Methods for the examination of water and wastewater 24 edition 2005-APHA-AWWA-

4.6. Análisis y procedimientos de datos.- El muestreo al nivel del modelo piloto requirió la aplicación de técnicas estadísticas inductivas que permitió obtener conclusiones a partir del uso de los programas Excel para determinar las curvas de tendencias parara cada parámetro evaluado en cada una de sus observaciones.

V. RESULTADOS

Los resultados que se muestran, en este Informe final de Investigación se refieren solo al tratamiento preliminar del efluente domestico por el sistema de electrocoagulación, en la que se ensayo un Caudal de 45 L/h, Amperaje de 20 A, Voltaje de 5 Voltios, utilizando solo cátodos y ánodos de aluminio, durante las cinco semanas de monitoreo realizadas, situación que justificamos debido a que el proyecto de investigación que inicialmente habíamos planteado para su desarrollarlo fue de dos (02) año, sin embargo, solo se nos aprobó un (01) año, no obstante, ello, el sistema de tratamiento para las condiciones evaluadas resulto eficiente, ver en Apéndice las Figuras 5.1., 5.2., 5.3. y 5.4.

5.1. Características del efluente previos al tratamiento a través del sistema de electrocoagulación. – La muestra para el análisis del efluente fueron recolectada al ingreso de Prototipo del Sistema de Tratamiento Continuo por Electrocoagulación (PSTCE), siendo los resultados, los que se muestran en la tabla 5.1.

Tabla 5.1. Caracterización del efluente al ingreso del PSTCE

Semana Día	pH und.	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	AyG (mg/L)	CT (NMP/100mL)	Turb. (NTU)	CE (μS/cm)
1 02.09	7.29	282.9	387.2	5.7	>160 000	188.20	2,662.67
2 09.09	7.45	230.8	394.7	3.3	>160 000	195.13	3,044.40
3 16.09	7.47	233.1	368.9	7.3	>160 000	164.25	2,755.33
4 23.09	7.11	279.9	342.5	2.2	>160 000	96.69	2,840.67
5 30.09	7.43	264.9	352.2	10.3	>160 000	124.82	2,982.67

Fuente: Autoría propia

Los resultados, referentes a pH, Turbiedad y Conductividad Eléctrica (CE), se realizaron en situ y lo concerniente a la operación del equipo, es decir la regulación del caudal, amperaje y voltaje, mientras los referidos al DBO₅, DQO, AyG y el de Coliformes Termotolerantes fueron realizado por laboratorio especializado.

5.2. Características del efluente a la salida del sistema de electrocoagulación. – Las condiciones de operación del Prototipo del Sistema de Tratamiento Continuo por Electrocoagulación, este se opero a Caudal de 45 L/h, Amperaje de 20 A y Voltaje de 5 Voltios, utilizando cátodos y ánodos de aluminio, durante las cinco semanas de monitoreo, se realizaron los monitoreos los días Lunes, siendo estos: los días Lunes 2, 09, 16, 23 y 30 de setiembre, después de las tres horas de trabajo a las condiciones de operación fijadas, los resultados se aprecian en la tabla 5.2.

Tabla 5.2. Características del efluente a la salida del PSTCE

Semana Día	pH und.	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	AyG (mg/L)	CT (NMP/100mL)	Turb. (NTU)	CE (μS/cm)
1 02.09	7.80	46.20	89.10	0.57	>28 400	25.20	2,565.32
2 09.09	7.85	25.39	51.31	0.17	>20 000	18.6	2,788.36
3 16.09	7.85	21.29	36.89	0.51	>22 000	12.30	2,255.33
4 23.09	7.90	21.98	41.25	0.50	>15 000	14.20	2,456.56
5 30.09	7.60	25.10	49.31	1.44	>20 000	12.23	2,520.12

Fuente: Autoría propia

5.3. Determinación de la eficiencia de remoción de los parámetros del efluente tratado en el sistema de electrocoagulación.- La eficiencia es la obtenida bajo las condiciones de operación del

Prototipo del Sistema de Tratamiento Continuo por Electrocoagulación, este se operó a Caudal de 45 L/h, Amperaje de 20 A y Voltaje de 5 Voltios, utilizando electrodos y cátodos de aluminio, los resultados se parecían en la tabla 5.3.

Tabla 5.3. Eficiencia de remoción de los parámetros en el efluente tratado en el PSTCE

Semana Día	DBO ₅ %	DQO %	AyG %	CT %	Turb. %	CE %
1 02.09	83.67	76.98	90.0	82.25	86.70	3.65
2 09.09	88.89	87.00	94.84	87.50	90.47	8.41
3 16.09	90.87	90.0	93.01	86.25	92.51	18.15
4 23.09	92.14	87.95	77.27	90.63	85.31	13.52
5 30.09	90.52	85.90	86.02	87.50	90.20	17.90

Fuente: Autoría propia

5.4. Determinación de la Eficiencia promedio de remoción por cada parámetro.- La remoción promedio corresponde a las cinco semanas por parámetro evaluado bajo las mismas condiciones de operación es decir: Caudal de 45 L/h, Amperaje de 20 A y Voltaje de 5 Voltios, utilizando electrodos y cátodos de aluminio, los resultados se parecían en la tabla 5.4.

Tabla 5.4. Eficiencia promedio de remoción de los parámetros en el efluente tratado en el PSTCE

DBO ₅ %	DQO %	AyG %	CT %	Turb. %	CE %
89.22	85.57	88.23	86.83	89.04	12.33

Fuente: Autoría propia

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados.- Según los valores esperados en la hipótesis planteada para el desarrollo del presente trabajo de investigación, para el efluente doméstico tratado mediante un sistema de tratamiento continuo por electrocoagulación cumplirían con los LMPs que permitan su reúso como agua de riego, de la Categoría 3: Riego de vegetales y bebidas de animales del Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM,

Siendo los valores de cada parámetro según los LMPs para el reúso como agua de riego los siguientes, a través de los indicadores de la variable dependiente Calidad de los efluentes domésticos tratados:

- Potencial Hidrogeno, (pH): Y_1 : 6.5 – 8.5
- Demanda Química de Oxígeno, (DQO): Y_2 : 40 mg/L
- Demanda Bioquímica de Oxígeno, (DBO₅): Y_3 : 15 mg/L
- Aceites y Grasas, (AyG): Y_4 : 05 mg/L
- Coliformes Termotolerante, (CT): Y_5 : 1000 NMP/100ml
- Conductividad Eléctrica, (CE): Y_6 : 2500 μ S/cm
- Turbiedad, (T) Y_7 : ----

Que, comparados con los obtenidos, no todos los valores encontrados cumplen, según la siguiente tabla 6.1.

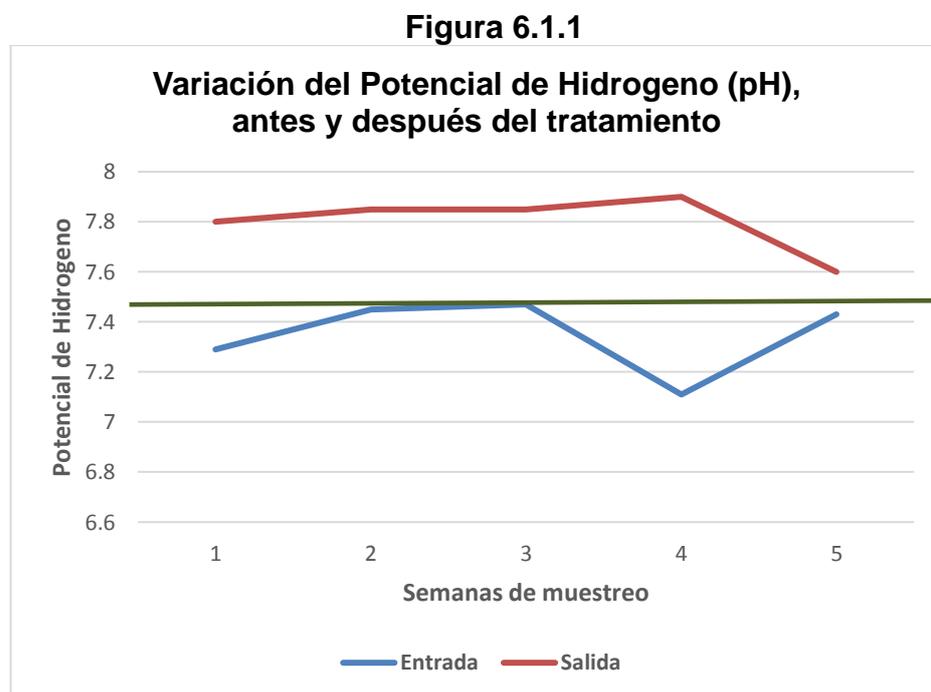
Tabla 6.1. Valores promedio de los parámetros en el efluente tratado en el PSTCE

Parámetro	Y_1 : pH	Y_2 : DQO	Y_3 : DBO ₅	Y_4 : AyG	Y_5 : CT	Y_6 : CE	Y_7 : Turb.
Valores	und.	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	NMP/100 ml	(μ S/cm)	(NTU)
Clase 3	6.5 -8.5	40.00	15.00	5.00	1000	2500	--
Valores	7.80	53.57	27.99	0.63	21 080	2,516.5	16.51

Fuente: Autoría propia

Como se observa los valores de DQO, DBO₅ y el CT superan los valores de la clase 3 para su reúso en el riego de áreas verdes, como lo explicáramos estos resultados son preliminares, obtenidos bajos las condiciones de operación de Caudal de 45 L/h, Amperaje de 20 A y Voltaje de 5 Voltios, utilizando electrodos y cátodos de aluminio, valores de los parámetros que variaran cuando se opere el Sistema de tratamiento continuo de electrocoagulación, modificando el caudal, el amperaje y/o el voltaje, es decir en otras condiciones de operación.

6.1.1. Resultados del Potencial de Hidrogeno después del tratamiento.- Se aprecia en la figura 6.1.1. “Variación del Potencial de Hidrogeno (pH), antes y después del tratamiento”,



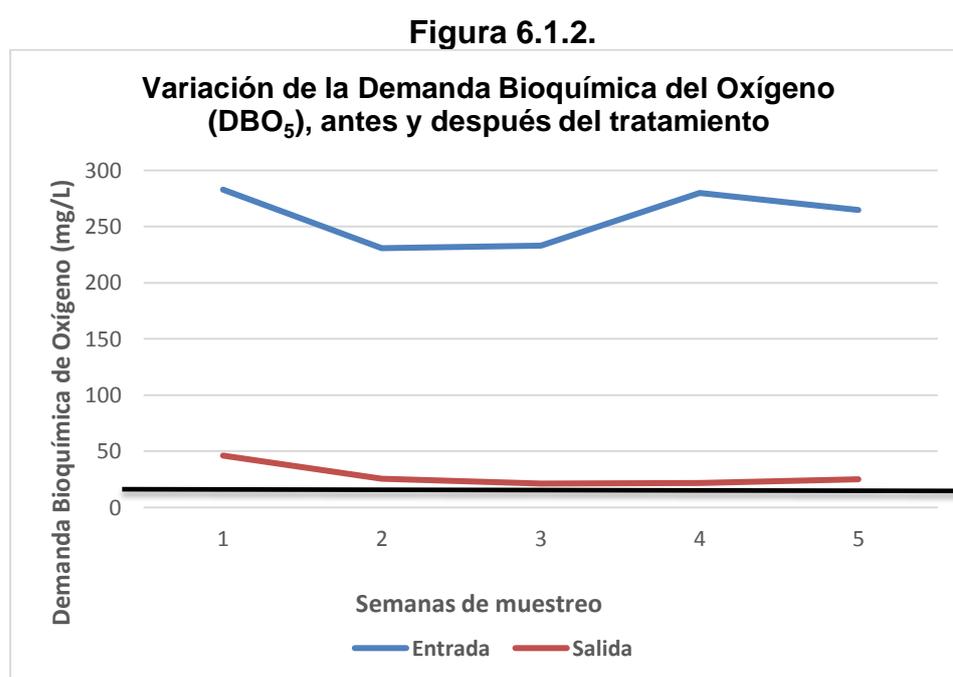
Fuente: Autoría propia

La figura nos muestra el valor del pH del efluente doméstico al ingreso y a la salida del sistema de tratamiento, apreciamos que el valor del pH se incrementa a la salida, esto se debe a las reacciones sucedidas en el ánodo (+) y cátodo (-), formándose a nivel del cátodo la reacción:



incrementándose el pH por la mayor presencia de hidróxido de Aluminio, pudiéndose aceptar el valor del pH entre 7.5 y 8.5 unidades de acuerdo a la calidad de la clase III de agua para riego, cumpliendo es este caso, la línea de color verde en la figura 6.1.1. nos indica el valor de 7.5 unidades de pH, el valor mínimo para agua de Clase 3.

6.1.2. Resultados de la Demanda Bioquímica del Oxígeno después del tratamiento.- Se aprecia en la figura 6.1.2. "Variación de la Demanda Bioquímica del Oxígeno (DBO₅), antes y después del tratamiento"

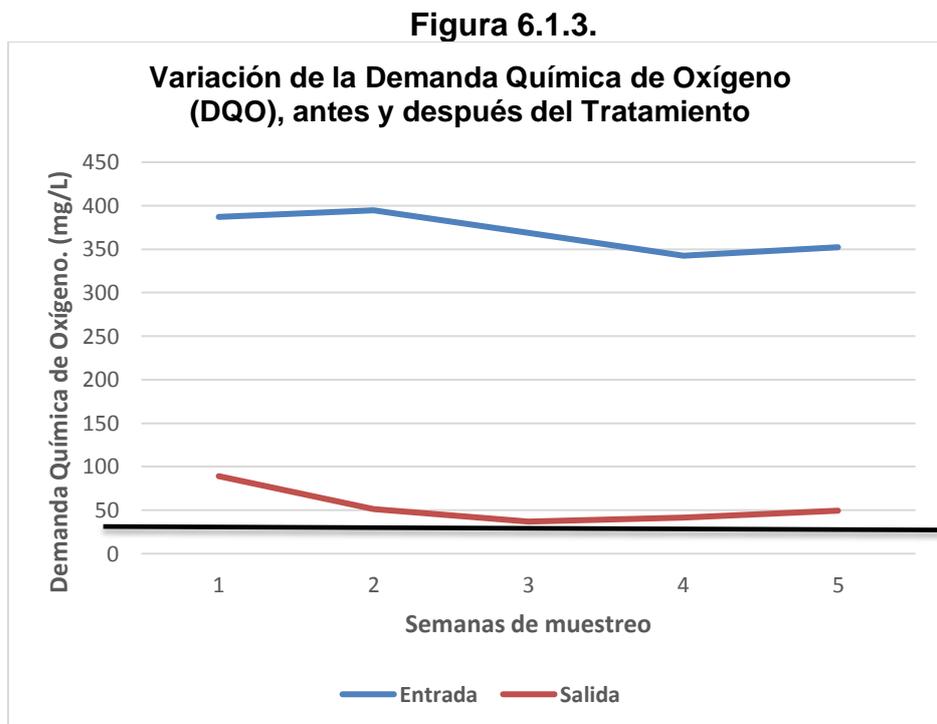


Fuente: Autoría propia

La figura nos muestra el valor de la Demanda Bioquímica de Oxígeno del efluente doméstico al ingreso y a la salida del sistema de tratamiento, apreciamos que el valor a la salida (**27.99 mg/L**), se halla por encima del valor deseado de 15 mg/L, para agua de Clase 3, si bien en esta serie de pruebas se ha reducido, con una eficiencia del orden de 89.22%, esta sin embargo no ha sido suficiente, para ello se deberá continuar con la investigación, que permite ampliar la serie de

pruebas, incrementando el amperaje y en consecuencia la densidad de corriente. En la figura 6.1.2. la línea de color negro nos indica el valor de la DBO₅, para agua de riego.

6.1.3. Resultados de la Demanda Química de Oxígeno después del tratamiento.- Se aprecia en la figura 6.1.3.”Variación de la Demanda Química del Oxígeno (DQO), antes y después del tratamiento”

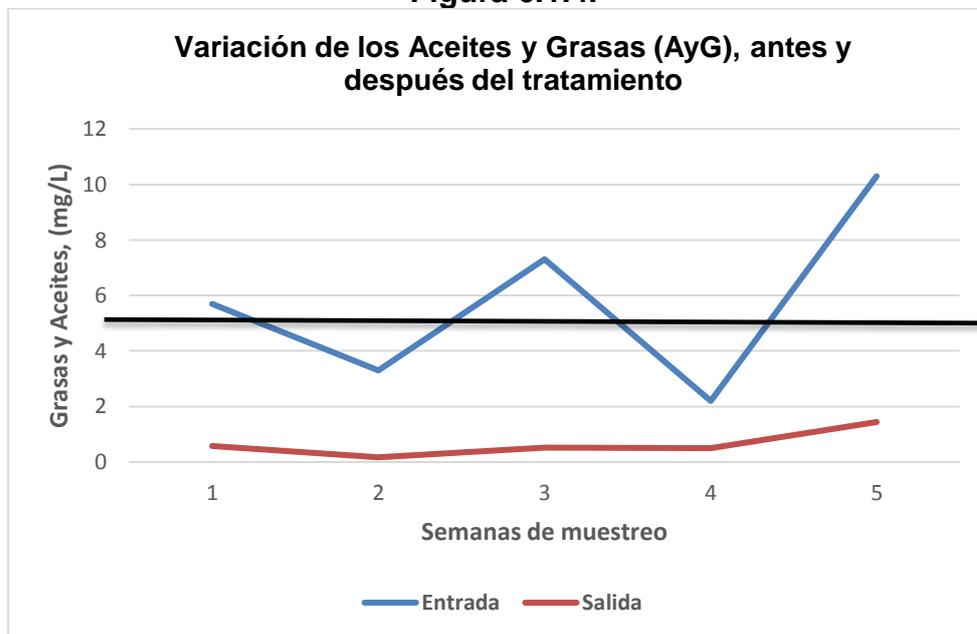


Fuente: Autoría propia

Apreciamos en la figura 6.1.3. la variación del valor de la Demanda Química de Oxígeno del efluente doméstico entre la entrada y salida, se observa que la DQO a la salida se aproximó con el valor d LPM para la Clase 3 de agua de Riego, es decir de 40 mg/L (la línea negra en la figura, nos marca el LMPs para la DQO), la eficiencia alcanzada fue del orden de 87.15%, esta sin embargo no ha sido suficiente, para ello se deberá continuar con la investigación, que permite ampliar la serie de pruebas, incrementando el amperaje y en consecuencia la densidad de corriente.

6.1.4. Resultados de los Aceites y Grasas después del tratamiento.- Apreciamos en la figura 6.1.4. "Variación de los Aceites y Grasas (AyG), antes y después del tratamiento"

Figura 6.1.4.



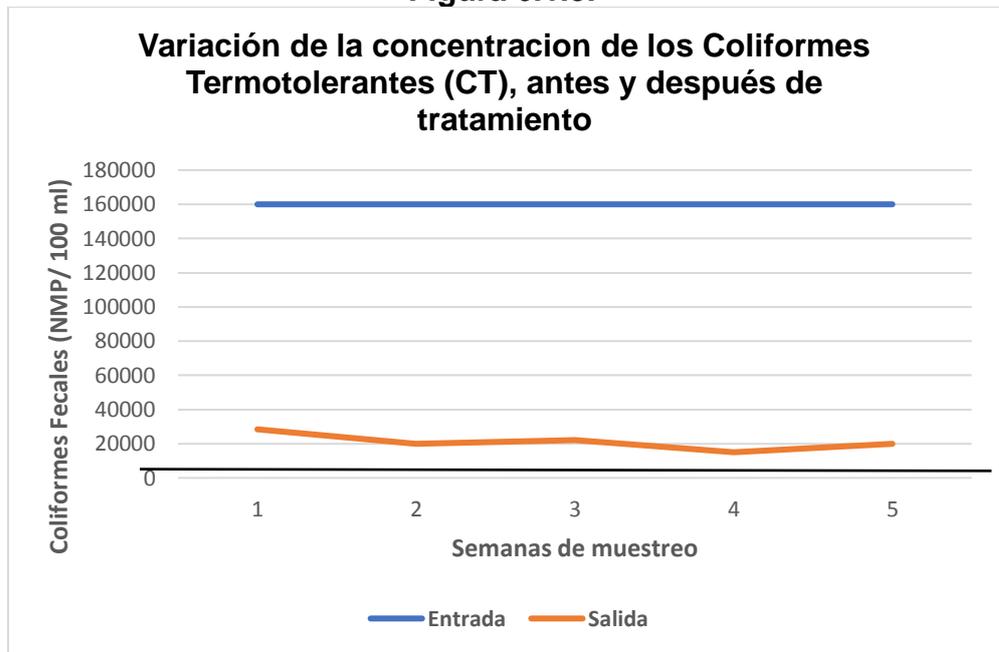
Fuente: Autoría propia

El LMPs para los Aceites y Grasas no debería ser mayor de 5 mg/L, que se indica con el trazo de la línea negra en la figura 6.1.4., como se observa este si se cumple a la salida del sistema de tratamiento, alcanzado una eficiencia del orden de 88.23%, bastante significativo, la reducción se debe a que los aceites y grasas se acumulan en la superficie del agua que en este caso es favorecida por la producción de burbujas que se llevan a las partículas hacia la superficie, y la salida se halla a una altura media y no en la superficie.

6.1.5. Resultados de la presencia de los Coliformes Termotolerantes después del tratamiento.- Apreciamos en la figura 6.1.5. "Variación de la Concentración de los Coliformes Termotolerantes (CT), antes y después del tratamiento".

Observamos, que la reducción no logra alcanzar el LMPs de 1000 NMP/100 ml de CT, que se indica con la línea negra en la figura, no obstante, consideramos que este valor se ha de reducirá cuando se opere el sistema de tratamiento incrementando el amperaje y en consecuencia la densidad de corriente eléctrica, de otro lado también podría dar lugar a la dosificación de un agente desinfectante.

Figura 6.1.5.



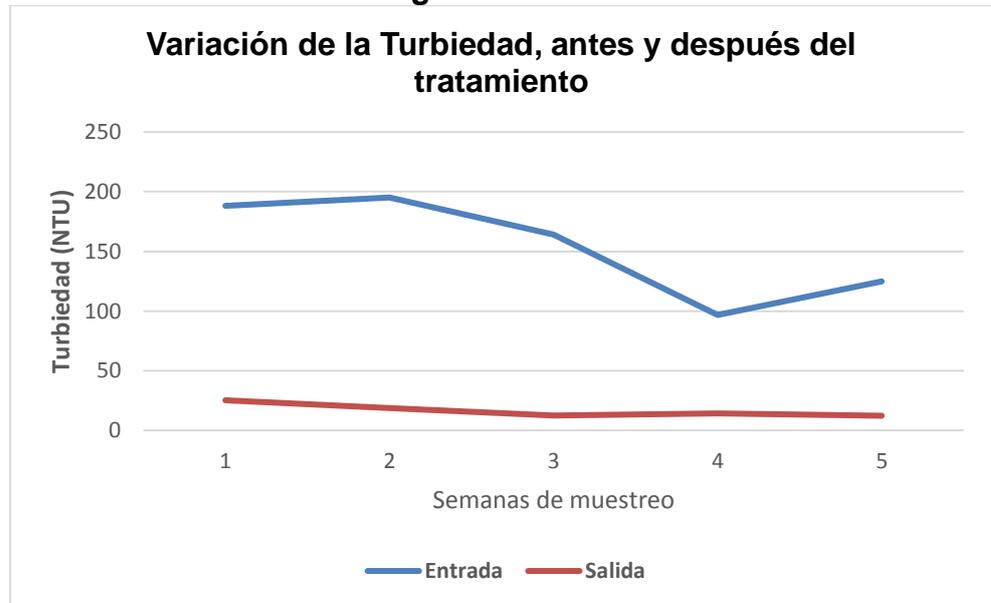
Fuente: Autoría propia

6.1.6. Resultados de la Turbiedad después del tratamiento.- Se aprecia en la figura 6.1.6. “Variación de la Turbiedad, antes y después del tratamiento”, la reducción a que tiene lugar la turbiedad del efluente doméstico cuando pasa a través del sistema de tratamiento. Se logro alcanzar una reducción del orden del 12.33%.

La Turbiedad, no tiene un valor LMPs, dentro de la Clase III de aguas par riego, pero por cuestiones de estética se apreciará que el mismo sea el más bajo posible, durante las pruebas se logró obtener un promedio de 16.51 NTU, siendo el valor más bajo de 12.3 NTU, consideramos que este valor se reducirá al igual que otros parámetros, cuando se opere el

sistema de tratamiento incrementando el amperaje y en consecuencia la densidad de corriente eléctrica.

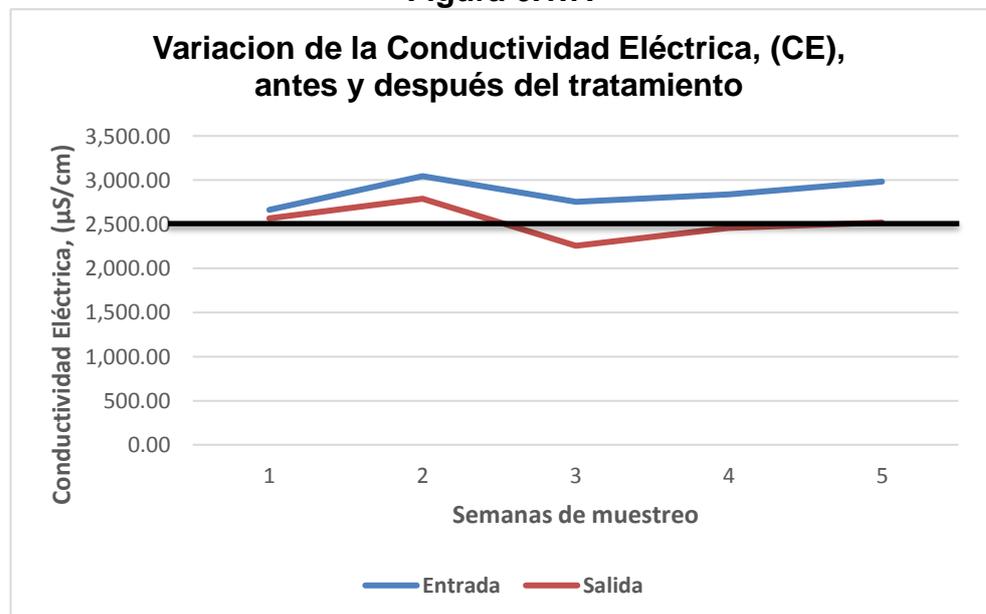
Figura 6.1.6.



Fuente: Autoría propia

6.1.7. Resultados de la Conductividad Eléctrica, después del tratamiento.- Podemos apreciar en la figura 6.1.7. “Variación de la Conductividad Eléctrica, (CE), antes y después del tratamiento”,

Figura 6.1.7.



Fuente: Autoría propia

El poco efecto sobre la conductividad eléctrica del efluente doméstico al pasar a través del sistema de tratamiento, alcanzo una reducción promedio de 89.04%, valor suficiente para alcanzar el LMPs de 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, exigido por la Clase 3 de agua para riego. En la figura 6.1.7. la línea negra representa el LMPs para agua de riego de la clase III.

6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares.-

Los resultados obtenidos por Gloria Barboza Palomino en su tesis de grado de Maestría, Titulado: Reducción de la carga de contaminantes de las aguas residuales de la planta de tratamiento de Totorá – Ayacucho empleando la técnica de electrocoagulación (2011), pudo determinar que la electrocoagulación surge como una de las mejores alternativas para el tratamiento de efluentes de todo tipo y se caracteriza por el uso de un equipo simple y fácil de operar, el tiempo de operación es corto, no se utiliza ninguna cantidad de reactivo químico y se puede aplicar para la remoción de contaminantes expresados como turbidez, coliformes fecales y DBO_5 .

La investigación realizada, consistió en la aplicación del método de electrocoagulación con electrodos de sacrificio de **aluminio**

Su aplicación permitió la remoción de turbidez, sólidos totales, sólidos disueltos, alcalinidad, dureza total, coliformes fecales y materia orgánica expresada como disminución de DBO_5 . La aplicación de 25 minutos de electrocoagulación a las muestras de agua, utilizando una densidad de corriente de **12,5 mA/cm²** y **21 – 23 V**, con pH de trabajo regulado a 7.33 – 7.34 permitió obtener 94,65% de remoción de turbidez, 65.1 % de remoción de coliformes fecales y 64,8 % de disminución de DBO_5 , logrando mejorar la calidad del agua al reducir la turbidez y disminuir el valor de DBO_5 a 14,75 mg O_2/L , valor que se encuentra dentro de los límites permisibles según los Estándares de Calidad Ambiental del Agua (ENCAA) para agua de categoría 3. El porcentaje de remoción de coliformes fecales puede aumentar hasta un valor de 93% para un tiempo de proceso de 45 minutos.

Para nuestro caso se trabajó bajo las condiciones siguientes: Caudal de 45 L/h, lo que equivale aproximadamente a un tiempo de retención de 40 minutos, Amperaje de 20 A equivalente a **4 mA/cm²** y Voltaje de **5 V**, obteniendo:

pH de 7.8 unidades, frente a los reportados de 7.33 – 7.34

Remoción de Turbidez 89.04%, frente a los reportados de 94.65%

Remoción de 86.83% de CT, frente a los reportados de 61.5% de CF

Remoción de 89.22% de la DBO₅, frente a los reportado de 64.8%

Para mejor apreciación de la contrastación de resultado presentamos la tabla 6.2.

Tabla 6.2. Contrastación de resultados de obtenidos en la presente investigación y los de G Barboza (2010)

Parámetro Valores	Amperaje A	Densidad de corriente mA/cm ²	Voltaje V	Y ₁ : pH und.	DQO %	DBO ₅ %	AyG %	CT %	CE μS/cm	Turb. %
Presente Investig.	20	4	5	7.80	85.57	89.22	88.23	86.83	12.33	89.04
Barboza (2011)	-	12.5	21 – 23	7.33 7.34	-	64.80	-	61.50	-	94.65

Fuente: Autoría propia

Los resultados tienen que ver con las condiciones de operación, de modo que se tendrán mejores resultados para cuando se trabaje a mayor densidad de corriente como los realizados por G. Barboza. (2011).

6.3. Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes.- El autor del presente Trabajo de Investigación, en concordancia al Código de Ética de Investigación de la Universidad Nacional del Callao, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 210-2017-CU, del 06 de julio de 2017, declara que el Informe Final es el resultado de la investigación aprobada por la Resolución Rectoral N° 034-2019-R-Callao del 15 de enero de 2019, con periodo de ejecución del 1° de diciembre al 30 de noviembre. Responsabilizándome por el

total del contenido del documento, el mismo que e elaborado cumpliendo estrictamente con la normatividad institucional nacional e internacional que regulan los procesos de investigación, con lo establecido en el Reglamento de Investigación de la UNAC, Reglamento de Propiedad Intelectual de la UNAC.

CONCLUSIONES

1. El Prototipo del Sistema de Tratamiento Continuo por Electrocoagulación (PSTCE), construido a partir de planchas de Acrílico transparente, considerando una celda con tres secciones y con las siguientes dimensiones:

a.	Volumen total de la celda:	60 litros
b.	Largo:	60 cm
c.	Ancho:	33 cm
d.	Profundidad:	30 cm
e.	Volumen de la zona de flotación de espumas:	16 litros
f.	Profundidad de la zona de flotación de espumas:	0.8 cm
g.	Volumen de la zona de reacción y sedimentos:	22 litros
h.	Profundidad de la zona de reacción:	17 cm
i.	Profundidad de la zona de sedimentos:	05 cm

2. Los resultados tienen que ver con las condiciones de operación, de modo que se tendrán mejores resultados para cuando se trabaje a mayor densidad de corriente como los realizados por G. Barboza. (2011), **12,5 mA/cm²** y **21 – 23 V**, mientras el presente trabajo se realizó a una densidad de corriente de **4 mA/cm²**, Amperaje de **20 A** y Voltaje de **5 V**.

3. Trabajando a un caudal de 45 L/h, el periodo de retención equivale, de acuerdo a las dimensiones de nuestro Prototipo del Sistema de Tratamiento Continuo por Electrocoagulación (PSTCE), a 40 minutos de periodo de retención.

4. Los resultados obtenidos en esta primera parte del trabajo de investigación son bastantes aceptables:

a.	Potencial de hidrogeno:	7.8 unidades
b.	Demanda Química de Oxígeno:	53.57 mg/L
c.	Demanda Bioquímica de Oxígeno:	27.99 mg/L
d.	Aceites y Grasas:	0.63 mg/L

e.	Coliformes Termotolerantes:	21,080 NMP/100 mL
f.	Conductividad Eléctrica:	2,516.5 μ S/cm
g.	Turbiedad:	16.51 NTU

5. La reducción de grasas y aceites en el Prototipo del Sistema de Tratamiento Continuo por Electrocoagulación (PSTCE), se favorece a la gran cantidad de burbuja generada por la formación de hidrogeno.
6. Densidad de corriente: El suministro de corriente al sistema de electrocoagulación determina la cantidad de iones de aluminio Al^{+3} o liberados por los respectivos electrodos. Cuando se usa una corriente demasiado grande, hay una transformación de energía eléctrica en energía calórica que calienta el agua. La selección de la densidad de corriente podría realizarse teniendo en cuenta otros parámetros de operación como pH y temperatura.

RECOMENDACIONES

- Continuar con la segunda parte de la investigación, para trabajar con otras diferentes densidades de corriente y voltajes.
- Modificar el Prototipo del Sistema de Tratamiento Continuo por Electrocoagulación (PSTCE), para que trabaje de modo secuencial.
- El prototipo del Sistema de Tratamiento Continuo por Electrocoagulación (PSTCE), trabajando de forma secuencial, es factible de ser patentado bajo la modalidad de Modelo de Utilidad.
- Mejorar las condiciones del jardín posterior de la FIARN, lugar donde se ubica los prototipos diversos de tratamiento de efluentes para investigación, que garanticen la seguridad del lugar.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- APHA, AWWA & WPCF, (2005); Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater. 24 Edition USA.
- Arango Ruiz A, (2005); **La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales**; Revista Lasallista, vol. 2, núm. 1 enero-junio, 2005, pp 49-56. Corporación Universitaria Lasallista, Antioquia, Colombia.
- Arango Ruiz, A., & Garcés Giraldo, L. F. (2007). **Diseño de una celda de electrocoagulación**. Revista Universidad EAFIT, vol. 43, núm. 147. 2007 pp.56-67.
- Aguilar Ascon, E. A., (2015); **Evaluación de la eficiencia de una celda de electrocoagulación a escala laboratorio para el tratamiento de agua**. Lima.
- Baca Neglia M. F., (2012); **Tratamiento de los efluentes domésticos mediante Humedales Artificiales para el riego de áreas verdes en el Distrito de San Juan de Marcona**. Tesis para optar el Grado Académico de Maestro en Investigación y Docencia Universitaria, Universidad Nacional del Callao.
- Baca Neglia M. F., (2018); **Sistema de tratamiento compacto de efluentes domésticos para reúso en el riego de áreas verdes y jardines**. Tesis para optar el Grado Académico de Doctor en Ingeniería Ambiental.
- Barboza Palomino, (2011), Tesis de Grado de Maestría: **Reducción de la carga contaminante de las aguas residuales de la planta de tratamiento de Totorá-Ayacacucho empleando la técnica de electrocoagulación**. Repositorio de la Universidad Nacional de Ingeniería.
- Barco Ríos H., Rojas Calderón E. y Restrepo Parra E., (2012); **Física: Principios de Electricidad y Magnetismo**. Edit. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales, Primera Edición. Colombia.

- Chang, R. (2007). **Química**. Traducido de la novena edición. 7^a Edición, Mexico: Mc Graw Hill Interamericana Editores, S.A.
- Chen, G. (2004). **Electrochemical technologies in wastewater treatment.**, Journal Separation and Purification Technology. (2004) Vol. 38, pp 11-41.
- Comninellis, C. (2009). **Electrochemistry for the environment**. Ed. (2010) Springer, pp 1-26.
- Guanoluiza Llive, (2013), Tesis para obtener el título de Ingeniero Químico, titulado: **Dimensionamiento de un sistema de electrocoagulación aplicado al tratamiento de aguas residuales domésticas, con y sin irradiación de electrones acelerados**. Escuela Politécnica Nacional Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria. Quito – Ecuador.
- Hernández Muñoz y Hernández Lehman, (1995); **Manual de Depuración Uralita**; Ed. Paraninfo S.A., 1^a Edición, Madrid.
- Holt P. K., Barton, Barton G. W. & Mitchell C. A., (2005). **The future for electrocoagulation as a localised water treatment technology**. Chemosphere.
- Prescott, Harley y Klein, (2008); **Microbiología**. Editorial Mc Graw Hill de España, séptima edición.
- Lara Borreo J.; (1999); **Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales**. Tesis de Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona España.
- Lazcano Carreño C., (2014); **Biotecnología ambiental de aguas y aguas residuales**. 1^o Ed. Fondo Editorial de la UNMSM.
- Malvino A. P., (1999); **Principios de Electrónica**; 6^{ta} Edición, Editorial Mc. Graw Hill/ Interamericana Editores, S.A. de C.V. España.
- Mercado Martínez, (2010), en su trabajo de investigación titulado: **En busca de la depuración de la materia orgánica: reactor fisicoquímico vs. reactor de electrocoagulación**. Cartagena – Colombia.

- Metcalf & Eddy; (1995); **Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización**, 3ª Ed. Mc. Graw Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V. España, Vol 1 y 2.
- Mollah M. et al.; (2004); **Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation**. Journal of Hazardous Materials (2004) vol. 34, N° 2, pp 199-210.
- Orozco Barrenechea C. et. al. (2004); **Contaminación Ambiental – Una visión desde la Química**; Ed. Thomson, España.
- Prescott, Harley y Klein (2008), **Microbiología**; Traducción de la 7ª edición en inglés, Editorial Mc. Graw Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V. - Impreso en Corea.
- Rajeshwar K., & Ibanez J. (1997). **Environmental electrochemistry: fundamentals and applications in pollution abatement**. San Diego, California : Academic Pres Limited
- Restrepo Mejía A., Arango Ruiz A. y Garcés Giraldo L.; (2006); **La Electrocoagulación: retos y oportunidades en el tratamiento de aguas**. Universidad Pontificia Bolivariana. (Producción + Limpia) pp 58-78.
- Robles Mendoza & Lopez Bueno, (2017), en su tesis para optar el título de Ingeniero Civil, titulado: **Diseño de un prototipo para el tratamiento de aguas residuales domésticas basado en electrocoagulación**. Bogotá - Colombia.
- Sampiere R. H., Collado C. C. & Baptista M. del Pilar (2006); **METODOLOGÍA de la Investigación**. Quinta edición, Impreso en México; Editorial Mc. Graw Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V.

ANEXOS

Matriz de Consistencia.-

TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN						
EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO CONTINUO POR ELECTROCOAGULACION PARA LOS EFLUENTES DOMÉSTICOS Y SU REÚSO EN EL RIEGO DE JARDINES Y ÁREAS VERDES						
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVOS	HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN	OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES			MÉTODO A EMPLEAR
			VARIABLE	INDICADORES	INDICE	
¿El uso inadecuado de agua potable para el riego de las áreas verdes y jardines de viviendas, residencias, edificios multifamiliares, y de otras ubicadas en las zonas urbanas alta y media de la ciudad de Lima y Callao, contribuyen con las limitaciones de la población con escaso o nulo abastecimiento de agua potable, de modo que si se implementase un sistema de tratamiento continuo por electrocoagulación para los efluentes domésticos generados en las propias viviendas permitirán su reúso como agua de riego?	<p>Objetivo General.- Diseñar el sistema de tratamiento por electrocoagulación para los efluentes domésticos generados en las viviendas, residencias u otras unidades familiares que permita su reúso en el riego de las áreas verdes y jardines de las propias viviendas, residencias u otras unidades familiares, y proponer el mismo para su implementación.</p> <p>Objetivos Específicos.-</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identificar, las características de los efluentes domésticos previos a su tratamiento. • Diseñar, construir el sistema de tratamiento continuo de electrocoagulación para los efluentes domésticos. • Operar el sistema de tratamiento para evaluar su eficiencia. 	“La calidad de los efluentes domésticos tratados para su reutilización, mediante un sistema de tratamiento continuo por electrocoagulación cumplirán con los LMPs que permitan su reúso como agua de riego”.	<p>Independiente X: Sistema de tratamiento continuo por electrocoagulación.</p> <p>Dependiente Y: Calidad de los efluentes domésticos tratados para su reutilización</p>	<p>X₁: Caudal (M³/día) X₂: Carga Superficial M³/M². d X₃: Tiempo de TRh X₄: Voltaje X₅: Amperaje</p> <p>Y₁: Potencial hidrogeno (pH) Y₂: Demanda Química de Oxígeno (DQO) Y₃: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) Y₄: Aceites y Grasas. (AyG) Y₅: Coliformes Termotolerantes (CT) Y₆: Turbiedad Y₇: Conductividad Eléctrica (CE)</p>	<p>X₁: L/h X₂: M³/M².d X₃: hr X₄: Volt. X₅: Amperios</p> <p>Y₁: 6–8.5 unid Y₂: 40 mg/L Y₃: 15 mg/L Y₄: 5 mg/L Y₅: 1000 NMP /100mL Y₆: No registro Y₇: 2500 μS/cm</p>	<p>Parámetros del protocolo durante la puesta en operación del sistema</p> <p>4550-H, SMWW 5220-B, SMWW 5210-B, SMWW 5520-B, SMWW 9222-E, SMWW 2130-B, SMWW 2510-B, SMWW</p> <p>Investigación: Experimental Tipo: Aplicada Diseño: G 0₁ X 0₂</p>

Nota: En el que **G** representa el grupo de muestra de efluente doméstico, (**0₁**), es el valor referencial inicial del indicador (variable dependiente), antes del estímulo o tratamiento, a través del sistema de tratamiento compacto **X** (la variable independiente), y posteriormente (**0₂**) el nivel que alcanzo luego del tratamiento.

Código Plan Nacional CTI: 0302.0006 (Tecnologías adecuadas para la disposición, tratamiento y re-uso de aguas residuales domésticas),

Código UNESCO: 3308.06 (Regeneración del Agua).

- **Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM: Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias (7 de junio 2017).- Disposición Complementaria Derogatoria.**

10	NORMAS LEGALES	Miércoles 7 de junio de 2017 / El Peruano
<p>Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias</p>	<p>publicación de Proyectos Normativos y difusión de Normas Legales de Carácter General, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2009-JUS; en virtud de la cual se recibieron aportes y comentarios al mismo;</p>	
<p>DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM</p>	<p>De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8 del artículo 118 de la Constitución Política del Perú, así como el numeral 3 del artículo 11 de la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;</p>	
<p>EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA</p>	<p>DECRETA:</p>	
<p>CONSIDERANDO:</p>	<p>Artículo 1.- Objeto de la norma</p>	
<p>Que, el numeral 22 del artículo 2 de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;</p>	<p>La presente norma tiene por objeto compilar las disposiciones aprobadas mediante el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, quedando sujetos a lo establecido en el presente Decreto Supremo y el Anexo que forma parte integrante del mismo. Esta compilación normativa modifica y elimina algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA, y mantiene otros, que fueron aprobados por los referidos decretos supremos.</p>	
<p>Que, de acuerdo a lo establecido en el artículo 3 de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, en adelante la Ley, el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en la Ley;</p>	<p>Artículo 2.- Aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua</p>	
<p>Que, el numeral 31.1 del artículo 31 de la Ley, define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente; asimismo, el numeral 31.2 del artículo 31 de la Ley establece que el ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas, así como un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental;</p>	<p>Apruébase los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, que como Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo.</p>	
<p>Que, de acuerdo con lo establecido en el numeral 33.1 del artículo 33 de la Ley, la Autoridad Ambiental Nacional dirige el proceso de elaboración y revisión de ECA y Límites Máximos Permisibles (LMP) y, en coordinación con los sectores correspondientes, elabora o encarga las propuestas de ECA y LMP, los que serán remitidos a la Presidencia del Consejo de Ministros para su aprobación mediante Decreto Supremo;</p>	<p>Artículo 3.- Categorías de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua</p>	
<p>Que, en virtud a lo dispuesto por el numeral 33.4 del artículo 33 de la Ley, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplica el principio de gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;</p>	<p>Para la aplicación de los ECA para Agua se debe considerar las siguientes precisiones sobre sus categorías:</p>	
<p>Que, de conformidad con lo establecido en el literal d) del artículo 7 del Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización, y Funciones del Ministerio del Ambiente, este ministerio tiene como función específica elaborar los ECA y LMP, los cuales deberán contar con la opinión del sector correspondiente y ser aprobados mediante Decreto Supremo;</p>	<p>3.1 Categoría 1: Poblacional y recreacional</p>	
<p>Que, mediante Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM se aprueban los ECA para Agua y, a través del Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, se aprueban las disposiciones para su aplicación;</p>	<p>a) Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable</p>	
<p>Que, asimismo, mediante Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM se modifican los ECA para Agua y se establecen disposiciones complementarias para su aplicación;</p>	<p>Entiéndase como aquellas aguas que, previo tratamiento, son destinadas para el abastecimiento de agua para consumo humano:</p>	
<p>Que, mediante Resolución Ministerial N° 331-2016-MINAM se crea el Grupo de Trabajo encargado de establecer medidas para optimizar la calidad ambiental, estableciendo como una de sus funciones específicas, el analizar y proponer medidas para mejorar la calidad ambiental en el país;</p>	<p>- A1. Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección Entiéndase como aquellas aguas que, por sus características de calidad, reúnen las condiciones para ser destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano con simple desinfección, de conformidad con la normativa vigente.</p>	
<p>Que, en mérito del análisis técnico realizado se ha identificado la necesidad de modificar, precisar y unificar la normatividad vigente que regula los ECA para agua;</p>	<p>- A2. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional, mediante dos o más de los siguientes procesos: Coagulación, floculación, decantación, sedimentación, y/o filtración o procesos equivalentes; incluyendo su desinfección, de conformidad con la normativa vigente.</p>	
<p>Que, mediante Resolución Ministerial N° 072-2017-MINAM, se dispuso la prepublicación del proyecto normativo, en cumplimiento del Reglamento sobre Transparencia, Acceso a la Información Pública Ambiental y Participación y Consulta Ciudadana en Asuntos Ambientales, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2009-MINAM, y el artículo 14 del Reglamento que establece disposiciones relativas a la publicidad,</p>	<p>- A3. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional que incluye procesos físicos y químicos avanzados como precloración, micro filtración, ultra filtración, nanofiltración, carbón activado, ósmosis inversa o procesos equivalentes establecidos por el sector competente.</p>	
	<p>b) Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo que se ubican en zonas marino costeras o continentales. La amplitud de las zonas marino costeras es variable y comprende la franja del mar entre el límite de la tierra hasta los 500 m de la línea paralela de baja marea. La amplitud de las zonas continentales es definida por la autoridad competente:</p>	

- B1. Contacto primario

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo de contacto primario por la Autoridad de Salud, para el desarrollo de actividades como la natación, el esquí acuático, el buceo libre, el surf, el canotaje, la navegación en tabla a vela, la moto acuática, la pesca submarina o similares.

- B2. Contacto secundario

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo de contacto secundario por la Autoridad de Salud, para el desarrollo de deportes acuáticos con botes, lanchas o similares.

3.2 Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales**a) Subcategoría C1: Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras**

Entiéndase como aquellas aguas cuyo uso está destinado a la extracción o cultivo de moluscos (Ej.: ostras, almejas, choros, navajas, machas, conchas de abanico, palabrillas, mejillones, caracol, lapa, entre otros), equinodermos (Ej.: erizos y estrella de mar) y tunicados.

b) Subcategoría C2: Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras

Entiéndase como aquellas aguas destinadas a la extracción o cultivo de otras especies hidrobiológicas para el consumo humano directo e indirecto. Esta subcategoría comprende a los peces y las algas comestibles.

c) Subcategoría C3: Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras

Entiéndase como aquellas aguas aledañas a las infraestructuras marino portuarias, actividades industriales o servicios de saneamiento como los emisarios submarinos.

d) Subcategoría C4: Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas

Entiéndase como aquellas aguas cuyo uso está destinado a la extracción o cultivo de especies hidrobiológicas para consumo humano.

3.3 Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales**a) Subcategoría D1: Riego de vegetales**

Entiéndase como aquellas aguas utilizadas para el riego de los cultivos vegetales, las cuales, dependiendo de factores como el tipo de riego empleado en los cultivos, la clase de consumo utilizado (crudo o cocido) y los posibles procesos industriales o de transformación a los que puedan ser sometidos los productos agrícolas:

- Agua para riego no restringido

Entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen crudos (Ej.: hortalizas, plantas frutales de tallo bajo o similares); cultivos de árboles o arbustos frutales con sistema de riego por aspersión, donde el fruto o partes comestibles entran en contacto directo con el agua de riego, aun cuando estos sean de tallo alto; parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales; o cualquier otro tipo de cultivo.

- Agua para riego restringido

Entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen cocidos (Ej.: habas); cultivos de tallo alto en los que el agua de riego no entra en contacto con el fruto (Ej.: árboles frutales); cultivos a ser procesados, envasados y/o industrializados (Ej.: trigo, arroz, avena y quinua); cultivos industriales no comestibles (Ej.: algodón), y; cultivos forestales, forrajes, pastos o similares (Ej.: maíz forrajero y alfalfa).

b) Subcategoría D2: Bebida de animales

Entiéndase como aquellas aguas utilizadas para bebida de animales mayores como ganado vacuno,

equino o camélido, y para animales menores como ganado porcino, ovino, caprino, cuyes, aves y conejos.

3.4 Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua superficiales que forman parte de ecosistemas frágiles, áreas naturales protegidas y/o zonas de amortiguamiento, cuyas características requieren ser protegidas.

a) Subcategoría E1: Lagunas y lagos

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua lénticos, que no presentan corriente continua, incluyendo humedales.

b) Subcategoría E2: Ríos

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua lóticos, que se mueven continuamente en una misma dirección:

- Ríos de la costa y sierra

Entiéndase como aquellos ríos y sus afluentes, comprendidos en la vertiente hidrográfica del Pacífico y del Tílica, y en la parte alta de la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, por encima de los 600 msnm.

- Ríos de la selva

Entiéndase como aquellos ríos y sus afluentes, comprendidos en la parte baja de la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, por debajo de los 600 msnm, incluyendo las zonas meándricas.

c) Subcategoría E3: Ecosistemas costeros y marinos**- Estuarios**

Entiéndase como aquellas zonas donde el agua de mar ingresa en valles o cauces de ríos hasta el límite superior del nivel de marea. Esta clasificación incluye marismas y manglares.

- Marinos

Entiéndase como aquellas zonas del mar comprendidas desde la línea paralela de baja marea hasta el límite marítimo nacional.

Precísese que no se encuentran comprendidas dentro de las categorías señaladas, las aguas marinas con fines de potabilización, las aguas subterráneas, las aguas de origen minero - medicinal, aguas geotermiales, aguas atmosféricas y las aguas residuales tratadas para reuso.

Artículo 4.- Asignación de categorías a los cuerpos naturales de agua

4.1 La Autoridad Nacional del Agua es la entidad encargada de asignar a cada cuerpo natural de agua las categorías establecidas en el presente Decreto Supremo atendiendo a sus condiciones naturales o niveles de fondo, de acuerdo al marco normativo vigente.

4.2 En caso se identifique dos o más posibles categorías para una zona determinada de un cuerpo natural de agua, la Autoridad Nacional del Agua define la categoría aplicable, priorizando el uso poblacional.

Artículo 5.- Los Estándares de Calidad Ambiental para Agua como referente obligatorio

5.1 Los parámetros de los ECA para Agua que se aplican como referente obligatorio en el diseño y aplicación de los instrumentos de gestión ambiental, se determinan considerando las siguientes variables, según corresponda:

a) Los parámetros asociados a los contaminantes que caracterizan al efluente del proyecto o la actividad productiva, extractiva o de servicios.

b) Las condiciones naturales que caracterizan el estado de la calidad ambiental de las aguas superficiales que no han sido alteradas por causas antrópicas.

c) Los niveles de fondo de los cuerpos naturales de agua; que proporcionan información acerca de las concentraciones de sustancias o agentes físicos,

químicos o biológicos presentes en el agua y que puedan ser de origen natural o antrópico.

d) El efecto de otras descargas en la zona, tomando en consideración los impactos ambientales acumulativos y sinérgicos que se presenten aguas arriba y aguas abajo de la descarga del efluente, y que influyan en el estado actual de la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua donde se realiza la actividad.

e) Otras características particulares de la actividad o el entorno que pueden influir en la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua.

5.2 La aplicación de los ECA para Agua como referente obligatorio está referida a los parámetros que se identificaron considerando las variables del numeral anterior, según corresponda, sin incluir necesariamente todos los parámetros establecidos para la categoría o subcategoría correspondiente.

Artículo 6.- Consideraciones de excepción para la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

En aquellos cuerpos naturales de agua que por sus condiciones naturales o, por la influencia de fenómenos naturales, presenten parámetros en concentraciones superiores a la categoría de ECA para Agua asignada, se exceptúa la aplicación de los mismos para efectos del monitoreo de la calidad ambiental, en tanto se mantenga uno o más de los siguientes supuestos:

a) Características geológicas de los suelos y subsuelos que influyen en la calidad ambiental de determinados cuerpos naturales de aguas superficiales. Para estos casos, se demostrará esta condición natural con estudios técnicos científicos que sustenten la influencia natural de una zona en particular sobre la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua, aprobados por la Autoridad Nacional del Agua.

b) Ocurrencia de fenómenos naturales extremos, que determina condiciones por exceso (inundaciones) o por carencia (sequías) de sustancias o elementos que componen el cuerpo natural de agua, las cuales deben ser reportadas con el respectivo sustento técnico.

c) Desbalance de nutrientes debido a causas naturales, que a su vez genera eutrofización o el crecimiento excesivo de organismos acuáticos, en algunos casos potencialmente tóxicos (mareas rojas). Para tal efecto, se debe demostrar el origen natural del desbalance de nutrientes, mediante estudios técnicos científicos aprobados por la autoridad competente.

d) Otras condiciones debidamente comprobadas mediante estudios o informes técnicos científicos actualizados y aprobados por la autoridad competente.

Artículo 7.- Verificación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua fuera de la zona de mezcla

7.1 En cuerpos naturales de agua donde se vierten aguas tratadas, la Autoridad Nacional del Agua verifica el cumplimiento de los ECA para Agua fuera de la zona de mezcla, entendida esta zona como aquella que contiene el volumen de agua en el cuerpo receptor donde se logra la dilución del vertimiento por procesos hidrodinámicos y dispersión, sin considerar otros factores como el decaimiento bacteriano, sedimentación, asimilación en materia orgánica y precipitación química.

7.2 Durante la evaluación de los instrumentos de gestión ambiental, las autoridades competentes consideran y/o verifican el cumplimiento de los ECA para Agua fuera de la zona de mezcla, en aquellos parámetros asociados prioritariamente a los contaminantes que caracterizan al efluente del proyecto o actividad.

7.3 La metodología y aspectos técnicos para la determinación de las zonas de mezcla serán establecidos por la Autoridad Nacional del Agua, en coordinación con el Ministerio del Ambiente y la autoridad competente.

Artículo 8.- Sistematización de la información

8.1 Las autoridades competentes de los tres niveles de gobierno, que realicen acciones de vigilancia, monitoreo, control, supervisión y/o fiscalización ambiental remitirán

al Ministerio del Ambiente la información generada en el desarrollo de estas actividades con relación a la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua, a fin de que sirva como insumo para la elaboración del Informe Nacional del Estado del Ambiente y para el Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA).

8.2 La autoridad competente debe remitir al Ministerio del Ambiente la relación de aquellos cuerpos naturales de agua exceptuados de la aplicación del ECA para Agua, referidos en los literales a) y c) del artículo 6 del presente Decreto Supremo, adjuntando el sustento técnico correspondiente.

8.3 El Ministerio del Ambiente establece los procedimientos, plazos y los formatos para la remisión de la información.

Artículo 9.- Refrendo

El presente Decreto Supremo es refrendado por la Ministra del Ambiente, el Ministro de Agricultura y Riego, el Ministro de Energía y Minas, la Ministra de Salud, el Ministro de la Producción y el Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS FINALES

Primera.- Aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en los instrumentos de gestión ambiental aprobados

La aplicación de los ECA para Agua en los instrumentos de gestión ambiental aprobados, que sean de carácter preventivo, se realiza en la actualización o modificación de los mismos, en el marco de la normativa vigente del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA). En el caso de instrumentos correctivos, la aplicación de los ECA para Agua se realiza conforme a la normativa ambiental sectorial.

Segunda.- Del Monitoreo de la Calidad Ambiental del Agua

Las acciones de vigilancia y monitoreo de la calidad del agua debe realizarse de acuerdo al Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales aprobado por la Autoridad Nacional del Agua.

Tercera.- Métodos de ensayo o técnicas analíticas

El Ministerio del Ambiente, en un plazo no mayor a seis (6) meses contado desde la vigencia de la presente norma, establece los métodos de ensayo o técnicas analíticas aplicables a la medición de los ECA para Agua aprobados por la presente norma, en coordinación con el Instituto Nacional de Calidad (INACAL) y las autoridades competentes.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS TRANSITORIAS

Primera.- Instrumento de gestión ambiental y/o plan integral en trámite ante la Autoridad Competente

Los titulares que antes de la fecha de entrada en vigencia de la norma, hayan iniciado un procedimiento administrativo para la aprobación del instrumento de gestión ambiental y/o plan integral ante la autoridad competente, tomarán en consideración los ECA para Agua vigentes a la fecha de inicio del procedimiento.

Luego de aprobado el instrumento de gestión ambiental por la autoridad competente, los titulares deberán considerar lo establecido en la Primera Disposición Complementaria Final, a efectos de aplicar los ECA para Agua aprobados mediante el presente Decreto Supremo.

Segunda.- De la autorización de vertimiento de aguas residuales tratadas

Para la autorización de vertimiento de aguas residuales tratadas, la Autoridad Nacional del Agua, tomará en cuenta los ECA para Agua considerados en la aprobación del instrumento de gestión ambiental correspondiente.

Tercera.- De la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en cuerpos naturales de agua no categorizados

En tanto la Autoridad Nacional del Agua no haya asignado una categoría a un determinado cuerpo natural de agua, se debe aplicar la categoría del

recurso hídrico al que este tributa, previo análisis de dicha Autoridad.

**DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA
DEROGATORIA**

**Única.- Derogación de normas referidas a
Estándares de Calidad Ambiental para Agua**

Derógase el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los seis días del mes de junio del año dos mil diecisiete.

PEDRO PABLO KUCZYNSKI GODARD
Presidente de la República

JOSÉ MANUEL HERNÁNDEZ CALDERÓN
Ministro de Agricultura y Riego

ELSA GALARZA CONTRERAS
Ministra del Ambiente

GONZALO TAMAYO FLORES
Ministro de Energía y Minas

PEDRO OLAECHEA ÁLVAREZ-CALDERÓN
Ministro de la Producción

PATRICIA J. GARCÍA FUNEGRA
Ministra de Salud

EDMER TRUJILLO MORI
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

ANEXO

Categoría 1: Poblacional y Recreacional

Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
FÍSICOS- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	0,5	1,7	1,7
Cianuro Total	mg/L	0,07	**	**
Cianuro Libre	mg/L	**	0,2	0,2
Cloruros	mg/L	250	250	250
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	15	100 (e)	**
Conductividad	(μ S/cm)	1 500	1 600	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	3	5	10
Dureza	mg/L	500	**	**
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	10	20	30
Fenoles	mg/L	0,003	**	**
Fluoruros	mg/L	1,5	**	**
Fósforo Total	mg/L	0,1	0,15	0,15
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante de origen antropico	Ausencia de material flotante de origen antropico	Ausencia de material flotante de origen antropico
Nitritos (NO ₂) (c)	mg/L	50	50	50
Nitritos (NO ₃) (d)	mg/L	3	3	**
Amoníaco-N	mg/L	1,5	1,5	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 6	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5	6,5 – 9,0	6,5 - 9,0
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1 000	1 000	1 500
Sulfatos	mg/L	250	500	**
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	**
Turbiedad	UNT	5	100	**
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	0,9	5	5
Antimonio	mg/L	0,02	0,02	**
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,15
Bario	mg/L	0,7	1	**
Berilio	mg/L	0,012	0,04	0,1
Boro	mg/L	2,4	2,4	2,4
Cadmio	mg/L	0,003	0,005	0,01
Cobre	mg/L	2	2	2
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05
Hierro	mg/L	0,3	1	5
Manganeso	mg/L	0,4	0,4	0,5
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002
Molibdeno	mg/L	0,07	**	**

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
Níquel	mg/L	0,07	**	**
Plomo	mg/L	0,01	0,05	0,05
Selenio	mg/L	0,04	0,04	0,05
Uranio	mg/L	0,02	0,02	0,02
Zinc	mg/L	3	5	5
ORGÁNICOS				
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C ₉ - C ₂₆)	mg/L	0,01	0,2	1,0
Trihalometanos	(e)	1,0	1,0	1,0
Bromoformo	mg/L	0,1	**	**
Cloroformo	mg/L	0,3	**	**
Dibromodlorometano	mg/L	0,1	**	**
Bromodlorometano	mg/L	0,06	**	**
I. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES				
1,1,1-Tricloroetano	mg/L	0,2	0,2	**
1,1-Dicloroetano	mg/L	0,03	**	**
1,2 Dicloroetano	mg/L	0,03	0,03	**
1,2 Diclorobenceno	mg/L	1	**	**
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	**
Tetracloroetano	mg/L	0,04	**	**
Tetracloruro de carbono	mg/L	0,004	0,004	**
Tricloroetano	mg/L	0,07	0,07	**
BTEX				
Benceno	mg/L	0,01	0,01	**
Etilbenceno	mg/L	0,3	0,3	**
Tolueno	mg/L	0,7	0,7	**
Xilenos	mg/L	0,5	0,5	**
Hidrocarburos Aromáticos				
Benzo(a)pireno	mg/L	0,0007	0,0007	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,009	0,009	**
Organoclorados				
Meleción	mg/L	0,19	0,0001	**
Organoclorados				
Aldrin + Dieldrin	mg/L	0,0003	0,0003	**
Clordano	mg/L	0,0002	0,0002	**
Dicloro Difetil Tricloroetano (DDT)	mg/L	0,001	0,001	**
Endrin	mg/L	0,0006	0,0006	**
Heptacloro + Heptacloro Epóxido	mg/L	0,00003	0,00003	**
Lindeno	mg/L	0,002	0,002	**
Carbamato				
Aldicarb	mg/L	0,01	0,01	**
II. CIANOTOXINAS				
Microcistina-LR	mg/L	0,001	0,001	**
III. BIFENILOS POLICLORADOS				
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,0005	0,0005	**
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS				
Coliformes Totales	NMP/100 ml	50	**	**
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	20	2 000	20 000
Formas Parasitarias	N° Organismo/L	0	**	**
Escherichia coli	NMP/100 ml	0	**	**
Vibrio cholerae	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Organismos de vida libre (algas, protozoarios, copepodos, rotíferos, nematodos, en todos sus estadios evolutivos) (f)	N° Organismo/L	0	<5x10 ⁶	<5x10 ⁶

(a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b) Después de la filtración simple.

(c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N (NO₃-N), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO₃).

(d) En el caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitritos-N ($\text{NO}_2\text{-N}$), multiplicar el resultado por el factor 3.28 para expresarlo en unidades de Nitritos (NO_2).

(e) Para el cálculo de los Trihalometanos, se obtiene a partir de la suma de los cocientes de la concentración de cada uno de los parámetros (Bromoformo, Cloroformo, Dibromoclorometano y Bromodichlorometano), con respecto a sus estándares de calidad ambiental; que no deberán exceder el valor de 1 de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\frac{C_{\text{Cloroformo}}}{E_{\text{CAcloroformo}}} + \frac{C_{\text{Dibromoclorometano}}}{E_{\text{CADibromoclorometano}}} + \frac{C_{\text{Bromodichlorometano}}}{E_{\text{CABromodichlorometano}}} + \frac{C_{\text{Bromoformo}}}{E_{\text{CABromoformo}}} \leq 1$$

Dónde:

C= concentración en mg/L y

ECA= Estándar de Calidad Ambiental en mg/L (Se mantiene las concentraciones del Bromoformo, cloroformo, Dibromoclorometano y Bromodichlorometano).

(f) Aquellos organismos microscópicos que se presentan en forma unicelular, en colonias, en filamentos o pluricelulares. $\Delta 3$: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 1:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación

Parámetros	Unidad de medida	B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
FÍSICOS- QUÍMICOS			
Aceites y Grasas	mg/L	Ausencia de película visible	**
Cianuro Libre	mg/L	0,022	0,022
Cianuro Wied	mg/L	0,06	**
Color	Color verdadero Escala Pt/Co	Sin cambio normal	Sin cambio normal
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)	mg/L	5	10
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	30	50
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,5	Ausencia de espumas persistente
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Nitratos ($\text{NO}_3\text{-N}$)	mg/L	10	**
Nitritos ($\text{NO}_2\text{-N}$)	mg/L	1	**
Olor	Factor de dilución a 25° C	Aceptable	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,0 a 9,0	**
Sulfuros	mg/L	0,05	**
Turbiedad	UNT	100	**
INORGÁNICOS			
Aluminio	mg/L	0,2	**
Antimonio	mg/L	0,006	**
Arsénico	mg/L	0,01	**
Bario	mg/L	0,7	**

Parámetros	Unidad de medida	B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
Berilio	mg/L	0,04	**
Boro	mg/L	0,5	**
Cadmio	mg/L	0,01	**
Cobre	mg/L	2	**
Cromo Total	mg/L	0,05	**
Cromo VI	mg/L	0,05	**
Hierro	mg/L	0,3	**
Manganeso	mg/L	0,1	**
Mercurio	mg/L	0,001	**
Níquel	mg/L	0,02	**
Plata	mg/L	0,01	0,05
Plomo	mg/L	0,01	**
Selenio	mg/L	0,01	**
Uranio	mg/L	0,02	0,02
Vanadio	mg/L	0,1	0,1
Zinc	mg/L	3	**
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO			
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	200	1 000
Escherichia coli	NMP/100 ml	Ausencia	Ausencia
Formas Parasitarias	N° Organismo/L	0	**
Giardia duodenalis	N° Organismo/L	Ausencia	Ausencia
Enterococos intestinales	NMP/100 ml	200	**
Salmonella spp	Presencia/100 ml	0	0
Vibrio cholerae	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia

Nota 2:

- UNT: Unidad Nefelométrica de Turbiedad.
- NMP/100 ml: Número más probable en 100 ml.
- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales

Parámetros	Unidad de medida	C1	C2	C3	C4
		Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras	Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras	Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras	Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas
FÍSICOS- QUÍMICOS					
Aceites y Gresas	mg/L	1,0	1,0	2,0	1,0
Cianuro Wad	mg/L	0,004	0,004	**	0,0052
Color (después de filtración simple) (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)	100 (a)	**	100 (a)
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	**	10	10	10
Fósforo Total	mg/L	0,062	0,062	**	0,025
Nitritos (NO ₂ ⁻) (c)	mg/L	16	16	**	13
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4	≥ 3	≥ 2,5	≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	7 - 8,5	6,8 - 8,5	6,8 - 8,5	6,0-9,0
Sólidos Suspensivos Totales	mg/L	80	60	70	**
Sulfuros	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 3
INORGÁNICOS					
Amoníaco Total (NH ₃)	mg/L	**	**	**	(1)
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**
Arsénico	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,1
Boro	mg/L	5	5	**	0,75
Cadmio	mg/L	0,01	0,01	**	0,01
Cobre	mg/L	0,0031	0,05	0,05	0,2
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,10
Mercurio	mg/L	0,00094	0,0001	0,0018	0,00077
Níquel	mg/L	0,0082	0,1	0,074	0,052
Plomo	mg/L	0,0081	0,0081	0,03	0,0025
Selenio	mg/L	0,071	0,071	**	0,005
Telurio	mg/L	**	**	**	0,0008
Zinc	mg/L	0,081	0,081	0,12	1,0
ORGÁNICO					
Hidrocarburos Totales de Petróleo (fracción aromática)	mg/L	0,007	0,007	0,01	**
Bifenilos Policlorados					
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,00003	0,00003	0,00003	0,000014
ORGANOLÉPTICO					
Hidrocarburos de Petróleo	mg/L	No visible	No visible	No visible	**
MICROBIOLÓGICO					
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	≤ 14 (área aprobada) (d)	≤ 30	1 000	200
	NMP/100 ml	≤ 88 (área restringida) (d)			

(a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b) Después de la filtración simple.

(c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N (NO₃⁻-N), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO₃⁻).

(d) **Área Aprobada:** Áreas de donde se extraen o cultivan moluscos bivalvos seguros para el comercio directo y consumo, libres de contaminación fecal humana o animal, de organismos patógenos o cualquier sustancia deletérea o venenosa y potencialmente peligrosa.

Área Restringida: Áreas acuáticas impactadas por un grado de contaminación donde se extraen moluscos bivalvos seguros para consumo humano, luego de ser depurados.

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 3:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

(1) Aplicar la Tabla N° 1 sobre el estándar de calidad de concentración de Amoníaco Total en función del pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH₃).

Tabla N° 1: Estándar de calidad de Amoníaco Total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH₃)

Temperatura (°C)	pH							
	8	8,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	10,0
0	231	73,0	23,1	7,32	2,33	0,749	0,250	0,042
5	153	48,3	15,3	4,84	1,54	0,502	0,172	0,034
10	102	32,4	10,3	3,28	1,04	0,343	0,121	0,029
15	69,7	22,0	6,98	2,22	0,715	0,239	0,089	0,026
20	48,0	15,2	4,82	1,54	0,499	0,171	0,067	0,024
25	33,5	10,6	3,37	1,08	0,354	0,125	0,053	0,022
30	23,7	7,50	2,39	0,767	0,258	0,094	0,043	0,021

Nota:

(*)El estándar de calidad de Amoníaco total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce, presentan una tabla de valores para rangos de pH de 6 a 10 y Temperatura de 0 a 30°C. Para comparar la temperatura y pH de las muestras de agua superficial, se deben tomar la temperatura y pH próximo superior al valor obtenido en campo, ya que la condición más extrema se da a mayor temperatura y pH. En tal sentido, no es necesario establecer rangos.

(**)En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Amoníaco-N (NH₃-N), multiplicar el resultado por el factor 1,22 para expresarlo en las unidades de Amoníaco (NH₃).

Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
FÍSICOS- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L		5	10
Bicarbonatos	mg/L		518	**
Cianuro Wad	mg/L		0,1	0,1
Cloruros	mg/L		500	**
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co		100 (a)	100 (a)
Conductividad	(µS/cm)		2 500	5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L		15	15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L		40	40
Detergentes (SAAM)	mg/L		0,2	0,5
Fenoles	mg/L		0,002	0,01
Fluoruros	mg/L		1	**
Nitrosos (NO ₂ -N) + Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L		100	100
Nitrosos (NO ₂ -N)	mg/L		10	10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L		≥ 4	≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH		6,5 - 8,5	6,5 - 8,4
Sulfatos	mg/L		1 000	1 000
Temperatura	°C		Δ 3	Δ 3
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L		5	5

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
Arsénico	mg/L		0,1	0,2
Bario	mg/L		0,7	**
Berilio	mg/L		0,1	0,1
Boro	mg/L		1	5
Cadmio	mg/L		0,01	0,05
Cobre	mg/L		0,2	0,5
Cobalto	mg/L		0,05	1
Cromo Total	mg/L		0,1	1
Hierro	mg/L		5	**
Litio	mg/L		2,5	2,5
Magnesio	mg/L		**	250
Manganeso	mg/L		0,2	0,2
Mercurio	mg/L		0,001	0,01
Niquel	mg/L		0,2	1
Plomo	mg/L		0,05	0,05
Selenio	mg/L		0,02	0,05
Zinc	mg/L		2	24
ORGÁNICO				
Bifenilos Policlorados				
Bifenilos Policlorados (PCB)	µg/L		0,04	0,045
PLAGUICIDAS				
Paraquat	µg/L		35	35
Organoclorados				
Aldrin	µg/L		0,004	0,7
Clordano	µg/L		0,006	7
Dicloro Difencil Tricloroetano (DDT)	µg/L		0,001	30
Dieldrin	µg/L		0,5	0,5
Endosulfán	µg/L		0,01	0,01
Endrin	µg/L		0,004	0,2
Heptacloro y Heptacloro Epóxido	µg/L		0,01	0,03
Lindano	µg/L		4	4
Carbamato				
Aldicarb	µg/L		1	11
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO				
Coliformes Termotolerantes	NMPI/100 ml		1 000	2 000
Escherichia coli	NMPI/100 ml		1 000	**
Huevos de Helmintos	Huevo/L		1	1

(a): Para aguas claras. Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b): Después de filtración simple.

(c): Para el riego de parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales, sólo aplican los parámetros microbiológicos y parasitológicos del tipo de riego no restringido.

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 4:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
FÍSICOS- QUÍMICOS						
Aceites y Grasas (MEH)	mg/L	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Cianuro Libre	mg/L	0,0052	0,0052	0,0052	0,001	0,001
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	20 (a)	20 (a)	20 (a)	**	**
Clorofila A	mg/L	0,008	**	**	**	**
Conductividad	(μ S/cm)	1 000	1 000	1 000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	5	10	10	15	10
Fenoles	mg/L	2,56	2,56	2,56	5,8	5,8
Fósforo total	mg/L	0,035	0,05	0,05	0,124	0,062
Nitritos (NO ₂) (c)	mg/L	13	13	13	200	200
Amoníaco Total (NH ₃)	mg/L	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)
Nitrógeno Total	mg/L	0,315	**	**	**	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 5	≥ 5	≥ 4	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	≤ 25	≤ 100	≤ 400	≤ 100	≤ 30
Sulfuros	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 2	Δ 2
INORGÁNICOS						
Antimonio	mg/L	0,54	0,54	0,54	**	**
Arsénico	mg/L	0,15	0,15	0,15	0,036	0,036
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	**
Cadmio Disuelto	mg/L	0,00025	0,00025	0,00025	0,0088	0,0088
Cobre	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,011	0,011	0,011	0,05	0,05
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Níquel	mg/L	0,052	0,052	0,052	0,0082	0,0082
Plomo	mg/L	0,0025	0,0025	0,0025	0,0081	0,0081
Selenio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,071	0,071
Taño	mg/L	0,0008	0,0008	0,0008	**	**
Zinc	mg/L	0,12	0,12	0,12	0,081	0,081
ORGÁNICOS						
Compuestos Orgánicos Volátiles						
Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/L	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
BTEX						
Benceno	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Hidrocarburos Aromáticos						
Benzo(a)Pireno	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Antraceno	mg/L	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
Fluoranteno	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Bifenilos Policlorados						
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,000014	0,000014	0,000014	0,00003	0,00003
PLAGUICIDAS						
Organofosforados						
Malatión	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Paratión	mg/L	0,000013	0,000013	0,000013	**	**
Organoclorados						
Aldrin	mg/L	0,000004	0,000004	0,000004	**	**
Clordano	mg/L	0,0000043	0,0000043	0,0000043	0,000004	0,000004
DDT (Suma de 4,4'-DDO y 4,4'-DDE)	mg/L	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001
Dieldrin	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000019	0,0000019
Endosulfán	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000087	0,0000087
Endrin	mg/L	0,000036	0,000036	0,000036	0,0000023	0,0000023
Heptacloro	mg/L	0,000038	0,000038	0,000038	0,0000036	0,0000036

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
Heptacloro Epóxido	mg/L	0,000038	0,000038	0,000038	0,000036	0,000036
Lindeno	mg/L	0,00095	0,00095	0,00095	**	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Carbamato						
Aldicarb	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,00015	0,00015
MICROBIOLÓGICO						
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	2 000	1 000	2 000

- (a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).
 - (b) Después de la filtración simple.
 - (c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N (NO₃-N), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO₂-N).
- Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 5:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.
- (1) Aplicar la Tabla N° 1 sobre el estándar de calidad de concentración de Amoniac Total en función del pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH₃) que se encuentra descrita en la Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales.
- (2) Aplicar la Tabla N° 2 sobre Estándar de calidad de Amoniac Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios (mg/L de NH₃).

Tabla N° 2: Estándar de calidad de Amoniac Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios (mg/L de NH₃)

pH	Temperatura (°C)							
	0	5	10	15	20	25	30	35
Salinidad 10 g/kg								
7,0	41,00	29,00	20,00	14,00	9,40	5,60	4,40	3,10
7,2	26,00	18,00	12,00	8,70	5,90	4,10	2,80	2,00
7,4	17,00	12,00	7,80	5,30	3,70	2,60	1,80	1,20
7,6	10,00	7,20	5,00	3,40	2,40	1,70	1,20	0,84
7,8	6,60	4,70	3,10	2,20	1,50	1,10	0,75	0,53
8,0	4,10	2,90	2,00	1,40	0,97	0,69	0,47	0,34
8,2	2,70	1,80	1,30	0,87	0,62	0,44	0,31	0,23
8,4	1,70	1,20	0,81	0,56	0,41	0,29	0,21	0,16
8,6	1,10	0,75	0,53	0,37	0,27	0,20	0,15	0,11
8,8	0,69	0,50	0,34	0,25	0,18	0,14	0,11	0,08
9,0	0,44	0,31	0,23	0,17	0,13	0,10	0,08	0,07
Salinidad 20 g/kg								
7,0	44,00	30,00	21,00	14,00	9,70	5,60	4,70	3,10
7,2	27,00	19,00	13,00	9,00	6,20	4,40	3,00	2,10
7,4	18,00	12,00	8,10	5,60	4,10	2,70	1,90	1,30
7,6	11,00	7,50	5,30	3,40	2,50	1,70	1,20	0,84
7,8	6,90	4,70	3,40	2,30	1,60	1,10	0,78	0,53
8,0	4,40	3,00	2,10	1,50	1,00	0,72	0,50	0,34
8,2	2,80	1,90	1,30	0,94	0,66	0,47	0,31	0,24
8,4	1,80	1,20	0,84	0,59	0,44	0,30	0,22	0,16
8,6	1,10	0,78	0,56	0,41	0,28	0,20	0,15	0,12
8,8	0,72	0,50	0,37	0,26	0,19	0,14	0,11	0,08
9,0	0,47	0,34	0,24	0,18	0,13	0,10	0,08	0,07
Salinidad 30 g/kg								
7,0	47,00	31,00	22,00	15,00	11,00	7,20	5,00	3,40
7,2	29,00	20,00	14,00	9,70	6,60	4,70	3,10	2,20
7,4	19,00	13,00	8,70	5,90	4,10	2,90	2,00	1,40
7,6	12,00	8,10	5,60	3,70	3,10	1,80	1,30	0,90
7,8	7,50	5,00	3,40	2,40	1,70	1,20	0,81	0,56

pH	Temperatura (°C)							
	0	5	10	15	20	25	30	35
8,0	4,70	3,10	2,20	1,60	1,10	0,75	0,53	0,37
8,2	3,00	2,10	1,40	1,00	0,69	0,50	0,34	0,25
8,4	1,90	1,30	0,90	0,62	0,44	0,31	0,23	0,17
8,6	1,20	0,84	0,59	0,41	0,30	0,22	0,16	0,12
8,8	0,78	0,53	0,37	0,27	0,20	0,15	0,11	0,09
9,0	0,50	0,34	0,26	0,19	0,14	0,11	0,08	0,07

Notas:

- (*)El estándar de calidad de Amoniac Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios, presentan una tabla de valores para rangos de pH de 7,0 a 9,0, Temperatura de 0 a 35°C, y Salinidades de 10, 20 y 30 g/ kg. Para comparar la Salinidad de las muestras de agua superficial, se deben tomar la salinidad próxima inferior (30, 20 o 10) al valor obtenido en la muestra, ya que la condición más extrema se da a menor salinidad. Asimismo, para comparar la temperatura y pH de las muestras de agua superficial, se deben tomar la temperatura y pH próximo superior al valor obtenido en campo, ya que la condición más extrema se da a mayor temperatura y pH. En tal sentido, no es necesario establecer rangos.
- (**)En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Amoniac-N (NH₃-N), multiplicar el resultado por el factor 1.22 para expresarlo en las unidades de Amoniac (NH₃).

NOTA GENERAL:

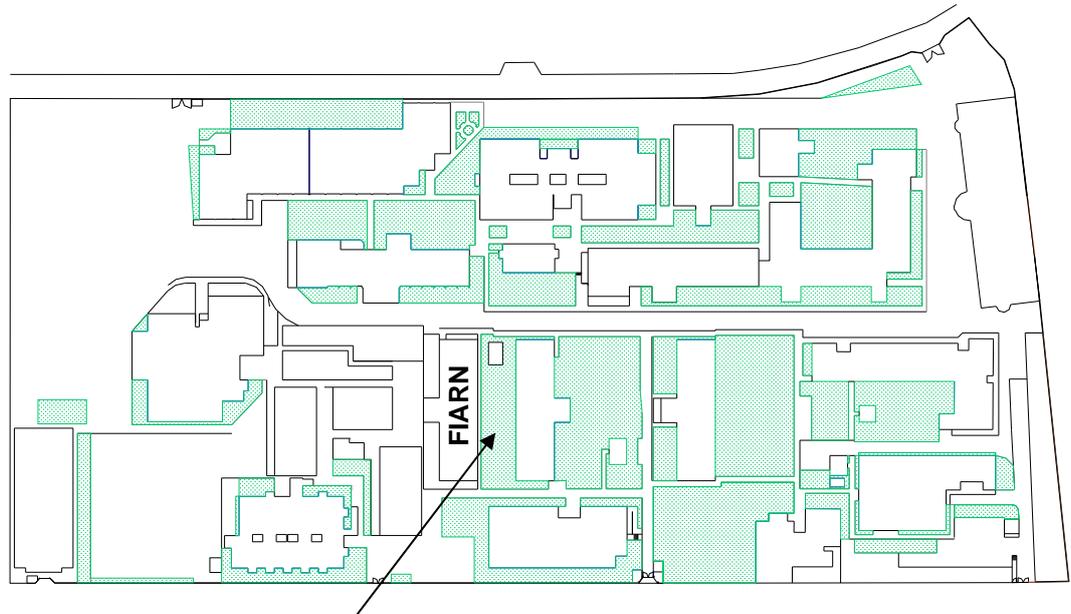
- Para el parámetro de Temperatura el símbolo Δ significa variación y se determinará considerando la media histórica de la información disponible en los últimos 05 años como máximo y de 01 año como mínimo, considerando la estacionalidad.
- Los valores de los parámetros están referidos a la concentración máxima, salvo que se precise otra condición.
- Los reportes de laboratorio deberán contemplar como parte de sus informes de Ensayo los Límites de Cuantificación y el Límite de Detección.

1529835-2

APENDICE

Figuras:

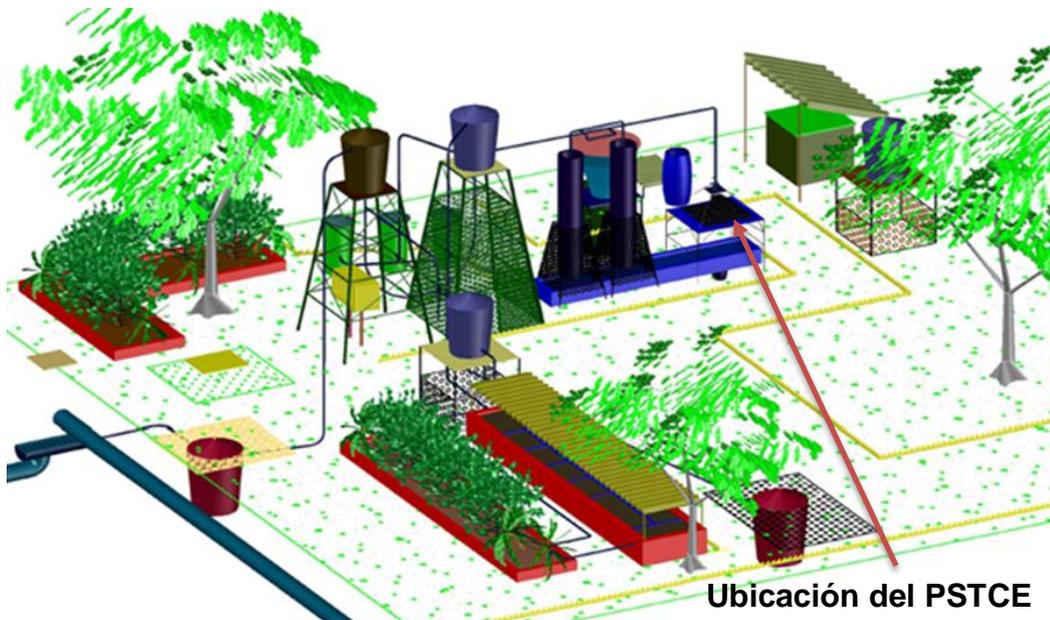
4.4.1. Jardín posterior de la FIARN, lugar donde se ubica el Prototipo del Sistema de Tratamiento Continuo por Electrocoagulación.



Jardín posterior de la FIARN

Fuente: Oficina de Infraestructura de la Universidad Nacional del Callao

4.4.2. Ubicación del Prototipo del Sistema de Tratamiento Continuo por Electrocoagulación.



Ubicación del PSTCE

Fuente; Estudiantes de la asignatura de Diseño de Plantas de Tratamiento – FIARN UNAC

4.4.3. Prototipo del Sistema de Tratamiento Continuo por Electrocoagulación, vistas del lado derecho, durante el montaje.



Fuente: Autoría propia

4.4.4. Prototipo del Sistema de Tratamiento Continuo por Electrocoagulación, vista del lado izquierdo, durante el montaje.



Fuente: Autoría propia

Figura 5.1. Vista del PSTCE, trabajando a Caudal de 45 L/h, 20 Amperios y 5 Voltios, la vista corresponde al 16 de setiembre 2019.



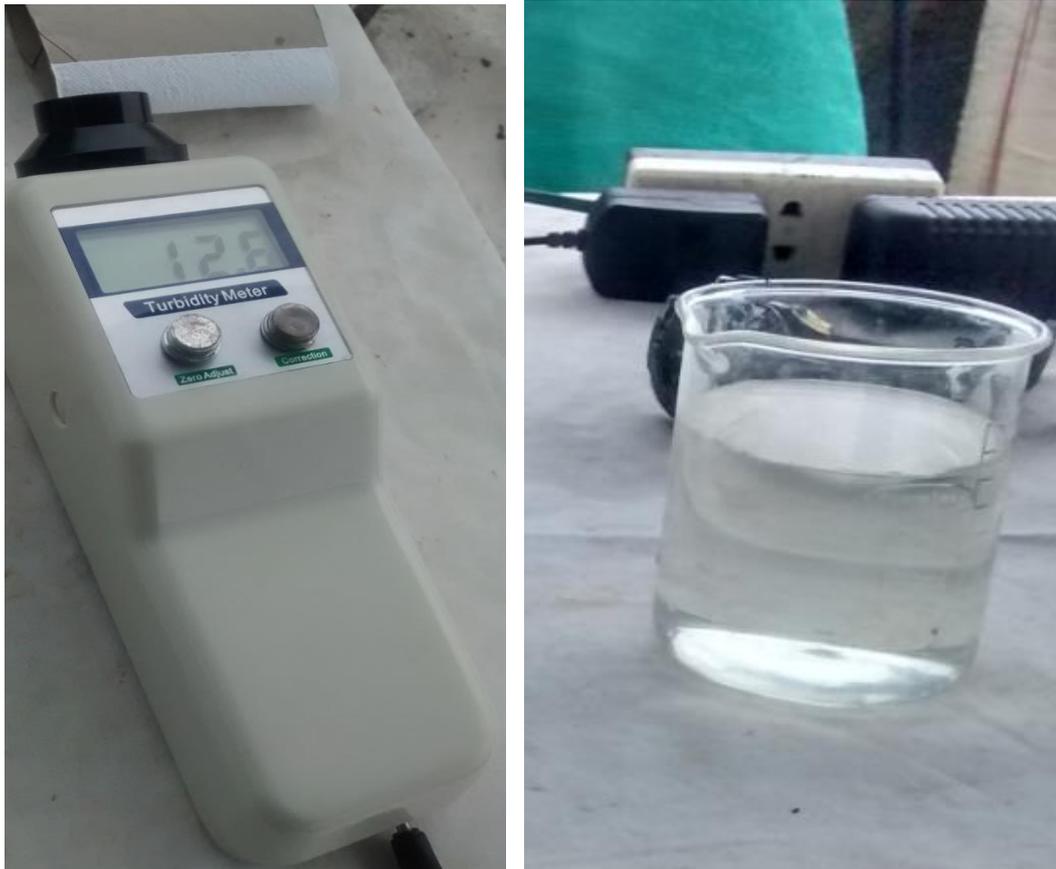
Fuente: Autoría propia

Figura 5.2. Vistas que corresponde a la toma del valor de la muestra del afluyente doméstico hacia el PSTCE, del 16 de setiembre de 2019.



Fuente: Autoría propia

Figura 5.3. Vistas que corresponde a la toma del valor de la muestra del efluente doméstico tratado en el PSTCE, el 16 de setiembre de 2019.



Fuente: Autoría propia

Figura 5.4. Vistas que corresponde a tres muestras del efluente domésticos, de izquierda a derecha, el primero es la muestra de ingreso, el segundo el de la salida y el tercero el efluente tratado en el interior de la celda del electrocoagulador del PSTCE, del 16 de setiembre de 2019.



Fuente: Autoría propia