

**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  
SECUENCIAL POR ELECTROCOAGULACIÓN PARA LOS  
EFLUENTES DOMÉSTICOS Y SU REÚSO EN EL RIEGO DE  
JARDINES Y ÁREAS VERDES-SEGUNDA PARTE”**

**Autor: Dr. Máximo Fidel Baca Neglia - Código 1233**

**PERIODO DE EJECUCIÓN: Del 01 de Mayo de 2021  
al 31 de Octubre de 2022**

**Resolución de aprobación N° 334-2021-R-Callao 07.06.2021**

**Callao, Octubre de 2022**

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'M. Baca', is positioned to the right of the date.

*of:Bar*  
2

## DEDICATORIA

A mis padres Máximo y Dora, por su valioso ejemplo de vida que calaron en mi corazón, porque me enseñaron a ser perseverante para afrontar cada reto que me impone la vida, y las propias que me impongo.

A mis hermanos por mantener siempre la unión familiar, como nuestros padres nos lo inculcaron y porque en cada momento que compartimos siempre me han mostrado su apoyo, dando muestras de solidaridad y estar a la expectativa por que cada uno de nosotros culminemos los retos que nos imponemos.

A mis hermanos políticos en general por acompañarme siempre con sus alientos, a mis sobrinos y sobrinas por ser parte de la familia Baca N, y para que a cada uno de ellos les sirva de motivación y logren sus objetivos para que sean ejemplos para sus propias familias.

A mis alumnos de las Asignaturas a mi cargo en la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales, tales como: Instrumentación y Control de Procesos, Diseño de Plantas de Tratamiento y a los de Laboratorio de Tesis II, porque me han permitido presentarles los avances del presente trabajo a fin de que les sirva de motivación.

  
Dr. Máximo Fidel Baca Neglia

## AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios porque siempre en cada momento de mi vida siempre lo sentí a mi lado.

A la Universidad Nacional del Callao, porque a través del FEDU, financio parcialmente el costo de inversión del presente trabajo de investigación.


Un especial agradecimiento, a mis hermanos Javier y Oscar por todas las sugerencias y el tiempo aportado para construir y poner en funcionamiento el prototipo del Sistema de Tratamiento Secuencial por Electrocoagulación.

  
Dr. Máximo Fidel Baca Neglia



# INDICE


	Pág.
<b>INDICE</b>	005
<b>RESUMEM</b>	013
<b>ABSTRAC</b>	014
<b>INTRODUCCION</b>	015
Importancia	016
Justificación	017
Justificación ambiental	017
Justificación económica	018
<b>CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	019
1.1. Descripción de la realidad problemática.	019
1.2. Formulación del problema.	021
Enunciado del problema.	022
1.3. Objetivos.	022
1.3.1. Objetivo general	022
1.3.2. Objetivos específicos	023
1.4. Limitantes de la investigación.	023
1.4.1. Limitante teórica.	023
1.4.2. Limitante temporal.	023
1.4.3. Limitante espacial.	024
<b>CAPITULO II. MARCO TEORICO</b>	025
2.1. Antecedentes Nacionales.	022
2.1.1. (Aguilar Ascón, 2015), Tesis de Maestría: “Evaluación de la eficiencia de una celda de electrocoagulación a escala laboratorio para el tratamiento de agua”.	025
2.1.2. (Baca Neglia, 2018), Trabajo 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”.	025
2.1.3. (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”.	027
2.1.4. (Cuba Tello et al, 2019), “tratamiento de agua residual procedentes de lavadoras por el método de electrocoagulación para reutilización en riego de vegetales – Ate Vitarte”.	028
2.1.5. (Riccio Luis F, 2010), “Remoción de aceites y grasas de aguas residuales de la Universidad Nacional del Centro del Perú, por electrocoagulación a nivel de laboratorio”	029
2.2. Antecedentes Internacionales.	030

 5

2.2.1. (Arango Ruiz, 2005), “La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales”	030
2.2.2. (Cantos-Rios et. al., 2017), “Modelación hidráulica de un reactor de electrocoagulación tubular de sección anular”.	030
2.2.3. (Feria D. et. al., 2014), “Tratamiento de aguas residuales de origen químico mediante electrocoagulación”.	032
2.2.4. (Chen G., 2004), “Electrochemical technologies in wastewater treatment”.	032
2.2.5. (García V. María & García U. Cesar, 2016), “Estudió exploratorio del tratamiento de agua de lavado de tintas por método de electrocoagulación/flotación”	033
2.2.6. (Gilpavas, 2012), “Aplicación de la electroquímica en el tratamiento de aguas residuales”.	033
2.2.7. (Guanoluiza Llive, 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”.	034
2.2.8. (Mercado Martínez, 2010), Cartagena-Colombia: Trabajo de Investigación “En busca de la depuración de la materia orgánica: reactor fisicoquímico vs. reactor de electrocoagulación”.	035
2.2.9. (Murillo Barraza, 2016), Bogotá-Colombia, “Propuesta de tratamiento para el agua residual industrial generad por procesos de cromado mediante electrocoagulación”.	036
2.2.10. (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”.	037
2.2.11. (Viva Q, et al, 2017) “Evaluación de la electrocoagulación en el tratamiento de agua potable”.	038
2.3. Marco.	039
2.3.1. Teórico.	039
i. Los efluentes.	039
ii. Aguas residuales domésticas.	039
iii. Calidad de efluentes domésticos tratados.	039
2.3.2. Conceptual.	040
2.3.3. Teórico – Conceptual.	042
a. Sistema de tratamiento.	042
b. Sistema de Tratamiento de Electrocoagulación.	042
2.4. Definición de términos básicos.	047
2.4.1. Parámetros de control para el tratamiento de aguas residuales.	047



2.5. Normas Legales.	051
2.5.1. Constitución Política del Perú (29 de diciembre de 1993).	051
2.5.2. Ley N° 28611, Ley General del Ambiente (13 de octubre del 2005).	051
2.5.3. D.L. N° 1055, Decreto Legislativo que modifica la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente.	052
2.5.4. Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM	052
2.5.5. R.M. N° 026-INTICI/DM Protocolo de Monitoreo de efluentes Líquidos y emisiones Atmosféricas.	052
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.	051
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).	052
2.5.8. Políticas públicas que promueven el tratamiento y reúso de las aguas residuales.	052
<b>CAPITULO III. HIPOTESIS Y VARIABLES</b>	054
3.1. Hipótesis.	054
3.2. Definición conceptual de variables.	054
3.2.1. Variable independiente.	054
3.2.2. Variable dependiente.	054
3.3. Operacionalización de las variables	054
3.3.1. Indicadores operacionales de la variable independiente.	054
3.3.2. Indicadores operacionales de la variable dependiente.	055
3.4. Definiciones operacionales de la variable.	055
<b>CAPITULO IV. DISEÑO METODOLOGICO</b>	057
4.1. Tipo y diseño de la investigación.	057
4.2. Método de investigación.	057
4.2.1. Diseño y montaje del Prototipo del Sistema de Tratamiento Secuencial por Electrocoagulación.	057
4.2.2. Celda de electrocoagulación.	058
4.2.3. Selección del material de los electrodos, número y dimensiones.	069
4.2.4. Fuente de poder	070
4.3. Población y muestra.	079
4.4. Lugar de estudio.	079
4.5. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos.	080
4.6. Análisis y procedimientos de datos.	080
<b>CAPITULO V. RESULTADOS</b>	085
5.1. Características del efluente preparado.	085

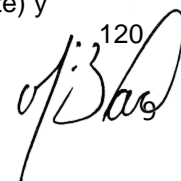


5.2. Pruebas en el Sistema de Tratamiento Secuencial por Electrocoagulación con efluente preparado.	083
5.2.1. Primera prueba en el STSEC.	087
5.2.2. Segunda prueba en el STSEC.	088
5.2.3. Tercera prueba en el STSEC.	090
5.2.4. Cuarta prueba en el STSEC.	092
5.2.5. Quinta prueba en el STSEC.	093
5.3. Resultados consolidados de las pruebas efectuadas en el STSEC.	096
5.4. Prueba de tratamiento con el efluente preparado para corroborar los resultados de las pruebas precedentes en el STSEC	099
<b>CAPITULO VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	101
6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados del tratamiento en el STSEC.	101
6.1.1. Resultados respecto a la Turbiedad.	101
6.1.2. Resultados respecto a la Demanda Bioquímica del Oxígeno.	103
6.1.3. Resultados respecto a la Demanda Química de Oxígeno.	104
6.1.4. Resultado respecto a los Aceites y Grasas.	106
6.1.5. Resultados respecto a los Sólidos Suspendidos Totales.	108
6.1.6. Resultados respecto a los Coliformes Totales.	110
6.1.7. Resultados respecto a los metales, caso del Aluminio.	112
6.1.8. Resultados respecto a los metales, caso del Hierro.	114
6.1.9. Resultados respecto a los metales, caso del Cobre.	116
6.1.10. Resultados respecto a los metales, caso del Bario.	118
6.2. Porcentaje de remoción de cada uno de los parámetros más significativos	121
6.3. Contrastación de los resultados con otros estudios similares.	123
6.3.1. La investigación realizada por Gloria Barboza P.	123
6.3.2. Con la primera etapa de la presente Investigación	124
6.3.3. La investigación realizada por M. Cuba, et al	125
6.3.4. La investigación realizada por L. Riccio.	125
6.3.5. La investigación realizada por Guanoluiza LI.	126
6.3.6. La investigación realizada por Roblez M. & López B.	127
6.4. Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes.	128
<b>CONCLUSIONES</b>	129
<b>RECOMENDACIONES</b>	131
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b>	132
<b>ANEXOS</b>	135
Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM	136
<b>APENDICE</b>	146
Matriz de consistencia	147
Figura 4.4.1 Jardín posterior de la FIARN, lugar donde se ubicaría el STSEC	148
Figura 4.4.2 Lugar planeado para ubicar el prototipo del STSEC	148
Figura 4.4.3 Vista del lado derecho del Electro coagulador del proyecto previo	149
Figura 4.4.4 Vista del lado izquierdo de Electro coagulador del proyecto previo	149
Formato: Cadena de Custodia – Matriz de Agua	152
Informe de laboratorio ALAB	153

*of. Barboza*  
8

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Consumo de Agua para el Riego de áreas Verdes de Lima y Callao	015
Tabla 1.1 Población censada, según departamentos, 1940, 1961, 1972, 1981, 1993, 2007 y 2017	019
Tabla 2.1 Operaciones y procesos unitarios o sistemas de tratamiento utilizados para eliminar la mayoría de contaminantes presentes en las aguas.	042
Tabla 2.2 Composición típica del agua residual doméstica	049
Tabla 4.1 Descripción de cada uno de los componentes del tablero eléctrico.	075
Tabla 4.2 Requisitos para la toma de muestras y preservación.	083
Tabla 4.3 Métodos normalizados y equipos para el monitoreo.	084
Tabla 5.1 Características del Agua Domestica preparada.	086
Tabla 5.2 Características del agua domestica tratada, en la Primera prueba.	087
Tabla 5.3 Características del agua domestica tratada en la Segunda prueba.	089
Tabla 5.4 Características del agua domestica tratada en la Tercera prueba.	090
Tabla 5.5 Características del agua domestica tratada en la Cuarta prueba.	092
Tabla 5.6 Características del agua domestica tratada Quinta prueba.	093
Tabla 5.7 Resultados de las cinco pruebas realizadas en el STSEC.	096
Tabla 5.8 Resultados de las cinco pruebas realizadas en el STSEC en función a la densidad de corriente aplicada.	097
Tabla 5.9 Resultados de las eficiencias de remoción en cada una de las cinco pruebas realizadas en el STSEC en función a la densidad de corriente aplicada.	098
Tabla 6.1.1 Correlación entre la Variables, Independiente (Densidad de Corriente) y Dependiente (Turbiedad).	102
Tabla 6.1.2 Correlación entre la Variables, Independiente (Densidad de Corriente) y Dependiente (Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO <sub>5</sub> ).	104
Tabla 6.1.3 Correlación entre la Variables, Independiente (Densidad de Corriente) y la Dependiente (Demanda Química de Oxigeno).	106
Tabla 6.1.4 Correlación entre la Variables, Independiente (Densidad de Corriente) y la Dependiente (Concentración de Aceites y Grasas).	108
Tabla 6.1.5 Correlación entre la Variables, Independiente (Densidad de Corriente) y Dependiente (Solidos Suspendidos Totales, SST).	110
Tabla 6.1.6 Correlación entre la Variables, Independiente (Densidad de Corriente) y Dependiente (Coliformes Totales, CT).	112
Tabla 6.1.7 Correlación entre la Variables, Independiente (Densidad de Corriente) y la Dependiente (Aluminio).	113
Tabla 6.1.8 Correlación entre la Variables, Independiente (Densidad de Corriente) y la Dependiente (Hierro)	116
Tabla 6.1.9 Correlación entre la Variables, Independiente (Densidad de Corriente) y la Dependiente (Cobre).	118
Tabla 6.1.10 Correlación entre la Variables, Independiente (Densidad de Corriente) y la Dependiente (Bario).	

120  


## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Mapa de las cuencas de los Ríos Chillón, Rímac y Lurín, que proporciona dulce a Lima, Capital del Perú.	020
Figura 1.2 Población que consume agua de la red pública por departamentos (%)	021
Figura 2.1 Esquema de una celda de electrocoagulación.	044
Figura 4 Esquema de Causa y Efecto	057
Figura 4.1 Celda Original del Electrocoagulador de la Primera Etapa).	059
Figuras 4.2 y 4.3 Vista de la celda original durante el corte (división).	059
Figuras 4.4 y 4.5 Se observa los componentes de las dos celdas del STSEC.	060
Figuras 4.6 y 4.7 Vistas de una de las celdas durante el pegado de las guías para las pantallas de presa.	060
Figuras 4.8 y 4.9 Muestran una de las celdas ya con sus guías pegadas.	061
Figuras 4.10 y 4.11 Muestran una de las celdas con los peines de la base para el soporte de los cátodos y ánodos.	061
Figuras 4.12 y 4.13 Muestran la etapa de pulidos de las cajas de las celdas.	061
Figuras 4.14 y 4.15 Se muestra una de celda con sus peines y las placas de ánodos y cátodos.	062
Figuras 4.16 y 4.17 Se muestra el juego de electro válvulas de bola para instalarse en las celdas.	062
Figuras 4.18 y 4.19 Se muestra el mueble donde se ubicarán las celdas del STSEC.	062
Figuras 4.20 y 4.21 Muestran las celdas con sus electroválvulas montadas.	062
Figuras 4.22 y 4.23 Muestran las vista frontal y posterior del STSEC.	063
Figuras 4.24 y 4.25 Muestran las vistas superior e inferior del STSEC.	063
Figura 4.26 Vista de las celdas del sistema de electrocoagulación.	064
Figura 4.27 y 4.28 Vista lateral y Vista de plantas de las Celdas	064
Figura 4.29 Vista del diagrama del sedimentador lamelar	065
Figura 4.30 Vista del sedimentador lamelar mostrando sus compartimentos.	065
Figura 4.31 Vista del sedimentador en etapa de construcción	066
Figura 4.32 Otra vista del sedimentador lamelar.	067
Figura 4.33 y 4.34 Muestran las vistas Frontal y de Perfil del sedimentador lamelar	067
Figuras 4.35 y 4.36 Muestran la vista posterior y superior del sedimentador lamelar.	068
Figura 4.37 Vista lateral del prototipo del STSEC.	068
Figura 4.38 Vista superior de una de las celdas del STSEC.	069
Figura 4.39 Se observa la Celda del STSEC y la fuente de poder de la primera etapa.	070
Figuras 4.40 y 4.41 Muestran la Vista frontal y posterior nueva fuente.	071
Figuras 4.42 y 4.43 Muestran el tablero eléctrico cerrado y abierto respectivamente	072
Figuras 4.44 y 4.45 Muestran los detalles del tablero cerrado y abierto respectivos.	072
Figura 4.46 Vista detallada del tablero el eléctrico.	073
Figura 4.47 Circuito 1 del tablero eléctrico del STSEC	074
Figura 4.48 Circuito 2 del tablero eléctrico del STSEC.	076

*of:Bar*<sup>10</sup>

Figura 4.49 Circuito 3 del tablero eléctrico del STSEC.	077
Figura 4.50 Plano de ubicación donde se realizó la investigación.	078
Figura 4.51 Plano Google de detalles donde se realizó la investigación.	081
Figuras 5.1 y 5.2 Vista de balde con la muestra y parte de los envases, durante el muestreo para el traslado al laboratorio, respectivamente.	082
Figura 5.3 Vista de la celda 2 al inicio de la energización en el STSEC.	086
Figura 5.4 Vista de la celda 2 del STSEC, y su fuente de energía.	087
Figuras 5.5 y 5.6 Se observan la fuente de energía y la celda 1 del STSEC.	088
Figuras 5.7 y 5.8 Muestran la vista frontal y lateral respectivamente de la celda 1.	089
Figuras 5.9 y 5.10 Se observan la fuente de energía y la celda 2 del STSEC	089
Figuras 5.11 y 5.12 Muestran las vistas frontal y lateral respectivamente de celda 2.	090
Figura 5.13 Se aprecia la celda 2, a los 15 minutos de sedimentación.	091
Figuras 5.14 y 5.15 Muestran respectivamente el conjunto fuente de energía - celda 1 y un acercamiento de la celda 1 (se aprecian las placas y lo floculo formados)	091
Figuras 5.16 y 5.17 Muestran respectivamente el conjunto fuente de energía - celda 2 y un acercamiento de la celda 2(se aprecian las placas y lo floculo formados)	092
Figura 5.18 Muestra las celdas 1 y 2 del STSEC durante las pruebas 4 y 5 respectivamente.	093
Figura 5.19 Se aprecian las celdas 2 y 1 del STSEC, del lado posterior, es decir, por el ingreso del afluente para su tratamiento.	094
Figura 5.20 Se aprecia el conjunto de Sistema de Tratamiento Secuencial por Electrocoagulación con el Sedimentador Lamelar	095
Figura 5.21 Se aprecia el conjunto de Sistema de Tratamiento Secuencial por Electrocoagulación con el Sedimentador Lamelar	099
Figuras 5.22 y 5.23 Vista lateral del sedimentador lamelar y el fondo de tolva de lodos del Sistema de Tratamiento Secuencial por Electrocoagulación respectivamente.	099
Figura 6.1.1.a Variación de la turbiedad del efluente tratado en el STSEC, aplicando la Densidad de Corriente.	101
Figura 6.1.1.b Diagrama de Dispersión entre los valores de las Variables, Independiente (Densidad de Corriente) y Dependiente (Turbiedad).	102
Figura 6.1.2.a Variación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) del efluente tratado en el STSEC, aplicando la Densidad de Corriente.	103
Figura 6.1.2.b Diagrama de Dispersión entre los valores de las Variables, Independiente (Densidad de Corriente) y Dependiente (Demanda Bioquímica de Oxígeno).	103
Figura 6.1.3.a Variación de la Demanda Química de Oxígeno del efluente tratado en el STSEC, aplicando la Densidad de Corriente.	105
Figura 6.1.3.b Diagrama de Dispersión entre los valores de las Variables, Independiente (Densidad de Corriente) y Dependiente (Demanda Química de Oxígeno).	105
Figura 6.1.4.a Variación de la Concentración de Aceites y Grasas del efluente tratado en el STSEC, aplicando la Densidad de Corriente.	107

107  




Figura 6.1.4.b Diagrama de Dispersión entre los valores de las Variables, Independiente (Densidad de Corriente) y Dependiente (Aceites y Grasas).	107
Figura 6.1.5.a Variación de la Concentración de los Solidos Suspendidos Totales del efluente tratado en el STSEC, aplicando la Densidad de Corriente.	109
Figura 6.1.5.b Diagrama de Dispersión entre los valores de las Variables, Independiente (Densidad de Corriente) y Dependiente (Solidos Suspendidos Totales).	109
Figura 6.1.6.a Variación de la Concentración de los Coliformes Totales del efluente tratado en el STSEC, aplicando la Densidad de Corriente.	111
Figura 6.1.6.b Diagrama de Dispersión entre los valores de las Variables, Independiente (Densidad de Corriente) y Dependiente (Coliformes Totales).	111
Figura 6.1.7.a Variación de la Concentración de Aluminio del efluente tratado en el STSEC, aplicando la Densidad de Corriente.	113
Figura 6.1.7.b Diagrama de Dispersión entre los valores de las Variables, Independiente (Densidad de Corriente) y Dependiente (Aluminio).	113
Figura 6.1.8.a Variación de la Concentración de Hierro del efluente tratado en el STSEC, aplicando la Densidad de Corriente.	115
Figura 6.1.8.b Diagrama de Dispersión entre los valores de las Variables, Independiente (Densidad de Corriente) y Dependiente (Hierro).	117
Figura 6.1.9.a Variación de la Concentración de Cobre del efluente tratado en el STSEC, aplicando la Densidad de Corriente.	117
Figura 6.1.9.b Diagrama de Dispersión entre los valores de las Variables, Independiente (Densidad de Corriente) y Dependiente (Cobre).	117
Figura 6.1.10.a Variación de la Concentración de Bario del efluente tratado en el STSEC, aplicando la Densidad de Corriente.	119
Figura 6.1.10.b Diagrama de Dispersión entre los valores de las Variables, Independiente (Densidad de Corriente) y Dependiente (Bario)	119
Figura 6.2.1 Porcentaje de Remoción con respecto a la Variación de la turbiedad del efluente tratado en el STSEC, en función a la Densidad de Corriente.	121
Figura 6.2.2 Porcentaje de Remoción con respecto a la Demanda Bioquímica de Oxigeno (DBO <sub>5</sub> ) del efluente tratado en el STSEC, aplicando la Densidad de Corriente.	121
Figura 6.2.3 Porcentaje de Remoción con respecto a la Demanda Química de Oxigeno del efluente tratado en el STSEC, aplicando la Densidad de Corriente.	122
Figura 6.2.4 Porcentaje de Remoción con respecto a la Demanda Química de Oxigeno del efluente tratado en el STSEC, aplicando la Densidad de Corriente.	122
Figura 6.2.5 Porcentaje de reducción del Hierro en el efluente tratado en el STSEC, aplicando la Densidad de Corriente.	123



## RESUMEN

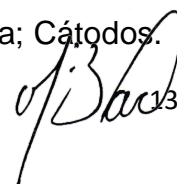
El trabajo de investigación, denominado: “**Evaluación de un Sistema de Tratamiento Secuencial por Electrocoagulación para los efluentes Domésticos y su reúso en el riego de Jardines y Áreas Verdes-Segunda Parte**”, debido a la emergencia por la Pandemia del Covid 19, lo desarrolle en mi domicilio, donde diseñe, construí y opere el prototipo del “Sistema de Tratamiento Secuencial por Electrocoagulación (STSEC)”, investigación realizada con el fin de resolver el problema, que lo 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 secuencial por electrocoagulación cumplirán con los Límites Máximos Permisibles que permitan su reúso como agua de riego.

La investigación fue del tipo cuantitativa, de nivel explicativa,  $y = f(x)$ , para demostrar la hipótesis de investigación, se diseñó, construyó y opero un prototipo STSEC, con el cual se manipularon los Indicadores de la Variable Independiente, y como resultado de ello, se obtuvo los valores de los indicadores de la Variable Dependiente que permitan el reúso del efluente tratado con fines de riego.

Siendo los resultados más significativos los siguientes: reducción de Turbiedad 93,10% (valor final 10 NTU); 94,52% de DBO<sub>5</sub> (valor final 14,20 gr/L); 93,10% DQO (valor final 35,40 gr/L); 98,77% A y G (valor final < 0,50 gr/L); 89,77% SST (valor final 25,00 mg/L); 99,99% CT (valor final 70 NMP/100mL); 62,78% Hierro (valor final 0,415 mg/L) y 7,6 de pH, bajo los parámetros siguientes, caudal 60 L/h L/min, densidad de corriente de 18,51 mA/cm<sup>2</sup>, energización de 15 minutos y de sedimentación 30 minutos, con ánodos y cátodos de aluminio.

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



## ABSTRACT

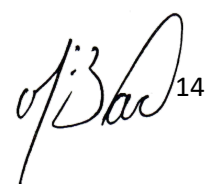
The research work, called: "Evaluation of a Sequential Treatment System by Electrocoagulation for Domestic effluents and their reuse in the irrigation of Gardens and Green Areas-Second Part", due to the emergency due to the Covid 19 Pandemic, was developed in my home, where I design, built and operated the prototype of the "Sequential Treatment System by Electrocoagulation (STSE)", research was carried out in order to solve the problem, which we posed as a question: Does the inappropriate use of drinking water for irrigation of green areas and gardens of homes, residences, multifamily buildings, and others located in the upper and middle urban areas of the city of Lima and Callao, contribute to the limitations of the population with little or no supply of drinking water, so if a continuous electrocoagulation treatment system were implemented for the domestic effluents generated in the homes themselves, they 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 sequential treatment system by electrocoagulation will comply with the Maximum Permissible Limits that allow their reuse as irrigation water.

The research was of the quantitative type, explanatory level,  $y = f(x)$ , to demonstrate the research hypothesis, a STSEC prototype was designed, built and operated, with which the Indicators of the Independent Variable were manipulated, and as a result, the values of the indicators of the Dependent Variable that allow the reuse of the treated effluent for irrigation purposes were obtained.

The most significant results were the following: reduction of Turbidity 93.10% (final value 10 NTU); 94.52% BOD<sub>5</sub> (final value 14.20 gr/L); 93.10% COD (final value 35.40 gr/L); 98.77% O and F (final value < 0.50 gr/L); 89.77% TSS (final value 25.00 mg/L); 99.99% TC (final value 70 NMP/100mL); 62.78% Iron (final value 0.415 mg/L) and 7.6 pH, under the following parameters, flow rate 60 L/h L/min, current density of 18.51 mA/cm<sup>2</sup>, energization of 15 minutes and sedimentation 30 minutes, 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, 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 Lima (INEI, 2016), en su mayoría correspondientes a 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 segura (Aquafondo, 2015).

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 viviendas (SEDAPAL Lima, 2022).

Esta situación de escasos 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 la ciudad, como se aprecia en la tabla 1 denominada Consumo de Agua para el Riego de áreas Verdes de Lima y Callao (Moscoso C., 2011), siguiente:



15

**Tabla 1***Consumo de Agua para el Riego de áreas Verdes de Lima y Callao*

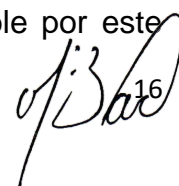
<b>Fuente</b>	<b>Caudal m<sup>3</sup>/s</b>	<b>Volumen Anual Millones m<sup>3</sup></b>
Agua de río	0,1000	3,150
Agua de río pre-tratada	0,0144	0,45
Agua potable y de pozo	1,7956	56,31
Agua residual tratada	0,400	12,61
Total:	2,300	72,52

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

El presente trabajo de investigación tuvo como Objetivo General “Diseñar un sistema de de tratamiento secuencial 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”. Este objetivo del proyecto, se sustenta en otro el proyecto precedente denominado: “Sistema de Tratamiento Continuo por electrocoagulación que permita tratar los efluentes domésticos para su reúso en el riego de jardines y áreas verdes”, aprobado por RR N° 038-2019-R, del 15 de enero de 2019, proyecto que realice previamente al que nos ocupa.

El problema objeto de estudio que se planteó a modo de pregunta para la presente 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 secuencial 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 de tratamiento secuencial por 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.

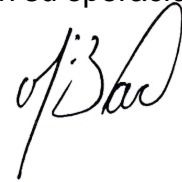
La calidad de los efluentes domésticos permite tratar estas a nivel de un sistema de tratamiento que acondicione las características del efluente tratado para su reutilización con fines de riego dentro de la normatividad vigente, este sistema de tratamiento (prototipo compacto) tendrá la capacidad de 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 entonces 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

 17

usos 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.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'J. Bae' or similar, located at the end of the text block.

## I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

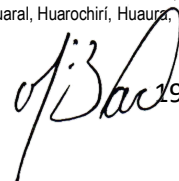
**1.1. Descripción de la realidad problemática.** - La zona metropolitana de Lima y Callao ocupan el segundo lugar como las ciudades más grandes del mundo ubicada en un desierto, después de la ciudad de El Cairo en Egipto. Solo llueve 9 milímetros al año y la escasez de agua es una de las principales condicionantes ambientales que ha acompañado el crecimiento de la ciudad durante su historia (Aquafondo, 2015). 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 8 574 974 y 994 494 respectivamente, (ver tabla 1.1), lo que sumados ascienden a 9 569 468 de habitantes (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2020), convirtiéndola en la 5° ciudad de Sudamérica junto con Sao Paulo, Río de Janeiro, Buenos Aires y Bogotá con mayor población.

**Tabla 1.1**

*Población censada, según departamentos, 1940, 1961, 1972, 1981, 1993, 2007 Y 2017*

Departamento	Población Censada						
	1940	1961	1972	1981	1993	2007 a/	2017
<b>Total</b>	<b>6 207 967</b>	<b>9 906 746</b>	<b>13 538 208</b>	<b>17 005 210</b>	<b>22 048 356</b>	<b>27 412 157</b>	<b>29 381 884</b>
Amazonas	65 137	118 439	194 472	254 560	336 665	375 993	379 384
Áncash	424 975	582 598	726 215	826 399	955 023	1 063 459	1 083 519
Apurímac	258 094	288 223	308 613	323 346	381 997	404 190	405 759
Arequipa	263 077	388 881	529 566	706 580	916 806	1 152 303	1 382 730
Ayacucho	358 991	410 772	457 441	503 392	492 507	612 489	616 176
Cajamarca	494 412	746 938	919 161	1 026 444	1 259 808	1 387 809	1 341 012
Prov. Const. del Callao 1/	82 287	213 540	321 231	443 413	639 729	876 877	994 494
Cusco	486 592	611 972	715 237	832 504	1 028 763	1 171 403	1 205 527
Huancavelica	244 595	302 817	331 629	346 797	385 162	454 797	347 639
Huánuco	234 024	328 919	414 468	477 650	654 489	762 223	721 047
Ica	140 898	255 930	357 247	433 897	565 686	711 932	850 765
Junín	338 502	521 210	696 641	852 238	1 035 841	1 225 474	1 246 038
La Libertad	383 252	582 243	783 728	982 074	1 270 261	1 617 050	1 778 080
Lambayeque	192 890	342 446	514 602	674 442	920 795	1 112 868	1 197 260
Lima	828 298	2 031 051	3 472 564	4 745 877	6 386 308	8 445 211	9 485 405
Provincia de Lima 2/	562 885	1 632 370	2 981 292	4 164 597	5 706 127	7 605 742	8 574 974
Región Lima 3/	265 413	398 681	491 272	581 280	680 181	839 469	910 431
Loreto	152 457	272 933	375 007	482 829	687 282	891 732	883 510
Madre de Dios	4 950	14 890	21 304	33 007	67 008	109 555	141 070
Moquegua	34 152	51 614	74 470	101 610	128 747	161 533	174 863
Pasco	90 353	138 369	176 580	212 145	226 295	280 449	254 065
Piura	408 605	668 941	854 972	1 125 865	1 388 264	1 676 315	1 856 809
Puno	548 371	686 260	776 173	890 258	1 079 849	1 268 441	1 172 697
San Martín	94 843	161 763	224 427	319 751	552 387	728 808	813 381
Tacna	36 349	66 024	95 444	143 085	218 353	288 781	329 332
Tumbes	25 709	55 812	76 515	103 839	155 521	200 306	224 863
Ucayali	16 154	64 161	120 501	163 208	314 810	432 159	496 459

Nota: a/ No incluye la población del distrito de Carmen Alto, provincia Huamanga, departamento Ayacucho. Autoridades locales no permitieron la ejecución de los Censos: 1/ Por mandato constitucional del 22 de abril de 1857 se reconoce como Provincia Constitucional del Callao, a la Provincia Litoral del Callao; 2/ Comprende los 43 distritos de la provincia de Lima; 3/ Comprende las provincias de Barranca, Cajatambo, Canta, Cañete, Huaral, Huarochiri, Huaura, Oyón y Yauyos. (Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática – Censo Nacional de Población y Vivienda)



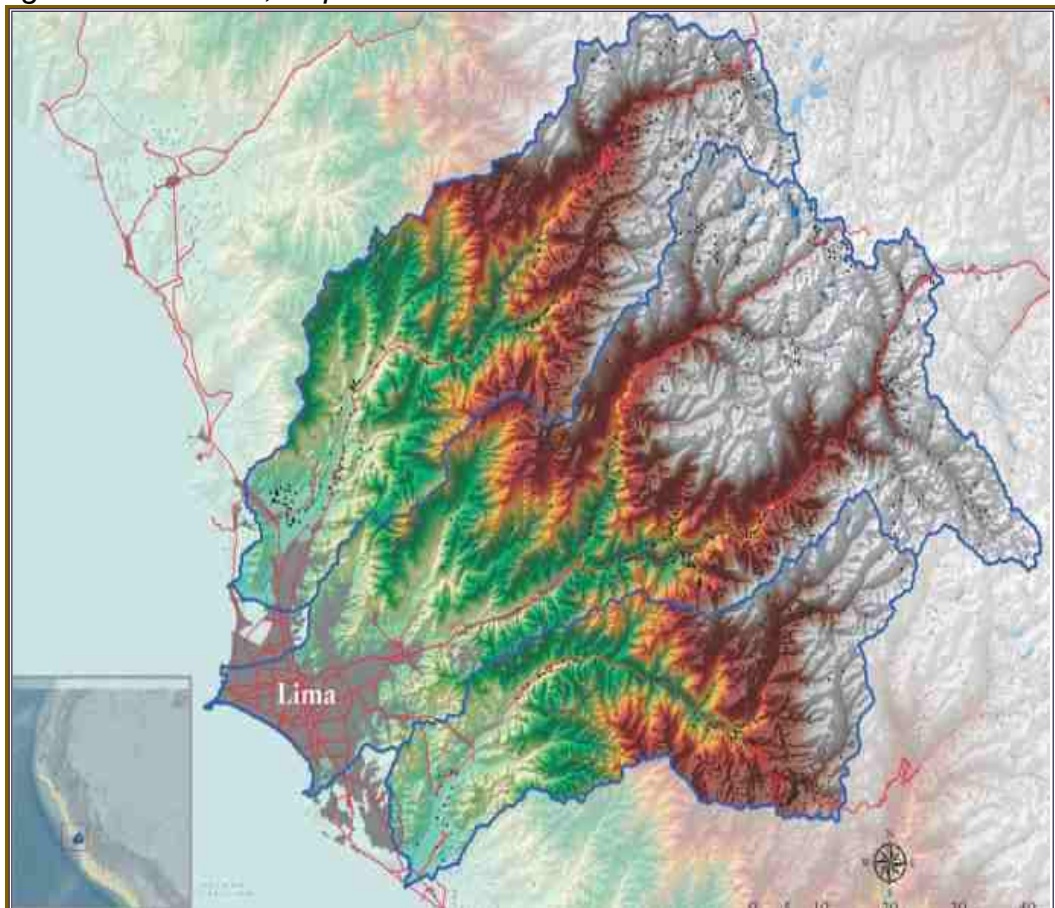


A diferencia de El Cairo, la ciudad de Lima no tiene grandes ríos ni reservas de agua. En la capital del Perú, se asienta cerca de 30% de la población de todo el país, que se abastece de agua utilizando el recurso hídrico de tres cuencas, de los ríos Chillón, Rímac y Lurín (ver figura 1.1).

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 mar (Aquafondo, 2015).

**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 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%

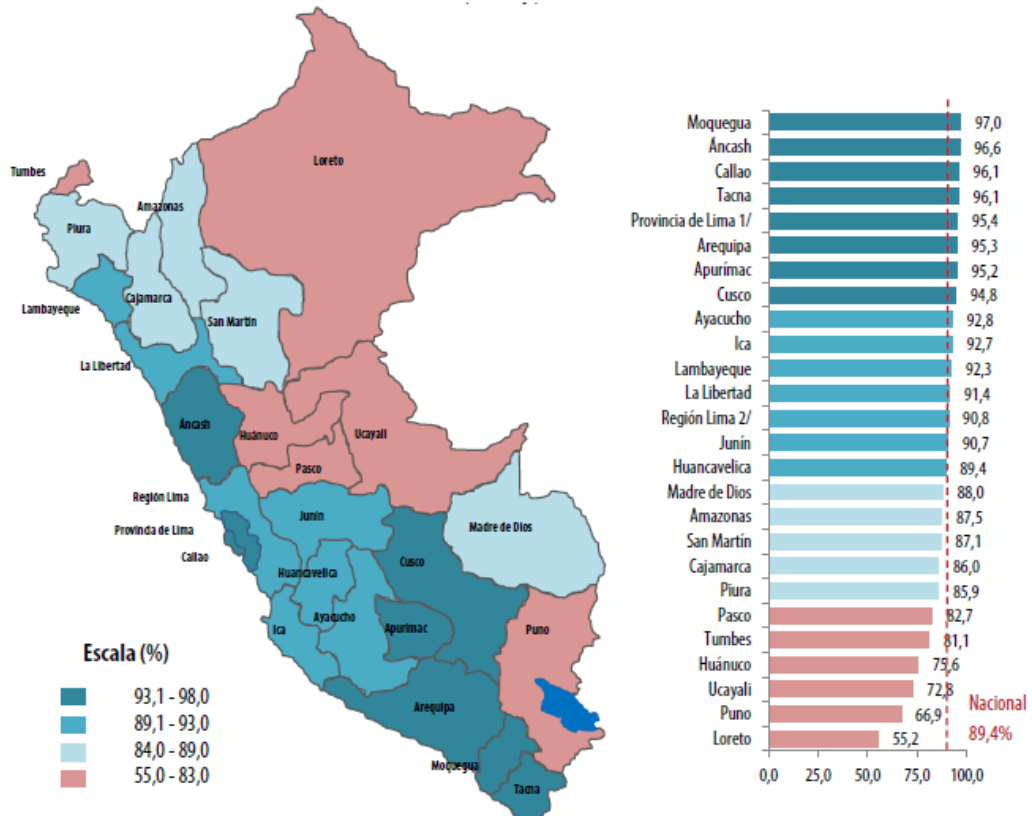
*M. Ibáñez*<sup>20</sup>



respectivamente de la población de Lima provincia (694 575 habitantes) y Callao (65 637), ver figura 1.2 (INEI, 2016) 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 hábitos.

**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.

**1.2. Formulación del problema.** – Como lo comentamos inicialmente, frente a las limitaciones de agua potable que existe en la ciudad de Lima para satisfacer las necesidades del total de su población, la gran mayoría que habita en las zonas urbanas de Lima y Callao tiene una demanda de agua muy elevada en comparación con otras ciudades a nivel nacional.

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

*of: 3/2021*

diariamente. Una población del orden de 765 212 habitantes de la población de Lima (INEI, 2016), en su mayoría radican en los asentamientos humanos ubicados en las laderas de los cerros de la ciudad, los cuales son abastecidos a través de camiones cisterna, pozos artesanales, ríos, acequias o manantiales. Muchas veces esta agua son de inadecuada calidad y su provisión no es segura (Aquafondo, 2015).

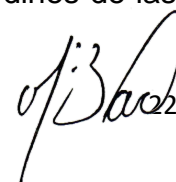
La cobertura actual de agua potable en la ciudad es de 92%, es decir, cerca de 800 mil habitantes no cuenta con el servicio de agua potable. El consumo promedio en Lima es elevado (250 litros/hab. día), debido a prácticas de uso ineficiente y por las filtraciones en el sistema de distribución, originada por la antigua infraestructura en mal estado. Cerca de 1,5 millones de limeños no tienen acceso al agua potable en sus viviendas (Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima, 2022). Esta situación de escases se ve incrementada cuando el agua no se usa en forma racional, conforme lo precisamos en la Introducción, folio 15.

**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.** – Los objetivos del presente proyecto que hemos desarrollado se sustentaron en el proyecto denominado “Sistema de tratamiento continuo por electrocoagulación que permita tratar los efluentes domésticos para su reúso en el riego de jardines y áreas verdes”, que fuera aprobado su desarrollo por RR N° 038-2019-R, del 15.02.2019.

**1.3.1. Objetivo general.** - Diseñar un sistema de tratamiento secuencial 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 secuencial por electrocoagulación para los efluentes domésticos, constituido de dos electrocoaguladores montados de forma paralela.
- Operar el sistema de tratamiento para evaluar su eficiencia.
- Identificar las condiciones de operación del sistema de tratamiento secuencial por electrocoagulación para los efluentes domésticos.

#### **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 el diseño de sistemas de tratamiento secuenciales por electrocoagulación. Otra del uso, de sistema de tratamiento secuencial por 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 el desarrollo de toda la investigación se realizó durante el período de pandemia, la que hemos iniciado en mayo del 2021 y concluyéramos en octubre del 2022, durante 18 meses, tiempo que nos permitió cumplir con el proyecto, pero no nos permitió expandirnos en otras importantes realizaciones aplicables al prototipo, como elaborar el diseño del sistema de control automático del tipo digital, por el que se implementó solo el tipo análogo, no obstante con este último se pudo realizar la puesta en marcha del sistema para su evaluación y demostración de hipótesis.



23

**1.4.3. Limitante espacial.** - Que, debido a la situación de Pandemia, y como lo hemos precisado previamente, el trabajo de investigación se realizó exclusivamente en mi domicilio, en el que diseñamos, construimos y operamos el sistema, mientras los análisis de las aguas tratadas se remitieron a laboratorio especializado (acreditados), dado que Ciudad Universitaria de la Universidad del Callao, se encontraba prácticamente cerrada, con escasa o nula concurrencia, y por ello carencia de desagües para su tratamiento.

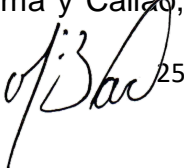
A handwritten signature in black ink, appearing to read 'of: Bao', located in the lower right quadrant of the page.

## II. MARCO TEORICO

### 2.1. Antecedentes Nacionales. -

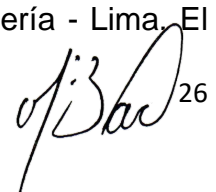
**2.1.1. Aguilar Ascón, 2015**, en su tesis de maestría titulada: **Evaluación de la eficiencia de una celda de electrocoagulación a escala laboratorio para el tratamiento de agua**; Tuvo como objetivo: “Evaluar la eficiencia de la remoción de la demanda química de oxígeno (DQO) en una celda de electrocoagulación, la electrocoagulación (EC), es una tecnología que no utiliza coagulantes químicos, ya que con cargas eléctricas desestabiliza las partículas coloidales permitiendo su aglomeración y precipitación, produciendo la depuración del agua contaminada, además de ser mucho más versátil y permite tratar todo tipo de efluentes industriales, lo cual nos permite alcanzar altos porcentajes en la remoción de contaminantes presentes en el agua en base a electrodos de aluminio y hierro, aplicando la técnica al 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) de 5 amperios, pH natural del efluente de 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” (Aguilar Ascon, 2015).

**2.1.2. Baca Neglia, 2018**. La 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, investigación que se realizó con el fin de enfrentar el problema, del 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,

 25

situación que acrecienta 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, se planteó la hipótesis siguiente: La calidad de los efluentes domésticos tratados para su reutilización, mediante un sistema de tratamiento continuo por electrocoagulación cumplirían 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 DBO<sub>5</sub>, 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 y bajo los parámetros siguientes, caudal 45 L/h, 20 Amperios equivalentes a 8 mA/cm<sup>2</sup> y 5 V, con ánodos y cátodos de aluminio. (Baca N. 2018)

**2.1.3. Barboza Palomino, 2011**, presentó su tesis de maestría denominada: **Reducción de la carga contaminante de las aguas residuales de la planta de tratamiento de Totorá-Ayacucho empleando la técnica de electrocoagulación**; “La investigación realizada, consistió en la aplicación del método de EC con electrodos de sacrificio de aluminio para reducir la carga de contaminantes de las aguas residuales de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “La Totorá” – Ayacucho. Los ensayos se realizaron en los laboratorios de Análisis Instrumental de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga – Ayacucho, Laboratorio de Electroquímica de la Universidad Nacional de Ingeniería - Lima. El

 26

trabajo de investigación comprendió dos etapas: (a) determinación de las características físicas, químicas y biológicas de las aguas efluentes y receptoras de la PTAR – “La Totorá”, (b) aplicación de la técnica de electrocoagulación para el tratamiento de las aguas del efluente de la PTAR “La Totorá” La aplicación del método de EC a las aguas en estudio, resultó ser muy efectivo en el propósito de reducir la carga de contaminantes porque su aplicación permitió la remoción de turbidez, sólidos totales, sólidos disueltos, alcalinidad, dureza total, coliformes fecales y materia orgánica expresada como disminución de  $\text{DBO}_5$ . La aplicación de 25 minutos de electrocoagulación a las muestras de agua, utilizando una densidad de corriente de  $12,5 \text{ mA/cm}^2$  y  $21 - 23 \text{ V}$ , 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  $\text{DBO}_5$ , logrando mejorar la calidad del agua al reducir la turbidez y disminuir el valor de  $\text{DBO}_5$  a  $14,75 \text{ mg O}_2/\text{L}$ , valor que se encuentra dentro de los límites permisibles según los Estándares de Calidad Ambiental del Agua (ECAA) 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, sin embargo, para esta prueba se sugiere mejorar el diseño de los electrodos. Una de las bondades de este método es que casi la totalidad de los iones  $\text{Al}^{3+}$  producidos durante el proceso electrocoagulación participan en la desestabilización de los coloides y al mismo tiempo en la formación del precipitado de hidróxido de aluminio, quedando sólo un  $1,27\%$  de aluminio residual en la muestra tratada, hecho que permitió que la concentración de aluminio residual dentro de los límites permisibles según ECAA para agua de categoría 3; en la actualidad donde el fenómeno ambiental está tomando cada vez mayor interés la efectividad de este método para la remoción de contaminantes lo perfila como un método prometedor de limpieza y purificación para tratamiento de agua” (Barboza P, 2011).

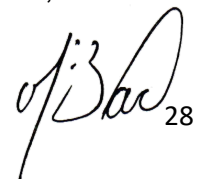
**2.1.4. Cuba Tello et al, 2019,** “La electrocoagulación (EC) en los últimos años está llamando la atención para la eliminación de diferentes



27

contaminantes presentes en diversos efluentes. A través de este trabajo, se verificó la viabilidad de utilizar la técnica de electrocoagulación como una alternativa ante los procesos químicos convencionales, en el tratamiento del agua residual de lavadoras para ser reutilizado en riego de vegetales. Analizadas regularmente. Se analizaron cuatro factores: intensidad, tiempo, distancia y pH; con tres niveles para cada factor. Para optimizar el proceso de electrocoagulación sobre los factores de diseño, se realizaron experimentos de acuerdo al método de Taguchi. Se realizó el análisis de varianza (ANOVA) para ver el efecto de los variables sobre la remoción de la turbiedad y otros parámetros fisicoquímicos. Los resultados arrojaron que los parámetros de mayor influencia en la remoción de la turbiedad fueron tiempo e intensidad a comparación de los demás. La optimización de los factores sobre la alta remoción de los parámetros fisicoquímicos se obtuvo a los niveles de intensidad de 5 Amperios, 15 minutos, 2 centímetros y pH 7,5, con una remoción de 99,02% turbiedad, 90,83% DQO y 95,93% SST, el efluente tratado se encuentra en el rango permisible para su uso en riego de vegetales” (Cuba Tello et al., 2019).

**2.1.5. Riccio Luis F, 2010.** “El presente trabajo explica que, mediante la electrocoagulación, método electroquímico de tratamiento de aguas residuales, se puede eliminar los aceites y grasas de las aguas residuales de la Universidad Nacional del Centro del Perú, en cuya caracterización se encontró que tiene elevada carga orgánica puesto de manifiesto en su DBO que alcanza 1 647.0 mg/L, una DQO de 4 436.8 mg/L, sólidos totales en 3 716 mg/L y una importante concentración de aceites y grasas de 1 600 mg/L. Para conseguir establecer las condiciones óptimas de operación se construyó una celda electrolítica tipo Batch, de material termoplástico, de volumen útil de 3.66 L en la cual se colocaron electrodos de aluminio y hierro, alternadamente, los cuales hicieron de cátodo y ánodo, respectivamente. Utilizando este proceso se obtuvo una remoción de aceites y grasas del 93.9%, a nivel de laboratorio, con una



28

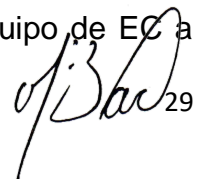


densidad de corriente de 20 A/m<sup>2</sup>, 3 cm de distancia entre electrodos, y un tiempo de 60 minutos” (Riccio, 2010).

## **2.2. Antecedentes internacionales. -**

**2.2.1. Arango Ruiz, 2005.** “Uno de los desafíos mayores que enfrenta hoy la humanidad es proporcionar agua limpia a una inmensa mayoría de la población mundial. Por ello, hay una necesidad urgente de desarrollar técnicas innovadoras, más eficaces y económicas para el tratamiento de aguas residuales. La electrocoagulación, una tecnología conocida desde principios del siglo XX, ha evolucionado, siendo eficazmente aplicada en la actualidad para el tratamiento de las aguas residuales de la industria del papel, la minería y la industria de metales pesados. Además, la electrocoagulación se ha aplicado para tratar agua que contiene la pérdida de alimentos, grasas, tintes, partículas suspendidas, entre otros. Desde esta perspectiva, la electrocoagulación se convierte en un proceso electroquímico que puede tener resultados exitosos en su aplicación, optimizando los factores que lo conforman, alcanzando el reto de proteger, conservar y recuperar el recurso hídrico. Las placas de metal, tales como hierro o aluminio son utilizadas como electrodo de sacrificio o placa consumible que aporta iones al sistema. Estos iones liberados neutralizan las cargas de las partículas desestabilizando los sistemas de suspensión de los contaminantes dando inicio a la coagulación. Los iones liberados remueven cualquier contaminante, bien sea por reacción química y precipitación o agregando materiales coloidales que bien pueden flotar o precipitarse. Además, como el agua contiene partículas coloidales, aceites u otros contaminantes, éstos se mueven a través del campo eléctrico aplicado y pueden ionizarse, sufrir reacciones de electrólisis o de hidrólisis o formar radicales libres que alteran las propiedades físicas y químicas del agua y de los contaminantes, resultando en un estado reactivo y excitado lo cual es causa de la liberación, destrucción o insolubilidad de los contaminantes” (Arango Ruiz, 2005).

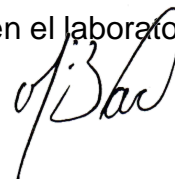
**2.2.2. Canto-Ríos et al. (2017).** “En este proyecto de investigación, se realizó el diseño conceptual y construcción de un equipo de EC a



29

escala laboratorio. Este prototipo fue automatizado en las funciones de dosificación de químicos y aplicación de voltaje por medio del diseño de un algoritmo diseñado en el software LabVIEW, por medio de una interface electrónica que transmite los datos desde un computador personal. El diseño del reactor de EC fue definido a partir de una serie de ensayos teniendo en cuenta las siguientes variables: tiempo que tarda la reacción de electrocoagulación, tamaño del reactor y voltaje aplicado. El funcionamiento del EC fue verificado con la remoción de cromo hexavalente contenido en muestras artificiales. De acuerdo al desarrollo de este proyecto se estudiará la EC como una técnica para el tratamiento de agua residual aplicando electroquímica por medio de un prototipo de EC automatizado, y de esta forma dar a conocer el funcionamiento de este sistema en la academia.

La electrocoagulación es una opción en la remoción de contaminantes presentes en el agua, basada en el desgaste de los electrodos para la formación in situ de un coagulante. En la eficiencia de este tipo de sistemas intervienen procesos fisicoquímicos, electroquímicos e hidráulicos. Varios autores han estudiado esta tecnología desde los dos primeros enfoques, sin embargo, se sabe poco de la influencia de la hidráulica en la eficiencia del proceso. El presente trabajo se centra en el estudio de las pérdidas totales de carga en un reactor de EC con flujo pistón a presión y sección transversal anular simple y múltiple, donde esta última característica depende de la matriz de electrodos. Las pérdidas de carga consideran que el sistema trabajó a tubo lleno. Lo anterior es una simplificación del problema real debido a que durante la reacción electroquímica se generan coagulantes y gases, los cuales no se consideran para el cálculo y podrían impactar en la pérdida total. Por otro lado, las propiedades del material utilizado como electrodo varían con el tiempo y uso, esto implica que los coeficientes de fricción varían de igual manera, por lo que es necesario considerarlo en el cálculo de las pérdidas. Las pérdidas de carga calculadas con lo anterior se compararon con los datos recabados en el laboratorio,

 30

obteniendo los errores absolutos del ajuste de cada modelo. Como resultado inicial se tuvo que los modelos para sección circular tienen un mejor comportamiento, sin embargo, esto es sólo para las secciones anulares; para el caso de secciones anulares múltiples, son los modelos anulares los que tienen un mejor comportamiento”(Canto-Ríos et al., 2017).

**2.2.3. Feria D. et al., (2014)**, En su trabajo denominado “Tratamiento de aguas residuales de origen químico mediante electrocoagulación”, se evaluó la EC como técnica de tratamiento para aguas residuales de un laboratorio de análisis químico, de alta Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Turbidez (T). Se aplicó un diseño de experimento factorial de 32 aleatorizado, con tres factores y dos niveles (Voltaje y distancia entre electrodos). Se lograron eficiencias de remoción de DQO superior al 60% en los ensayos con electrodos separados a 1,0 cm y a 4,0 cm, independiente del voltaje aplicado. Sin embargo, la eficiencia en la remoción de los Sólidos Suspendidos Totales (SST) y la T no fue adecuada, en algunos ensayos la muestra tratada tenía mayor concentración que la muestra inicial. La EC como técnica para el tratamiento de aguas residuales de origen químico es adecuada para la oxidación y remoción de la DQO, pero su aplicación puede aumentar los SST en el agua tratada.

**2.2.4. Chen G. (2004)**, “El desarrollo, diseño y aplicaciones de tecnologías electroquímicas en el tratamiento de agua y aguas residuales. Se prestó especial atención a la electrodeposición (ED), la EC, el electroflotación (EF) y el electro oxidación (EO). Se revisaron más de 300 publicaciones relacionadas con 221 citadas o analizadas. La ED es eficaz para recuperar metales pesados de las corrientes de aguas residuales. Se considera como una tecnología establecida con un posible desarrollo posterior en la mejora del rendimiento espacio-tiempo. EC ha estado en uso para la producción de agua o el tratamiento de aguas residuales. Está encontrando más aplicaciones utilizando aluminio, hierro o los electrodos híbridos de Al/Fe. La separación de los lodos floculados del agua tratada se puede lograr mediante el uso de EF. La tecnología EF es eficaz en la eliminación

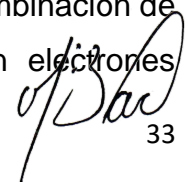
de partículas coloidales, aceite y grasa, así como contaminantes orgánicos. Se ha demostrado que funciona mejor que la flotación por aire disuelto (DAF), la sedimentación, la flotación del impulsor (FI). Los electrodos estables y activos recientemente desarrollados para la evolución del oxígeno definitivamente impulsarían la adopción de esta tecnología. La EO está encontrando su aplicación en el tratamiento de aguas residuales en combinación con otras tecnologías. Es eficaz en la degradación de los contaminantes refractarios en la superficie de unos pocos electrodos. Los electrodos de película de diamante dopados con boro (DDB) a base de titanio (Ti): (Ti/DDB) muestran una alta actividad y brindan una estabilidad razonable. Su aplicación industrial requiere la producción de ánodo Ti/DDB en gran tamaño a un costo y durabilidad razonables". (Chen, 2004)

**2.2.5.** García Vaca M. & García Ubaque C. (2016), "Las aguas de lavado de tinta se catalogan como contaminantes debido a que son sustancias en su mayoría poli aromáticas, carcinogénicas, mutagénicas y teratogénicas para gran variedad de seres vivos. Dentro de los métodos de descontaminación, la EC, EF es reconocido como un tratamiento altamente eficiente para la remoción de contaminantes disueltos en agua, y su efecto sobre colorantes ha sido estudiado y descrito. No tiene, sin embargo, aplicación industrial en Colombia en la actualidad y su lugar en los objetivos de investigación académica en el país es aún muy marginal. Por esa razón, este trabajo es un estudio exploratorio del tratamiento de un residuo industrial de tinta de imprenta por medio del método de (EC)/(EF). Se aplicó un diseño experimental 22 con un punto central. Se obtuvo un rango de porcentajes de remoción de DQO entre 10,43% hasta 50,93%. No obstante, los resultados evidencian la posibilidad de que la descontaminación por EC puede ser reversible, y no se observa la incidencia esperada de los factores escogidos". (María García Vaca, César García Ubaque, 2016)

**2.2.6.** Gilpavas, (2012), "En este estudio se evaluó la electrocoagulación como tratamiento para aguas residuales del proceso de curtición de

una curtiembre y de aguas residuales provenientes del proceso de teñido en un floricultivo. Los experimentos se llevaron a cabo en un reactor a escala laboratorio con configuración monopolar con electrodos de hierro y aluminio que operaba de modo discontinuo (Batch). Para el caso del  $\text{Cr}^{+3}$ , se realizaron ensayos preliminares con un volumen de muestra de 150 ml, un área de electrodos sumergida de  $27 \text{ cm}^2$  y un tiempo de residencia de 30 minutos y se determinaron los valores óptimos de la agitación y la separación entre electrodos, encontrándose valores de agitación de 370 rpm y separación entre electrodos de 5 mm. En el diseño de experimentos final se evaluó la concentración inicial de la muestra, el voltaje y el tipo de electrodos. Las condiciones óptimas obtenidas a partir del análisis estadístico fueron 13 voltios, Agitación 382 rpm, electrodos de Al, concentración inicial de la solución 2364,57 ppm y distancia entre electrodos de 5 mm. Con las condiciones óptimas se validó el modelo, tanto para la solución diluida (2364,57 ppm) como para la solución natural (5456,7 ppm) y se evaluó la cinética para la remoción de  $\text{Cr}^{+3}$  y remoción de DQO y COT, además de  $\text{DBO}_5$  para antes y después del tratamiento. Se trato un volumen de 500 ml de solución durante un tiempo de reacción de 60 minutos. Para la muestra natural se presentó una remoción de  $\text{Cr}^{+3}$  del 71,98%, remoción de DQO del 50.67%, remoción de TOC del 19% y un aumento en la biodegradabilidad del agua del 72,88%. La solución diluida presentó una remoción de  $\text{Cr}^{+3}$  del 99,76%, remoción de la DQO del 60%, remoción de TOC 51,23% y un aumento en la biodegradabilidad del agua del 77,22%". (Gilpavas, 2012).

**2.2.7. 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

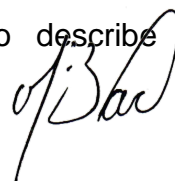


acelerados. Para la electrocoagulación, se analizó la influencia del tipo de ánodo, el flujo de alimentación y la intensidad de corriente eléctrica. Para ello, se realizaron ensayos con electrodos de hierro y aluminio, con flujos de alimentación de 18 L/h, 30 L/h, 50 L/h, 70 L/h y 100 L/h, intensidades 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" (Guanoluiza Llive, 2013).

**2.2.8. 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. Para estudiar el comportamiento de los procesos de electrocoagulación y precipitación por efecto químico, en el intento por remover materia orgánica (DQO) de las aguas residuales industriales provenientes del sector automotriz, se fabricó un reactor electroquímico con material acrílico, cuya capacidad es de dos litros, donde se introducen seis electrodos de hierro (tres cátodos y tres ánodos), que pueden ser fácilmente sustituidos por otros por su condición de no fijos, conectados en paralelo, actuando de manera monopolar y sometidos al mismo potencial eléctrico. Todas las placas metálicas planas rectangulares generan un área efectiva de reacción de 6.75

dm<sup>2</sup>. Este equipo fue operado en sistema batch y cuenta con una fuente de energía para inducir la corriente eléctrica, una perilla para graduar el voltaje (entre 0 y 60 voltios) o la corriente directa (entre 0 y 10 amperios) según sea el caso. Además, se tiene la facilidad de cambiar la polaridad de los electrodos para que trabajen como ánodos o cátodos según convenga. Durante las pruebas de electrocoagulación se analizó la influencia de tres parámetros electroquímicos sobre el proceso: densidad de corriente aplicada a las celdas electroquímicas, tiempo de reacción y separación entre electrodos metálicos, siendo estudiados los dos primeros en tres niveles (0,53; 0,74 y 1,04 A/dm<sup>2</sup> y 10, 15 y 20 min, respectivamente), mientras el último factor se hizo en cuatro niveles (0,5; 0,7; 1,1 y 1,5 cm de separación). La mejor remoción obtenida de la materia orgánica (DQO) al utilizar esta tecnología electroquímica fue comparada con la depuración alcanzada de este contaminante al emplear un reactor fisicoquímico en el que es inducido por efecto químico el fenómeno de precipitación, cuyo sistema hace parte de la planta de aguas residuales de la empresa automotriz. Utilizando una densidad de corriente (1,13 A/dm<sup>2</sup>, tiempo de reacción de 19 min. Separación de placas 1,1 cm) y condiciones de afluente (pH: 8,68, DQO 1153,8 m/L), condiciones del efluente (pH: 11,41 y DQO: 859,30 mg/L) siendo el porcentaje de remoción de la DQO, en el orden de 25,52%; mientras en el Reactor físico químico convencional con las condiciones de afluente (DQO 1153,8 m/L), condiciones del efluente (DQO: 859,30 mg/L) el porcentaje de remoción de la DQO, fue de 47,69%, Por lo tanto, bajo las condiciones analizadas durante esta investigación, el proceso electroquímico resulta ser inadecuado para separar de las aguas este contaminante” (Mercado Martínez, 2010)

**2.2.9.** “Los sistemas de electrocoagulación como una alternativa para la remoción de agentes contaminantes, permiten la disolución de ellos, debido a la aplicación de un diferencial de potencial, que produce a su vez los iones que favorecen la aglomeración de las partículas para su posterior remoción. El presente estudio describe la


 35



aplicación de la técnica de electrocoagulación como tratamiento para el agua residual de origen galvánico, llevado a cabo con un prototipo diseñado para tratar el efluente de un proceso de cromado específicamente en la empresa Recubrimientos Galvánicos de Colombia. Para la consecución del estudio, fue construida una celda electrolítica que actúa como reactor tipo batch, en el que de acuerdo al diseño experimental fueron llevados a cabo tres ensayos aplicando 10, 20 y 30V, obteniendo un porcentaje de remoción medido en función de la concentración de cromo total, de 60, 80 y 99% respectivamente, al cabo de 35 minutos de tratamiento. Además, fueron empleadas tres placas de aluminio y tres de hierro que actúan como electrodos, ubicados a una distancia de 1 cm, una temperatura inicial de 18°C, un pH inicial de 3,0 y una conductividad inicial de 2 mS/cm. La electrocoagulación es consolidada entonces, como un proceso de tipo electroquímico que puede tener resultados favorables cuando es aplicado en el tratamiento de aguas residuales provenientes de procesos galvánicos, facilitando la remoción de contaminantes como cromo total, de manera efectiva en función del volumen a tratar”. (Murillo Barraza, 2016)

**2.2.10. Robles Mendoza & López Bueno, 2017, Bogotá-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: pH, turbidez, color, DQO, temperatura, DBO, densidad relativa y oxígeno disuelto.

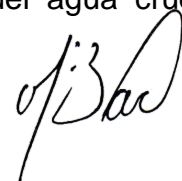
Con la experimentación realizada se obtuvieron eficiencias de remoción de Turbidez 97% (residual 10 NTU); remoción de de DQO

 36



83%(residual de 48 mg/L), remoción de DBO<sub>5</sub> 83,33% (residual de 200 mg/L), sólidos totales disueltos 54% (residual de 0,35 mg/L), color 95% (residual de 15 PtCo), conductividad 52% (residual de 0,70 mS), Coliformes (99,9%) y Oxígeno disuelto 580% (incremento 5 mg/L)” (Roblez M. & López B., 2017).

**2.2.11.** “Con el incremento de la cantidad de contaminantes presentes en el agua se hace necesaria la implementación de nuevas alternativas que presenten una solución eficiente, económica y accesible para las plantas de potabilización y la comunidad en general. La presente investigación propuso la evaluación de las variables necesarias para el proceso de electrocoagulación en el tratamiento de aguas crudas, mediante el establecimiento de una celda electrolítica con diferentes configuraciones ánodo-cátodo evaluando así los porcentajes de remoción para así determinar la eficiencia del proceso. Se realizaron estudios a escala de laboratorio usando una celda electrolítica de capacidad de 1L, con electrodos de hierro, aluminio y acero inoxidable donde se producen hidróxidos de hierro y aluminio los cuales actúan como coagulantes. Se determinaron los porcentajes de remoción de color, turbidez y sólidos totales, para una configuración aluminio-acero inoxidable y para la segunda configuración hierro-acero inoxidable. Se aplicó un diseño 2 K con una sola réplica y un análisis multivariado de varianza usando el software estadístico Info Stat/Profesional. Los resultados mostraron que las eficiencias en remoción de turbidez y color utilizando ánodo de aluminio fueron de un 40% a un 80% bajo las mejores condiciones de voltaje aplicado, separación entre los electrodos y tiempo de tratamiento. Sin embargo, los porcentajes con ánodo de hierro oscilan en un rango de 10% a 50% en las mejores condiciones del sistema estudiado. El análisis de varianza determino que existe una diferencia significativa al modificar el metal anódico. Los resultados mostraron que hay una buena correlación entre los hidróxidos de metales formados en la coagulación electroquímica y la reducción de los dos principales contaminantes evaluados del agua cruda como lo son la turbidez y el color”. (Viva et al., 2017)

 37

## 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.

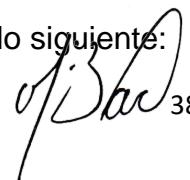
**i Los efluentes.** - son una mezcla compleja que contiene agua, mezcla de contaminantes orgánicos e inorgánicos tanto en suspensión como disueltos que implican una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica, (Hernández Muñoz y Hernández Lehmann, 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 Borrero, 1999).

**ii Aguas residuales domésticas.** - Son aguas procedentes de los vertidos de las actividades humanas. Su composición es muy variable dependen del uso que se le dé, (C. Orozco B. et. al. 2004), 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:

 38

- 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.

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

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

**c) 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 sobre corrientes, (Ministerio de Minas y Energía de Colombia, 2013, p.19).

**d) Corriente alterna.** - Corriente eléctrica que invierte su dirección de forma repetida; las cargas eléctricas vibran alrededor de puntos relativamente fijos, conceptos básicos.

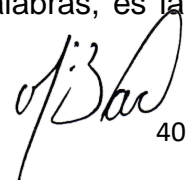
**e) Corriente directa o continua.** - Es el paso de electrones por un conductor siempre en el mismo sentido y con una intensidad constante a lo largo del tiempo (...). Una corriente continua mantiene constantemente el mismo valor de la intensidad y el mismo sentido, (Departamento de electrónica IES Juan de la Cierva, p.1)

**f) 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).

**g) 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, si la densidad de corriente es constante, en toda el área de la sección transversal y es paralela a las líneas de corriente, entonces  $D = \{A/m^2\}$ , (Barco, et al, 2012, p.171).

**h) 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 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).

**i) 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

  
40

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

**j) 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).

**k) 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 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).

**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).

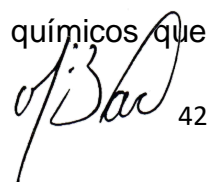
**Tabla 2.1**

*Operaciones y procesos unitarios o sistemas de tratamiento utilizados para eliminar la mayoría de contaminantes presentes en las aguas residuales*

<b>Contaminante</b>	<b>Operación, proceso unitario o sistema de tratamiento</b>
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, 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

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

 42

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.

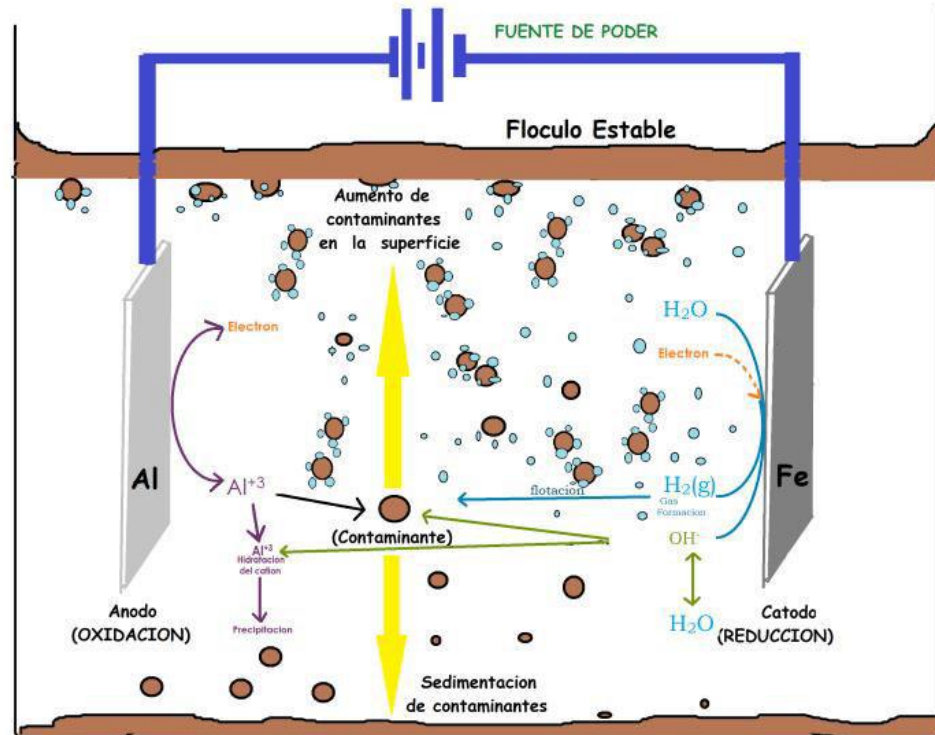
Los iones que proveen los electrodos desencadenan un proceso de eliminación de contaminantes que se puede dar por dos vías: la primera por reacciones químicas y precipitación y la segunda procesos físicos de agregación de coloides, que dependiendo de su densidad pueden flotar o precipitar.

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 flóculos 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.

*of:3ac*




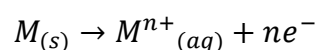
Este Proceso se lleva a cabo en un dispositivo que se conoce como celda electrolítica. La electrolisis se basa en los mismos principios en que se fundamentan los procesos que se realizan en las celdas electroquímicas. (Chang, 2007).

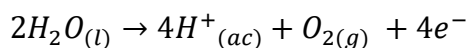
• **Electrocoagulación.** - La electrocoagulación es una técnica utilizada para el tratamiento de las aguas residuales. Los contaminantes de muy diversos efluentes son removidos aplicando el principio de coagulación, pero en este caso no se hace uso de un coagulante químico (cuya función es llevada a 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)

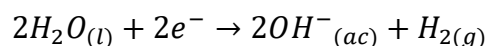
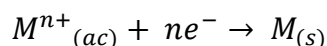
• **Reacciones en la electrocoagulación.** - Según (Comninellis, 2009); Las reacciones generalmente tienen el siguiente principio, se muestra las expresiones con el metal M tanto para el ánodo como para el cátodo:

Reacciones de oxidación producidas en el ánodo,





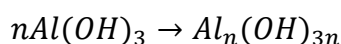
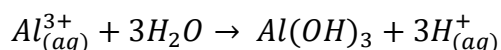
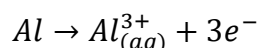
Reacciones de reducción producidas por el cátodo,



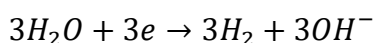
En el caso de que los electrodos sean de aluminio la disolución del ánodo produce especies como  $Al^{3+}$ ,  $AlOH_2^+$  los cuales producen espontáneamente los respectivos hidróxidos o polihidróxidos; estos dependen del pH de la solución iónica. Los hidróxidos y polihidroxidos formados en estas reacciones electroquímicas tienen una gran afinidad por partículas dispersas e 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:

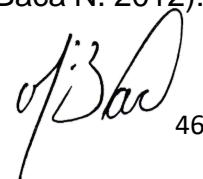


Los iones  $Al^{3+}$  en combinación con los  $OH^-$  reaccionan para formar alguna especie monomérica como  $Al(OH)_2^+$ ,  $Al_2(OH)_2^{++}$ ,  $Al(OH)_2^+$ , y otras poliméricas, tales como  $Al_6(OH)_{15}^{3+}$ ,  $Al_7(OH)_{17}^{4+}$ ,  $Al_8(OH)_{20}^{4+}$ ,  $Al_{13}O_4(OH)_{24}^{7+}$  y  $Al_{13}(OH)_{13}^{5+}$  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, pueden ser, (M. Baca N. 2012):

 46

**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.

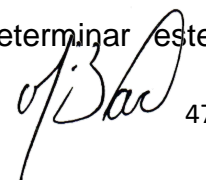
**b. Contenido de microorganismos.** - Estos pueden ser benignos o patógenos y se clasifican en, (M. Baca N. 2018, p. 47):

- **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).

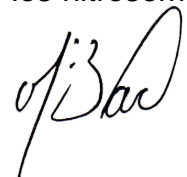
- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>).** - Es una medida indirecta de la materia orgánica en ambientes acuáticos. Es la cantidad de O<sub>2</sub> disuelto necesario para la oxidación microbiana de la materia orgánica biodegradable, (Prescott, Harley y Klein 2008, p. 1055).

Es la cantidad de O<sub>2</sub> 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 DBO<sub>5</sub> a los 5 días y a 20 °C (DBO<sub>5</sub>), cuyo valor se aproxima al valor asintótico de la DBO<sub>5</sub> correspondiente al ciclo del carbono. Para determinar este

 47

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 DBO<sub>5</sub> 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 nitrificación - desnitrificación (NDN) 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, se pueden observar las características mínimas y suficientes para definir un vertido urbano, (Metcalf and Eddy, 1995)

**Tabla 2.2**  
*Composición típica del agua residual doméstica*

Contaminantes	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 <sub>5</sub> )	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) Orgánico	mg/L	20	40	85
Amoníaco libre	mg/L	8	15	35
Nitritos	mg/L	12	25	50
Nitratos	mg/L	0	0	0
Fósforo (total de la forma P)	mg/L	0	0	0
Orgánico	mg/L	4	8	15
Inorgánico	mg/L	1	3	5
Cloruros	mg/L	3	5	10
Sulfatos	mg/L	30	50	100
Alcalinidad (como CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	20	30	50
Grasa y Aceites	mg/L	50	100	150
Coliformes totales (CT)	Nº/100 mL	10 <sup>6</sup> - 10 <sup>7</sup>	10 <sup>6</sup> - 10 <sup>8</sup>	10 <sup>6</sup> - 10 <sup>9</sup>
COVs	µg/L	< 100	100 - 400	> 400

Fuente: METCALF & EDDY - INGENIERIA DE AGUAS RESIDUALES

*M. Baca* 49

**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. N° 1055, Decreto Legislativo que modifica la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente. -**

**Art. 1º.** - Modifíquense los artículos 32º, 42º, 43º y 51º de la Ley N° 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., ver tabla

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 Domésticas o Municipales (PTAR), para el sector Vivienda.-** Decretan en su artículo 1º la Aprobación de Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de plantas de tratamiento de Agua Residuales Domésticas o Municipales (PTAR), los que en Anexo

 51

(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 secuencial por electrocoagulación cumplirán con los ECAs que permitan su reuso como agua de riego.

#### 3.2. Definición conceptual de las variables. -

**3.2.1. Variable independiente.** - “Sistema de tratamiento secuencial 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.

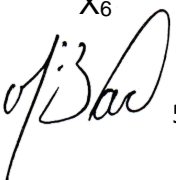
**3.2.2. Variable dependiente.** - “Calidad de los efluentes domésticos tratados para su reutilización”, Concentración o grado de elemento, sustancia o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan al efluente o emisión tratada que permita su Clasificación.

**3.3. Operacionalización de las variables.** - Para demostrar y comprobar la hipótesis anteriormente formulada, la operacionalizamos, determinado 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 <sup>3</sup> /día)                             | X <sub>1</sub> |
| ○ Carga Superficial, (M <sup>3</sup> /M <sup>2</sup> . día) | X <sub>2</sub> |
| ○ Tiempo de retención hidráulica, (Trh)                     | X <sub>3</sub> |
| ○ Voltaje, (Voltios)  | X <sub>4</sub> |
| ○ Amperaje, (Amperios)                                      | X <sub>5</sub> |
| ○ Densidad de Corriente electica (mA/cm <sup>2</sup> )      | X <sub>6</sub> |

 54

**3.3.2. Indicadores operacionales de la variable dependiente.** - Calidad de los efluentes domésticos tratados para su reutilización:

- Potencial Hidrogeno (pH) Y<sub>1</sub>
- Demanda Química de Oxigeno (DQO) Y<sub>2</sub>
- Demanda Bioquímica de Oxigeno (DBO<sub>5</sub>) Y<sub>3</sub>
- Aceites y Grasas, (AyG) Y<sub>4</sub>
- Coliformes Termotolerantes, (CT) Y<sub>5</sub>
- Turbiedad, (T) Y<sub>6</sub>
- Metales, (ME) Y<sub>7</sub>

**3.4. Definiciones operacionales de la variable.** -

- Caudal (M<sup>3</sup>/seg). - es la cantidad de fluido que pasa en una unidad de tiempo.
- Carga Superficial (M<sup>3</sup>/M<sup>2</sup>. día). - 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 Oxigeno (DQO). - Es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar el carbono orgánico completamente a CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O y amonio. (Lazcano, C. 2014)

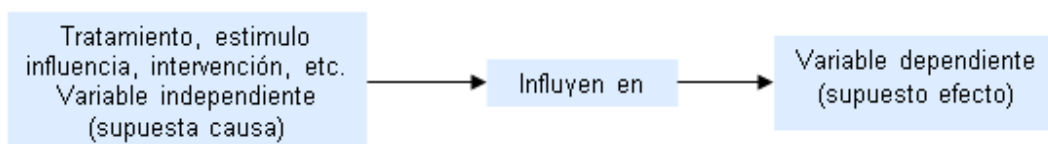
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>). - Se define como la cantidad de oxígeno disuelto consumida por los microorganismos para la oxidación de la materia orgánica (carbonácea e inorgánica). (Lazcano, C. 2014)
- Aceites y Grasas. - constituyen los Lípidos presentes en las aguas en proporción 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.** - 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 la figura 4. (Sampieri H. 2006)

**Figura 4. Esquema de Causa y Efecto**



Para el desarrollo del trabajo de Investigación, como se ha especificado se diseñó y construyó un Sistema de Tratamiento Secuencial 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, (Baca N., 2018).

- 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, construir y operar el Sistema de Tratamiento Secuencial 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 Secuencial por Electrocoagulación.** - Para este propósito usamos como referencia experimental el trabajo desarrollado por el suscrito, denominado: "Evaluación de un sistema de tratamiento continuo por electrocoagulación"

*of Baca*  
57

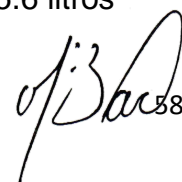
para los efluentes domésticos y su reúso en el riego de jardines y áreas verdes”, y a partir del electro coagulador utilizado en este trabajo se rediseño obteniendo dos unidades para el nuevo sistema del tipo secuencial.

**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 mismo criterio utilizado en nuestro proyecto precedente y que tuvo en cuenta el mismo criterio adoptado por 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 original que se muestra en la figura 4.1, se modificó del volumen de 60 litros a 30 litros, formado un cubo, en el cual están sumergidos los electrodos de aluminio (cátodo y ánodo, ambos de forma rectangular), siendo las dimensiones de cada una de las Celdas, las siguientes:

- |   |             |
|---|-------------|
| a. Volumen total de la celda:                   | 30 litros   |
| b. Volumen de trabajo:                          | 15.6 litros |
| c. Largo:                                       | 29.5 cm     |
| d. Ancho:                                       | 29.5 cm     |
| e. Profundidad:                                 | 30.0 cm     |
| f. Profundidad útil:                            | 18.0 cm     |
| g. Volumen de la zona de flotación de espumas:  | 8 litros    |
| h. Altura de la zona de flotación de espumas:   | 12,0 cm     |
| i. Volumen de la zona de reacción y sedimentos: | 15.6 litros |



- j. Profundidad de la zona de reacción: 15.0 cm  
k. Profundidad de la zona de sedimentos: 03 cm

**Figura 4.1**

*Celda Original del Electrocoagulador de la Primera Parte*



**Nota:** Con este electrocoagulador, se trabajó la primera parte del proyecto a cargo del suscrito.

A continuación, se muestran una serie de figuras que ilustran la construcción del Sistema de Tratamiento por Electrocoagulación Secuencial. En las figuras 4.2 y 4.3 respectivamente, se muestra primero a la caja de acrílico de la celda original y la segunda la misma caja, pero partida en dos partes producto del proceso de corte con sierra eléctrica, con cada una de las partes se reconstruirá y obtendrán las dos celdas, para construir el sistema secuencial.

**Figura 4.2 y Figura 4.3** Vista celda original durante el corte (división)





Las figuras 4.4 y 4.5, muestra a las dos cajas de celdas en proceso de reconstrucción, cada una con su cara del lado de ingreso y/o de salida, no obstante, se observan láminas de acrílico, que constituirán la presa para evitar espumas del lado de salida y la presa del lado de ingreso que evite disturbios debido al gradiente hidráulico del efluente domestico a su ingreso a la cámara donde se ubicarán las placas de aluminio de la celda.

#### **Figuras 4.4 y 4.5**

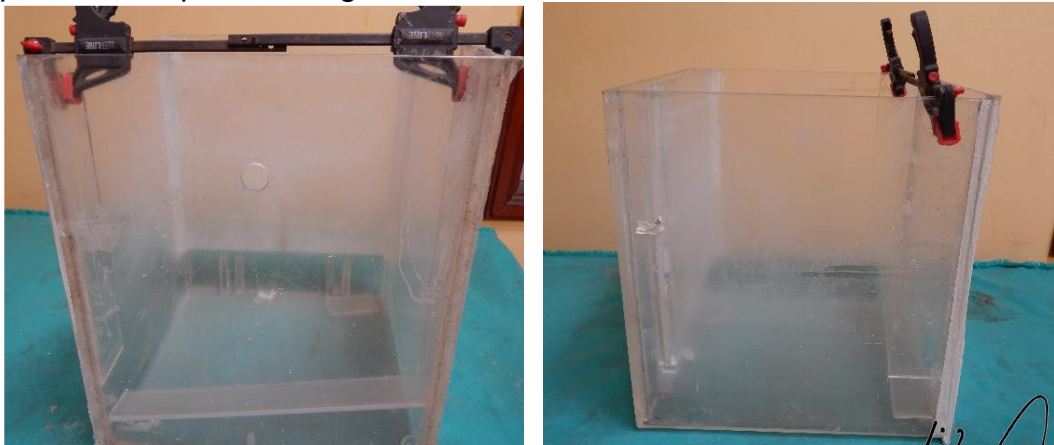
*Se observa los componentes de las dos celdas del STSEC*



Las figuras 4.6 y 4.7 muestran una de las cajas, durante la instalación de las guías para la pantalla de ingreso del efluente para su tratamiento, mientras las figuras 4.8 y 4.9 muestra la caja ya con las guías de acrílico pegadas y la lámina que corresponde a la presa o compuerta de ingreso. Las figuras 4.10 y 4.11 muestran un de la caja del EC mostrando el peine fabricado de acrílico, proveniente del modelo primigenio y ahora modificar sus medidas para instalarse en las nuevas cajas, para ubicar y mantener separadas y paralelas las láminas de aluminio (Cátodos y Ánodos) del EC.

#### **Figuras 4.6 y 4.7**

*Vistas de una de las celdas durante el pegado de las guías para las pantallas de presa de ingreso.*





**Figuras 4.8 y 4.9**

*Muestran una de las celdas ya con sus guías pegadas*



**Figuras 4.10 y 4.11** *Muestran una de las celdas con los peines de la base para el soporte de los cátodos y ánodos*



Figuras 4.12 y 4.13 durante el pulido de las cajas de las celdas de los EC, retiro del exceso de pegamento y demás.

Figuras 4.14 y 4.15, muestran una de las cajas de las celdas del EC con el peine ubicado en el fondo y con las láminas instaladas.

**Figuras 4.12 y 4.13**

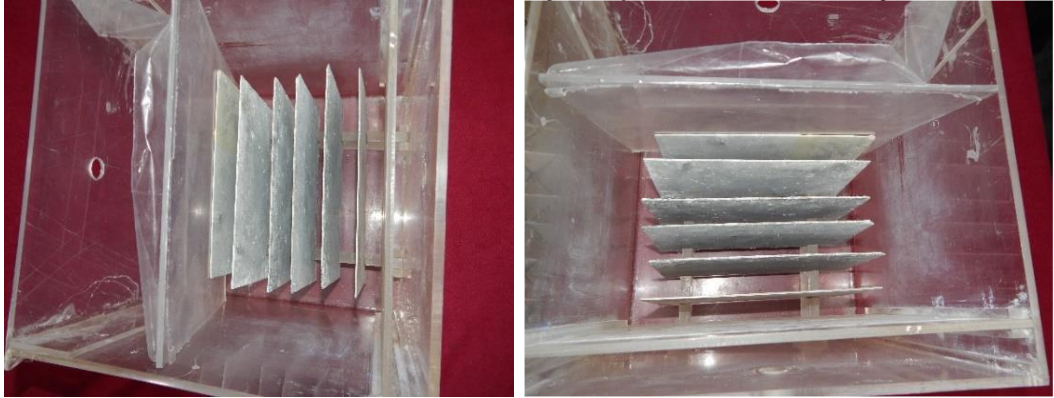
*Muestran la etapa de pulidos de las cajas de las celdas*



*of Baer*

**Figuras 4.14 y 4.15**

*Se muestra una celda con sus peines y las placas de ánodos y cátodos*



Por otro lado, las figuras 4.16 y 4.17, muestran el juego de electro válvulas de 12 voltios, del tipo on/off, para ingreso y salida del afluente y efluente de los ECs, importadas de China, adquirida a la empresa ZHEJIANG AICI VALVE TECHNOLOGY CO., Ltd: Válvula de bola de 1/2", fabricada en latón, rosca hembra, accionado con actuador eléctrico a 12 voltios DC,

**Figuras 4.16 y 4.17**

*Se muestra el juego de electro válvulas de bola para instalarse en las celdas*



Figuras 4.18 y 4.19 muestran el mueble en su etapa de construcción, donde se ubican las celdas de STSEC,

**Figuras 4.18 y 4.19**

*Se muestra el mueble donde se ubicarán las celdas del STSEC*

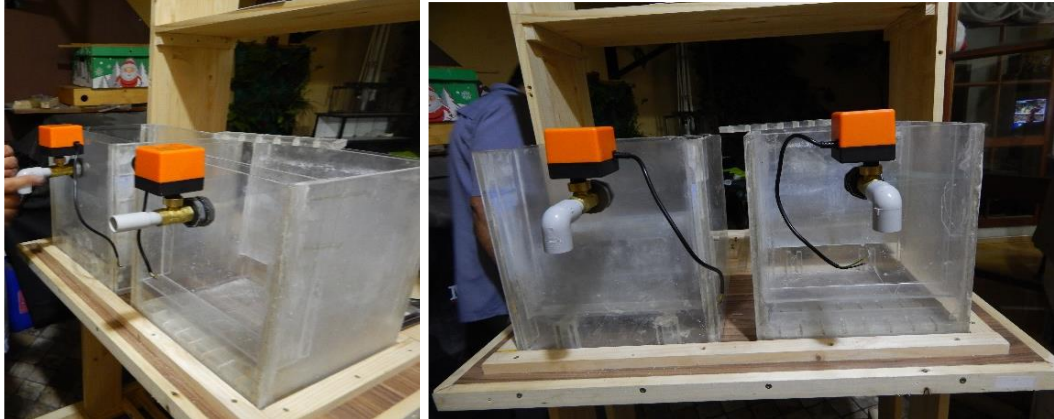




Las figuras 4.20 y 4.21 muestran las dos celdas durante el montaje de las válvulas de solenoide en su lado de salida del efluente tratado.

**Figuras 4.20 y 4.21**

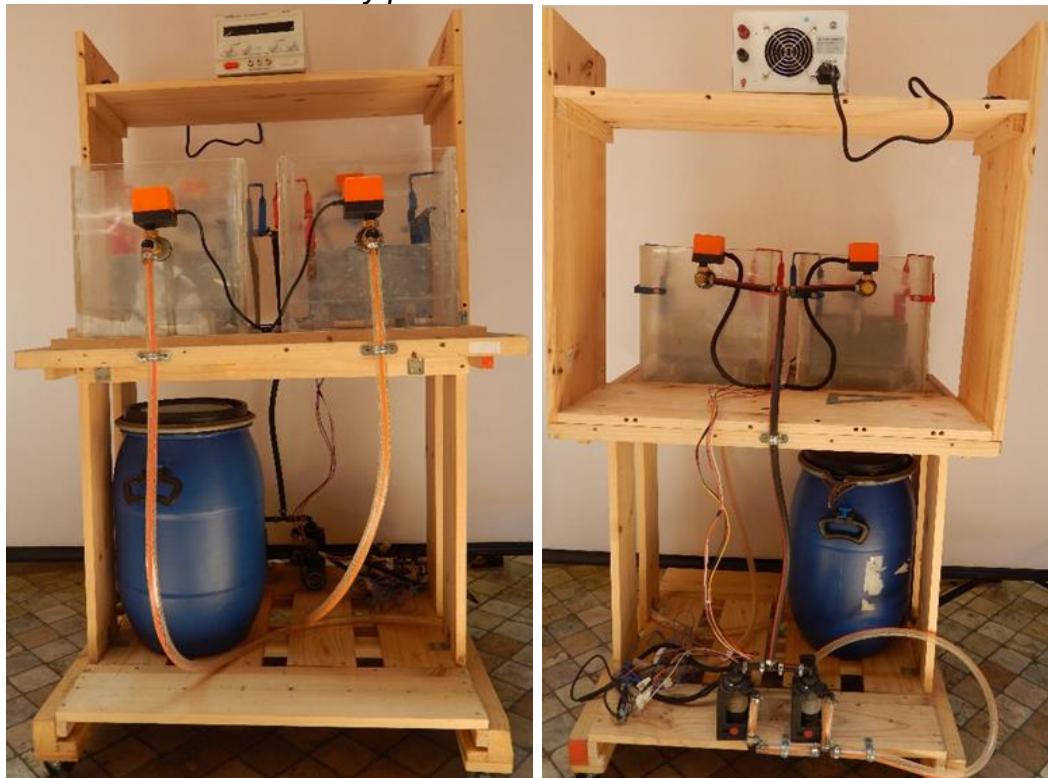
*Muestran las celdas con sus electroválvulas montadas*



Las figuras 4.22 y 4.23 muestran respectivamente, la vista frontal y la vista posterior respectivamente, aun falta completar las instalaciones del suministro eléctrico, es decir las cajas de actuadores, temporizadores, transformadores, etc, que se mostraran mas adelante.

**Figuras 4.22 y 4.23**

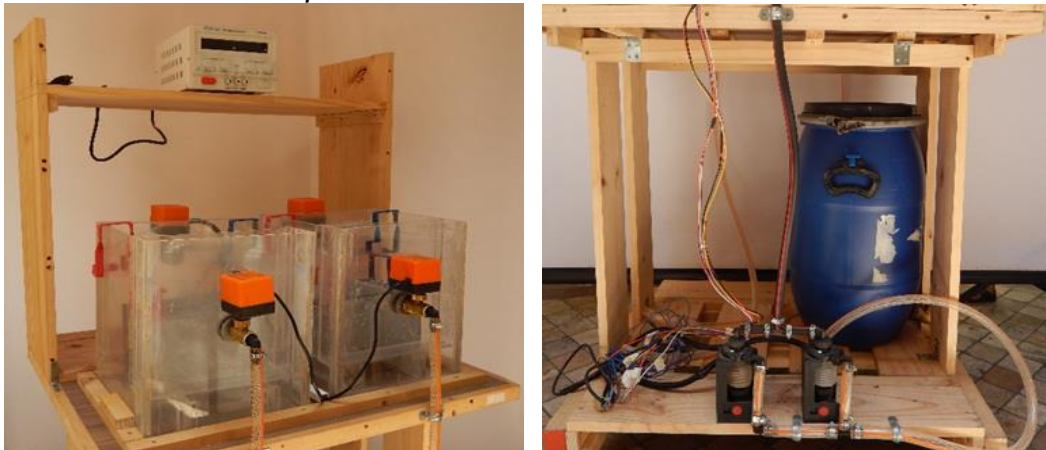
*Muestran las vista frontal y posterior del STSEC*



Las figuras 4.24 y 4.25 muestran la parte superior e inferior del STSEC, ya con los otros componentes para su funcionamiento, propiamente la nueva fuente de energía y las dos celdas de electrocoagulación, se puede observar (figura 4.24) que las válvulas solenoides para la salida del efluente tratado se bajaron al nivel superior de las placas de aluminio. Por otro lado, en la figura 4.25, se muestra en la parte inferior el tanque de almacenamiento provisional y las dos electrobombas (de fuelle) para el efluente crudo que permita elevar el mismo hacia las celdas.

**Figuras 4.24 y 4. 25**

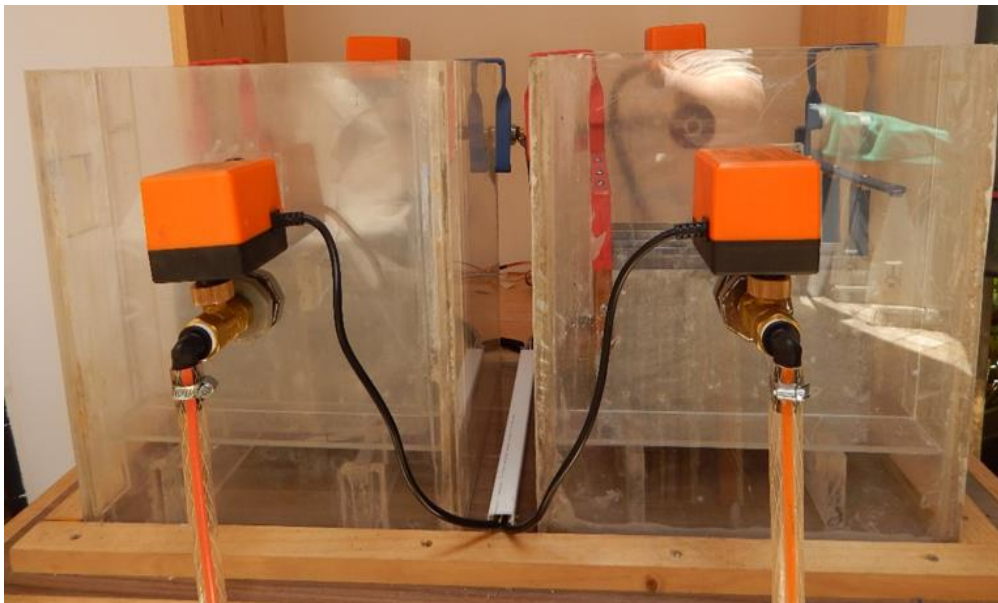
*Muestran las Vista superior e inferior del STSEC*



La figura 4.26 muestra con mayor detalle ambas celdas, caso de las valvulas de solenoide, ubicandose en la parte posterior las de ingreso y en la parte frontal las de salida del efluente tratado.

**Figura 4.26**

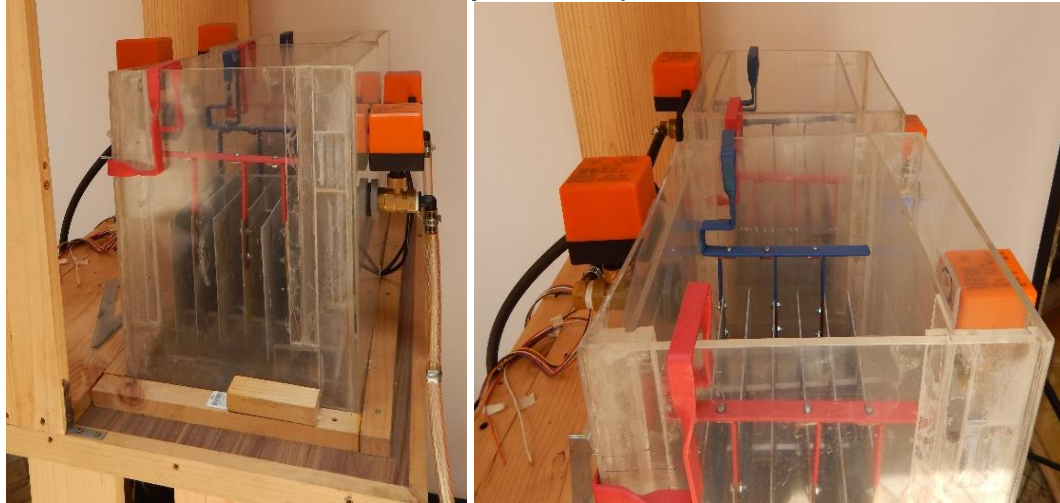
*Vista de las celdas del STSEC*



*of: Bae*

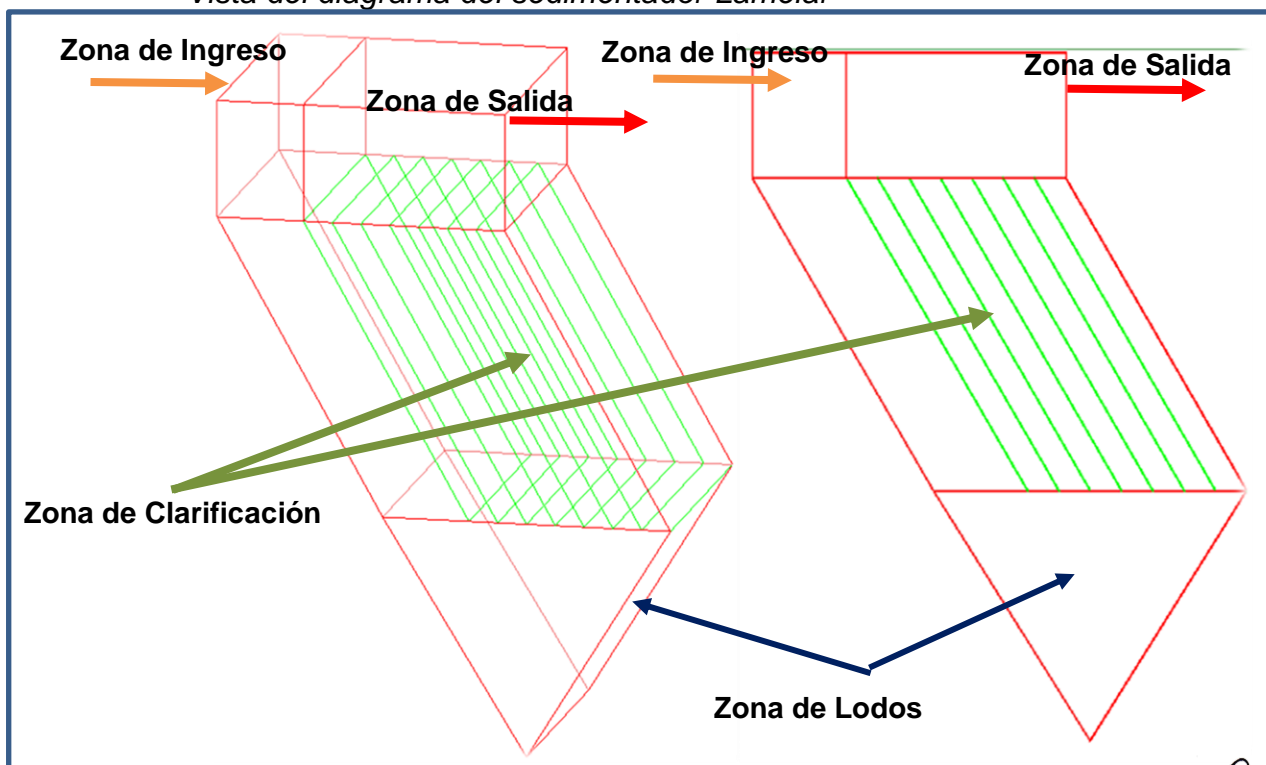
Las figuras 4.27 y 4.28, respectivamente, permite apreciar la vista lateral de las celdas del electrocoagulador mostrando el nivel las electrovalvulas de solenoide y las placas de aluminio.

**Figuras 4.27 y 4.28** Vista lateral y Vista de planta de las Celdas



Con el fin de completar el prototipo del STSEC y lograr el tiempo de sedimentación de 30 minutos, se diseñó y construyó un sedimentador del tipo lamelar para instalarse a las salidas de las celdas del electrocoagulador, ver figura 4.29 que muestra una vista del diseño del Sedimentador Lamelar.

**Figura 4.29**  
Vista del diagrama del sedimentador Lamelar



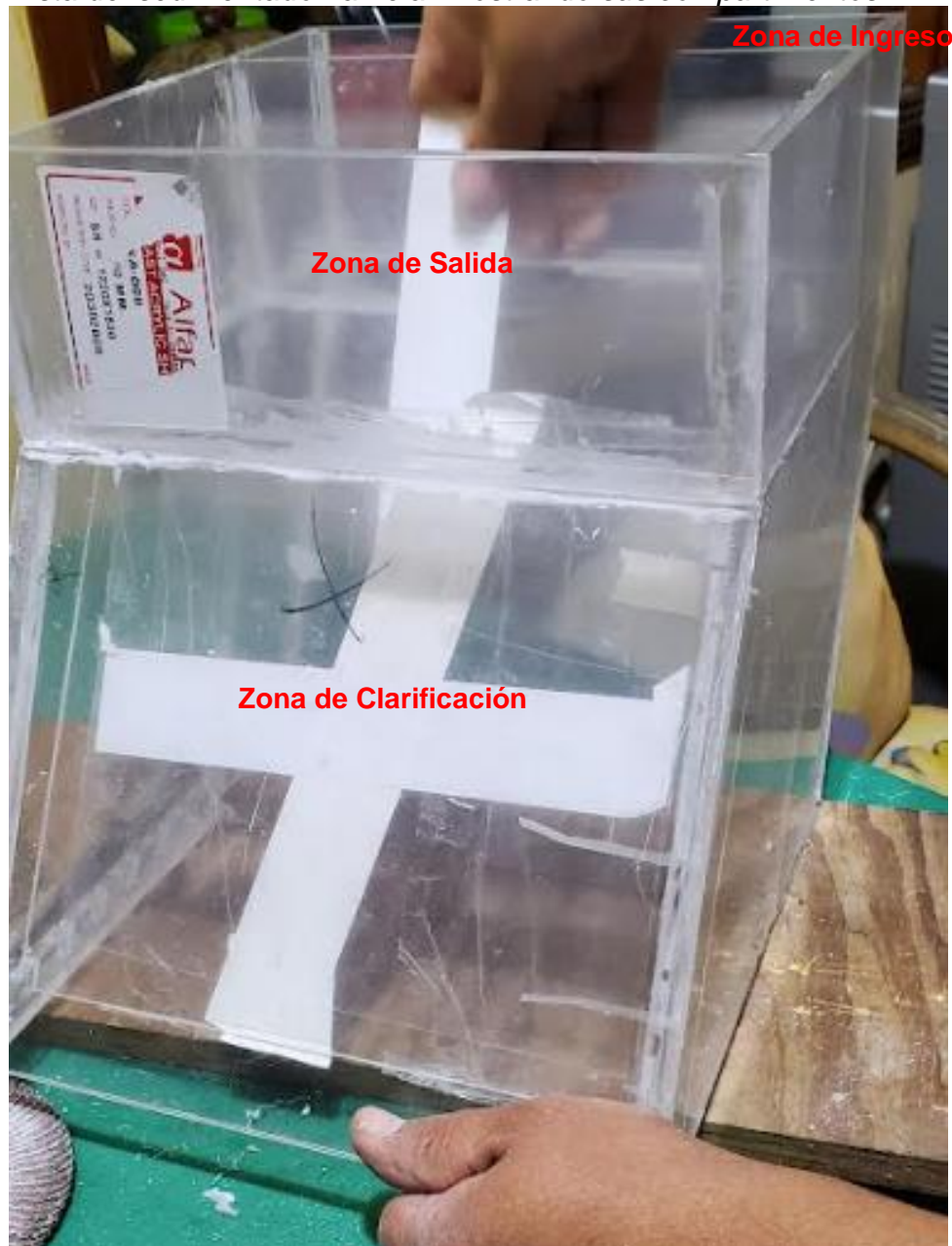
*of: Bao*



Luego de adquirir la plancha de acrílico (6 mm de espesor), se contrató el servicio de corte por láser y se inició la construcción del sedimentador lamelar, durante la etapa de construcción del sedimentador, decidimos modificar la zona de lodos, de modo que la poceta para lodos fuera de forma trapezoidal en vez de su forma inicial cónica, con el fin de aumentar el volumen y aumentar el tiempo de retención, y disminuir la velocidad de paso del efluente, evitando el arrastre de lodos, la figura 4.30 nos muestra una vista parcial del sedimentador, durante su construcción, en su posición real, la zona de ingreso y de salida del efluente tratado en la parte superior

**Figura 4.30**

*Vista del sedimentador lamelar mostrando sus compartimentos*



La figura 4.31, muestra la zona de clarificación, conformadas por las placas inclinadas o lamelas, de 2 mm de espesor e inclinadas ( $60^\circ$ ).

**Figura 4.31**

*Vista del sedimentador en etapa de construcción*



La figura 4.32, muestra una vista del sedimentador, prácticamente terminado, se aprecia la zona de entrada y salida, la zona de clarificación, constituidas de las placas inclinadas ( $60^\circ$ ) o lamelas del sedimentador, finalmente la zona de concentración de lodos, falta el pulido y acabados.

**Figura 4.32**

*Otra vista del sedimentador lamelar*

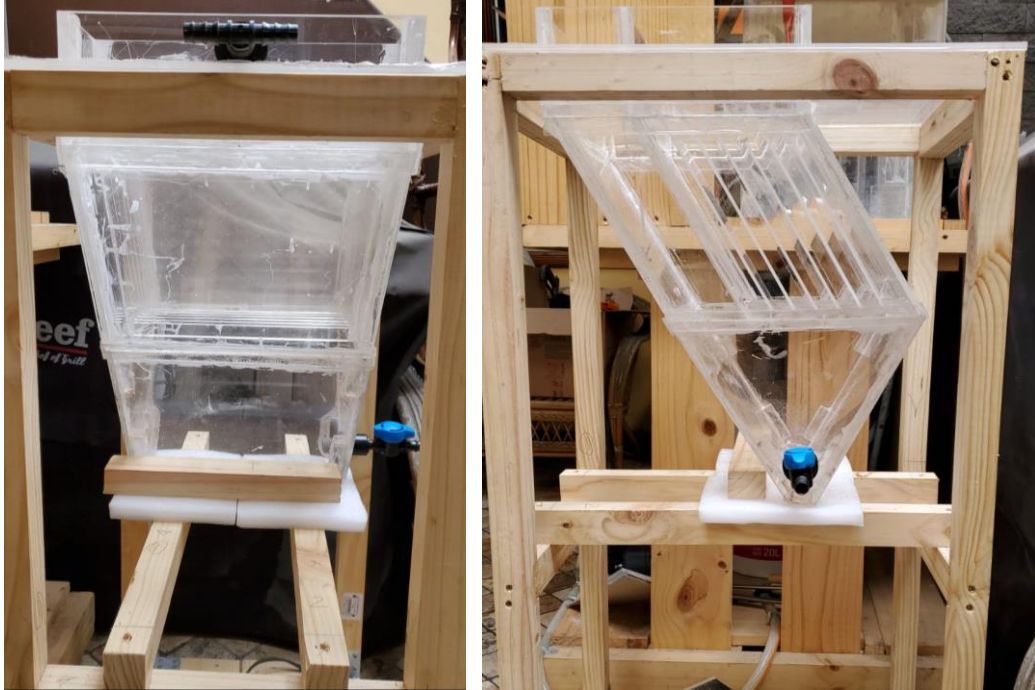




Las figuras 4.33, 4.34, 4.35 y 4.36, nos muestran al sedimentador lamelar terminado y montado sobre la estructura de soporte, con ruedas, para conectarse a la estructura lista del Sistema de tratamiento secuencial por electrocoagulación prácticamente terminado.

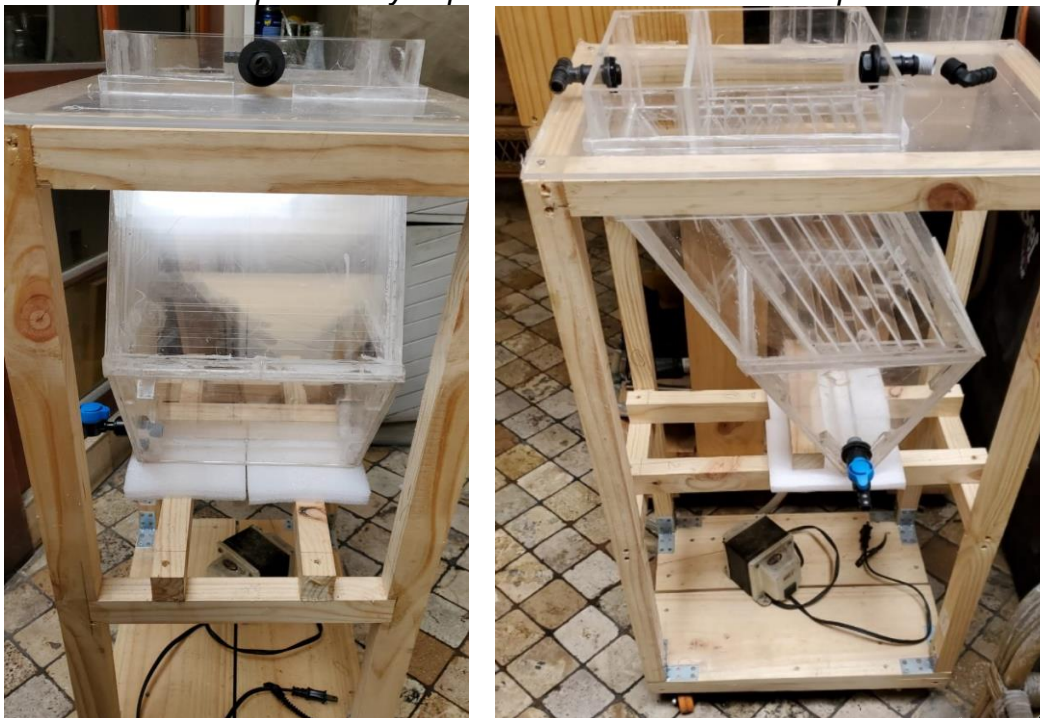
**Figuras 4.33 y 4.34**

*Muestran las vistas Frontal y de Perfil del sedimentador respectivamente*



**Figuras 4.35 y 4.36**

*Muestran la vista posterior y superior del sedimentador respectivamente*





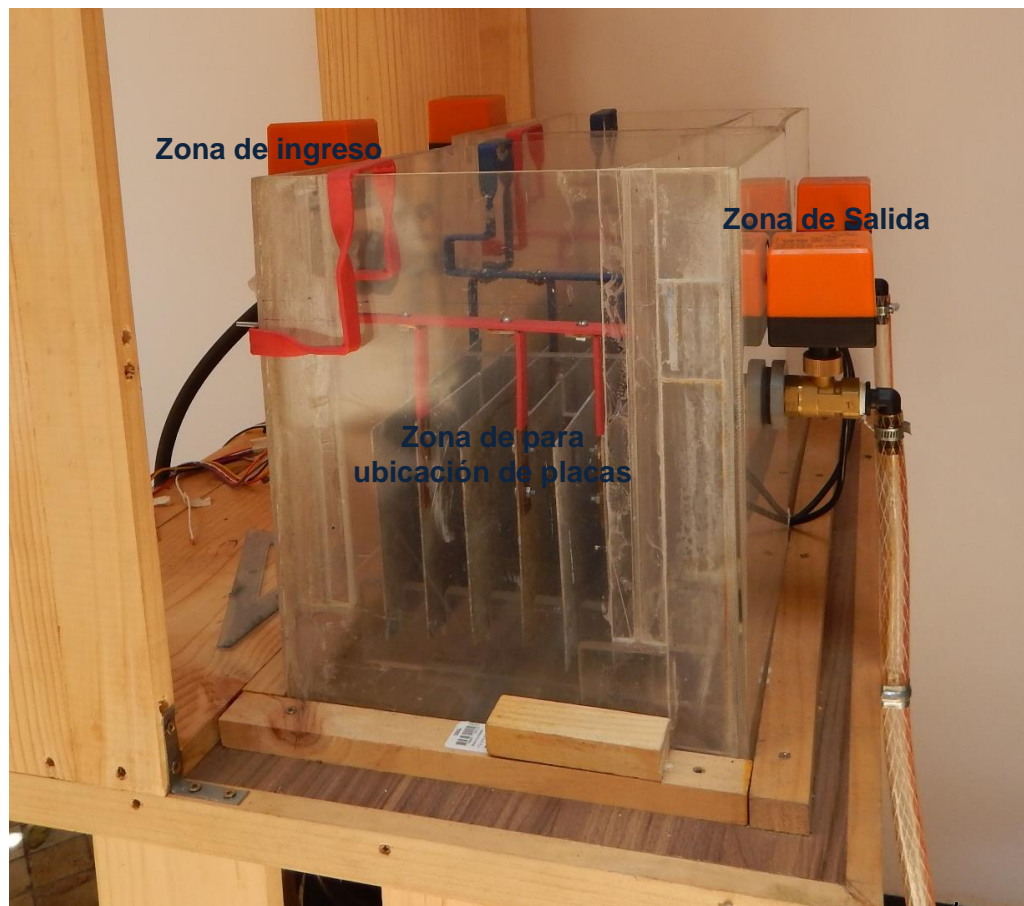
**4.2.3. Selección del material de los electrodos, número y dimensiones.** - Los electrodos se diseñaron a partir de placas de aluminio, del tipo comercial, que se encuentra disponible como láminas de forma rectangular, cuyas medidas fueron las siguientes:

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

Se adoptó una separación entre cada placa o electrodos de 3.5 cm (en esta celda se dispone solo de 6 electrodos, es decir 3 ánodos y 3 cátodos, de 3 mm de espesor colocados paralelamente), como se aprecia en la figura 4.37 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 3 cm.

**Figura 4.37**

*Vista lateral del prototipo del Sistema de Tratamiento Secuencial de Electrocoagulación.*

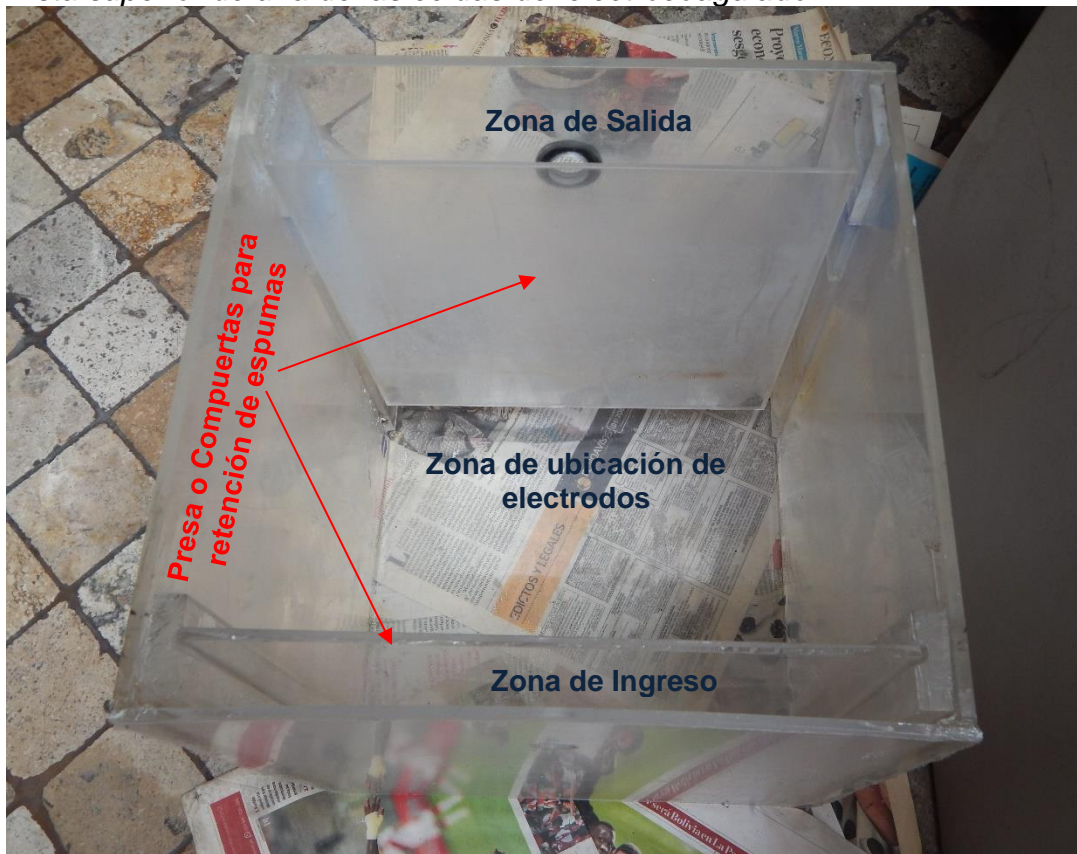


*of Bar*<sup>09</sup>

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 y 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 de 3 cm a 5 cm de la entrada y salida respectivamente, por lo que el largo de la celda donde ubicamos las placas es de 20 cm (en el sentido del flujo horizontal), ver figura 4.38

**Figura 4.38**

*Vista superior de una de las celdas del electrocoagulador.*



**4.2.4. Fuente de poder.** - Debido a que la fuente con la que trabajamos la primera parte del Proyecto, sufrió un desperfecto, al haber sido manipulada cuando esta se hallaba ubicada en la universidad (parque temático, lugar donde desarrolláramos la primera parte del proyecto), la misma que se muestra en la figura 4.39 y que 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, 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), habiendo trabajado para una celda con 12 placas, al estar cruzada la fuente, además que como resolvimos efectuar las pruebas en mi domicilio no era posible trabajar con un alto amperaje de más de 40 Amperios, en consecuencia, resolvimos adquirir otra fuente.

**Figura 4.39.**

*Se observa la celda del electrocoagulador y la fuente de poder*



**Nota:** Celda y fuente del electrocoagulador, con el cual el suscrito trabajo la primera parte del proyecto

De modo que se resolvió en adquirir dos nuevas fuentes, pero bajo un diseño electrónico, lo que resulto de mucho menor peso 5.5 kg, cada una, (la fuente malograda pesaba cerca de 28 kg), buscando en el mercado, se encontró de importación fuente de la marca Twintex, modelo TP50-30S, ver figuras 4.40 y 4.41, fuente de alimentación de Corriente Continua con conmutación, con las siguientes características:

- Ingreso de carga 220 V,
- Frecuencia 50/60 Hz
- Variación de Voltaje: de 0 a 50 V



- Amperaje: de 0 a 30 A
- Potencia: 1500 W
- Resolucionen pantalla: +/- 100mV y 10 mA
- Tamaño del chasis: Largo 260mm, Ancho 380 y Altura 160 mm
- Peso: 5.5 kg.

**Figuras 4.40 y 4.41**

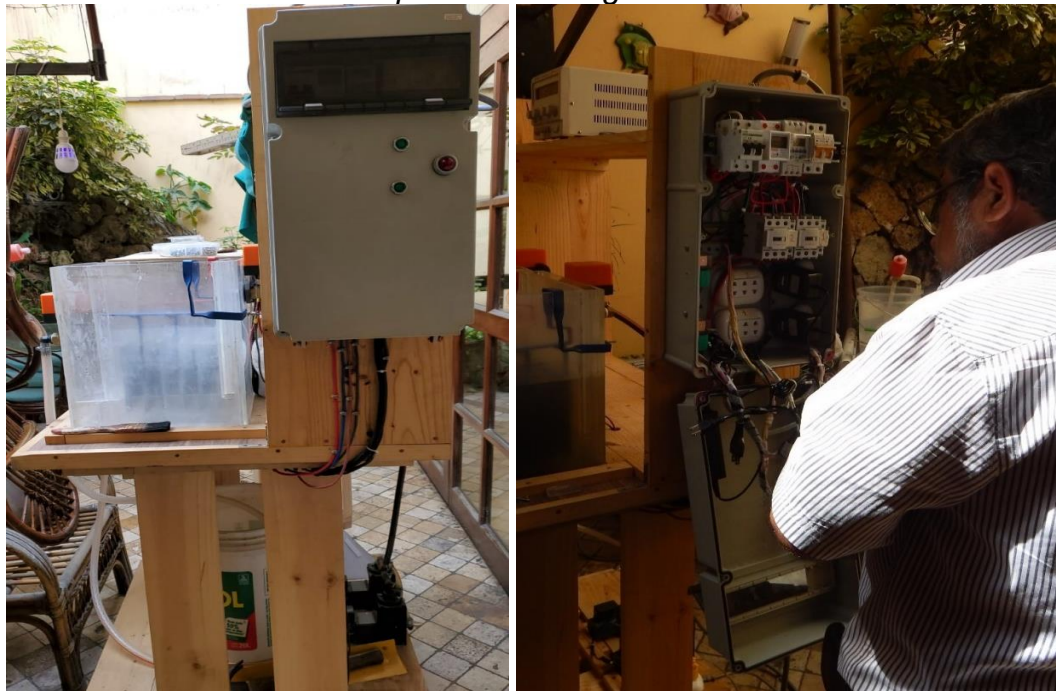
*Muestran la Vista frontal y posterior de la nueva fuente de poder*



**Tablero eléctrico.** - En las figuras 4.42 y 4.43, podemos apreciar, el Tablero Eléctrico y sus componentes, este se halla adosado en la parte lateral derecha del modulo del STSEC.

**Figuras 4.42 y 4.43**

*Muestran el tablero eléctrico cerrado y abierto respectivamente del Sistema de Tratamiento Secuencial por Electrocoagulación.*



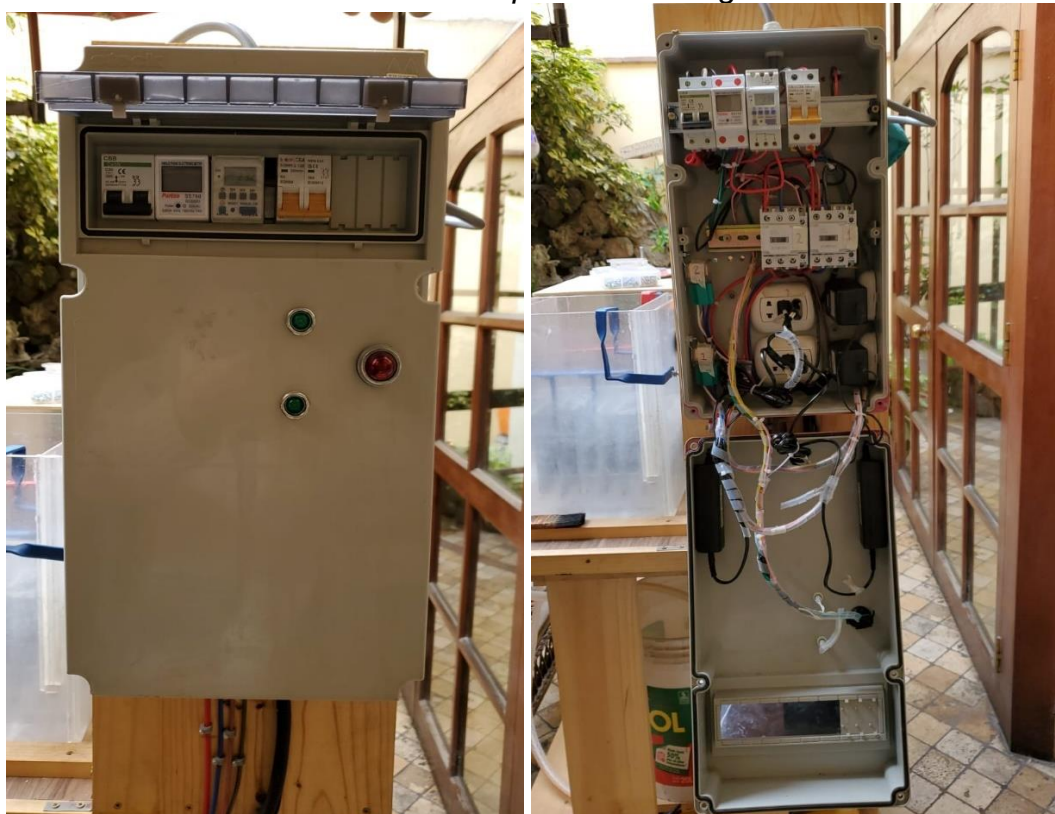
*of: Bar*

El tablero eléctrico, tiene la función de recepcionar la energía eléctrica a través de una extensión a una toma de 220 voltios de corriente alterna y distribuirla hacia los diferentes componentes del STSEC tales como fuente de corriente alterna a corriente continua a bajo voltaje y amperaje, para las placas de aluminio (catodo y anodos) alojadas en cada una de las dos (02) celdas, a los transformadores de 220 a 24 voltios de las valvulas solenoide de entrada y salida de las celdas, para las dos electrobombas de fuelle que conducen el efluente para su tratamiento a cada una de las celdas, el temporizador digital donde programamos la secuencias de operación (tiempos), el medidor digital de consumo de energía eléctrica.

**Componentes del tablero eléctrico.** - en la figura 4.44 se aprecia el tablero cerrado con la ventana para operación directa completamente abierta, en la que apreciamos cuatro componentes de izquierda a derecha (llave térmica, medidor de consumo, temporizador análogo, llave térmica auxiliar), mientras en la figura 4.45, el tablero completamente abierto, donde apreciamos cada uno de sus componentes y conectores.

**Figura 4.44 y 4.45**

*Muestran los detalles del tablero cerrado y abierto respectivamente de Sistema de Tratamiento Secuencial por Electrocoagulación.*



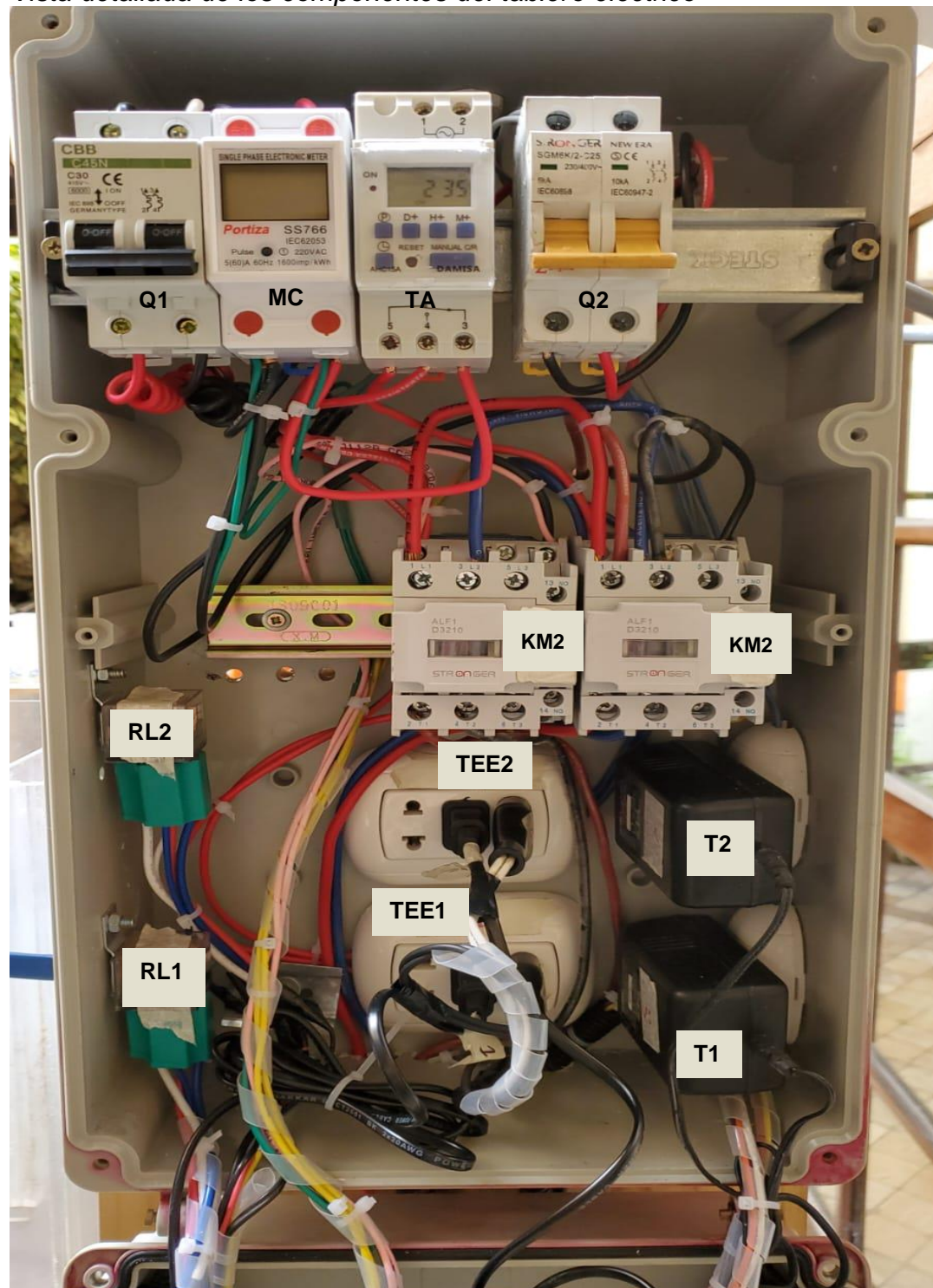
*of: Bae*  
73



La figura 4.46 nos permitirá, indicar cada uno de los componentes a detalle que se incluyen en el tablero eléctrico, así como en la tabla 4.1 se identifican los nombres de cada uno de los componentes con sus correspondientes códigos que se describen en el tablero eléctrico del sistema de electrocoagulación secuencial.

**Figura 4.46**

*Vista detallada de los componentes del tablero eléctrico*



*of:3ac* 7A

**Tabla 4.1***Descripción de cada uno de los componentes del tablero eléctrico*

Ord.	Cod.	Nombre de componente
1	Q1	Llave térmica para 220 Volt y 40 Amp
2	MC	Medidor de consumo eléctrico.
3	TA	Temporizador análogo.
4	Q2	Llave térmica auxiliar
5	K1	Contactador N°1
6	K2	Contactador N°2
7	TEE1	Toma de energía eléctrica de 220 Volt (CA), N°1, para transformador 12 Volt (CC) de válvulas solenoide de Celda 1
8	TEE1	Toma de energía eléctrica de 220 Volt (CA), N°2, para transformador 12 Volt (CC) de válvulas solenoide de celda 2
9	RL1	Relay N°1 (12 Volt), para válvulas solenoides de 12 Volt de la Celda N°1
10	RL2	Relay N°2 (12 Volt), para válvulas solenoides de 12 Volt de la Celda N°2
11	T1	Transformador 220 Volt (CC)/12 Volt (CA), para Válvulas Solenoide de la Celda 1
12	T2	Transformador 220 Volt (CC)/12 Volt (CA), para Válvulas Solenoide de la Celda 2
13	T'1	Transformador 220 Volt (CC)/12 Volt (CA), para Relay N°1 de Válvulas Solenoide de la Celda 1
14	T'2	Transformador 220 Volt (CC)/12 Volt (CA), para Relay N°2 de Válvulas Solenoide de la Celda 2

Se han incluido tres circuitos eléctricos,

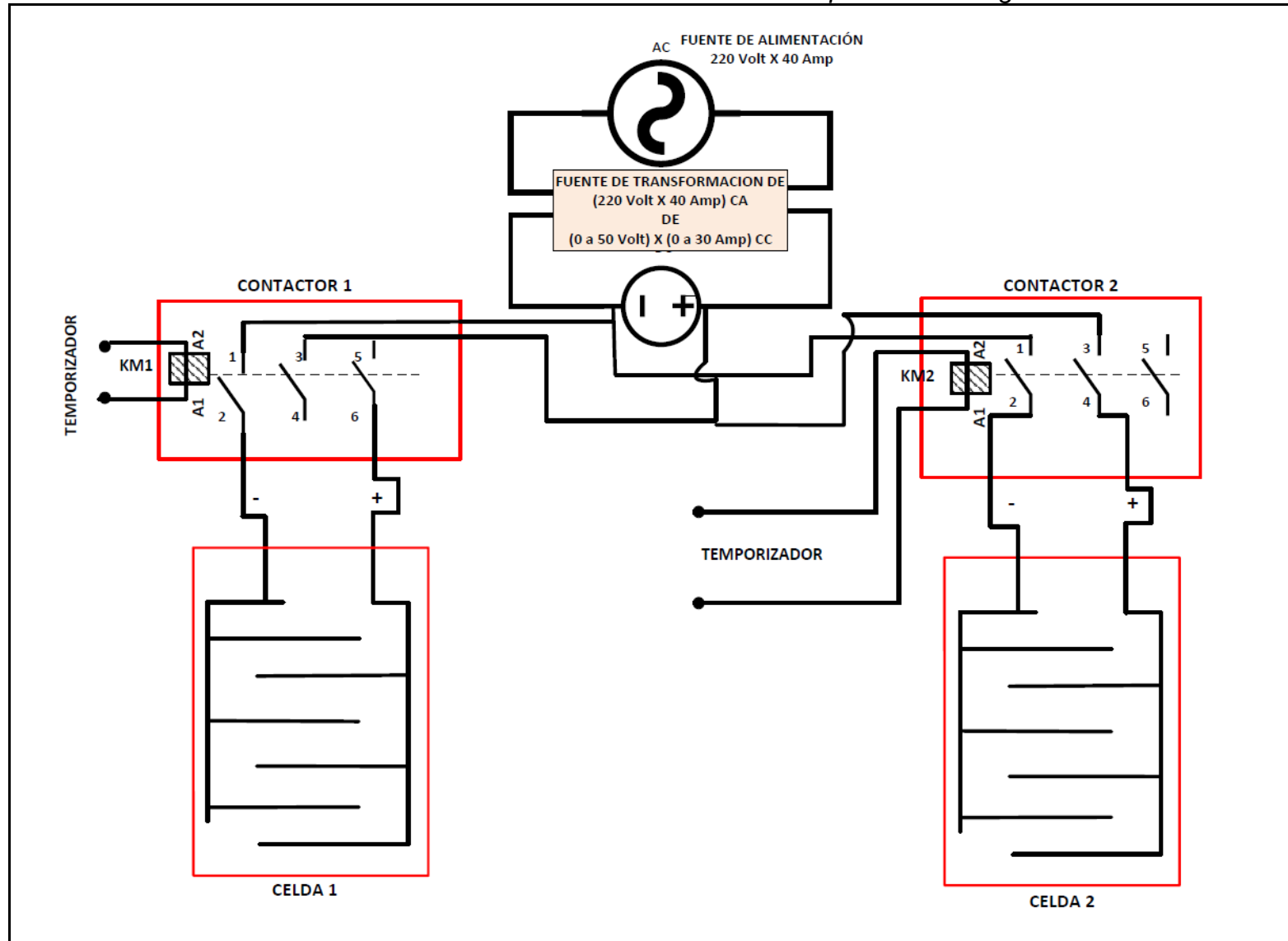
**Circuito 1:** que relaciona la Energía Eléctrica que alimenta a la Fuente de Input (220 Volt – 40 Amp.) Corriente Alterna y Output (50 Volt – 30 Amp.) Corriente Continua, hacia el Contactador 1 de Celda N°1 ó Contactador 2 de Celda N°2, ver figura 4.47.

**Circuito 2:** que relaciona, Fuente de Energía Eléctrica de 12 Volt a Relay Válvulas Solenoide (RS1) o Relay Válvulas Solenoide (RS2), ver figura 4.48.

**Circuito 3:** que Fuente de Energía desde la llave térmica 220 Volt – 40 Amp. Con Reloj Temporizador y Contactador 1 de Electrobomba de diafragma N°1 ó Contactador 2 de Electrobomba de Diafragma N°2, para la alimentación de agua cruda (efluente domestico sin tratar), ver figura 4.49.

**Figura 4.47**

*Circuito 1 del tablero eléctrico del Sistema de Tratamiento Secuencial por Electrocoagulación.*

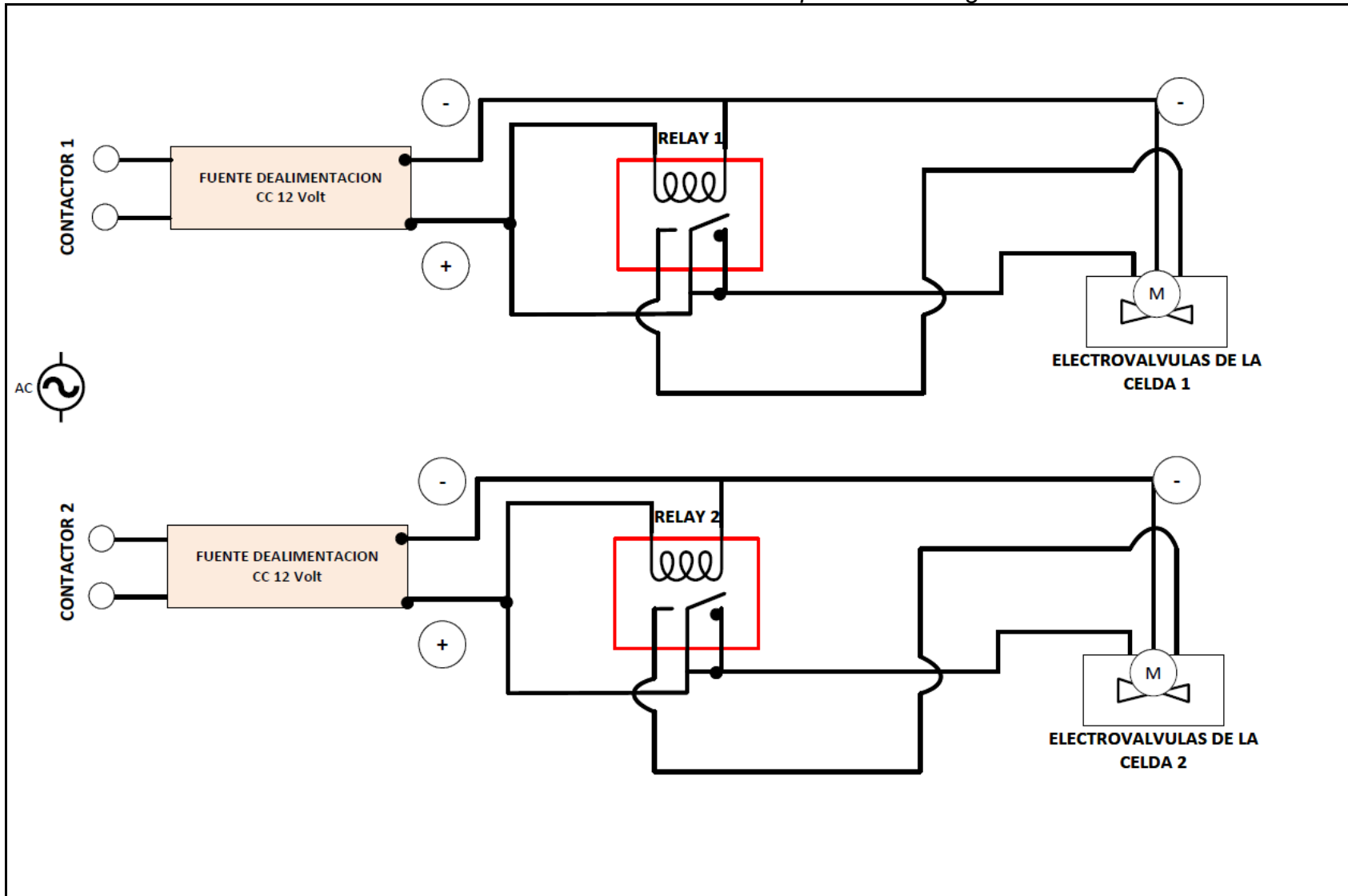


*of: Bao*<sup>76</sup>



**Figura 4.48**

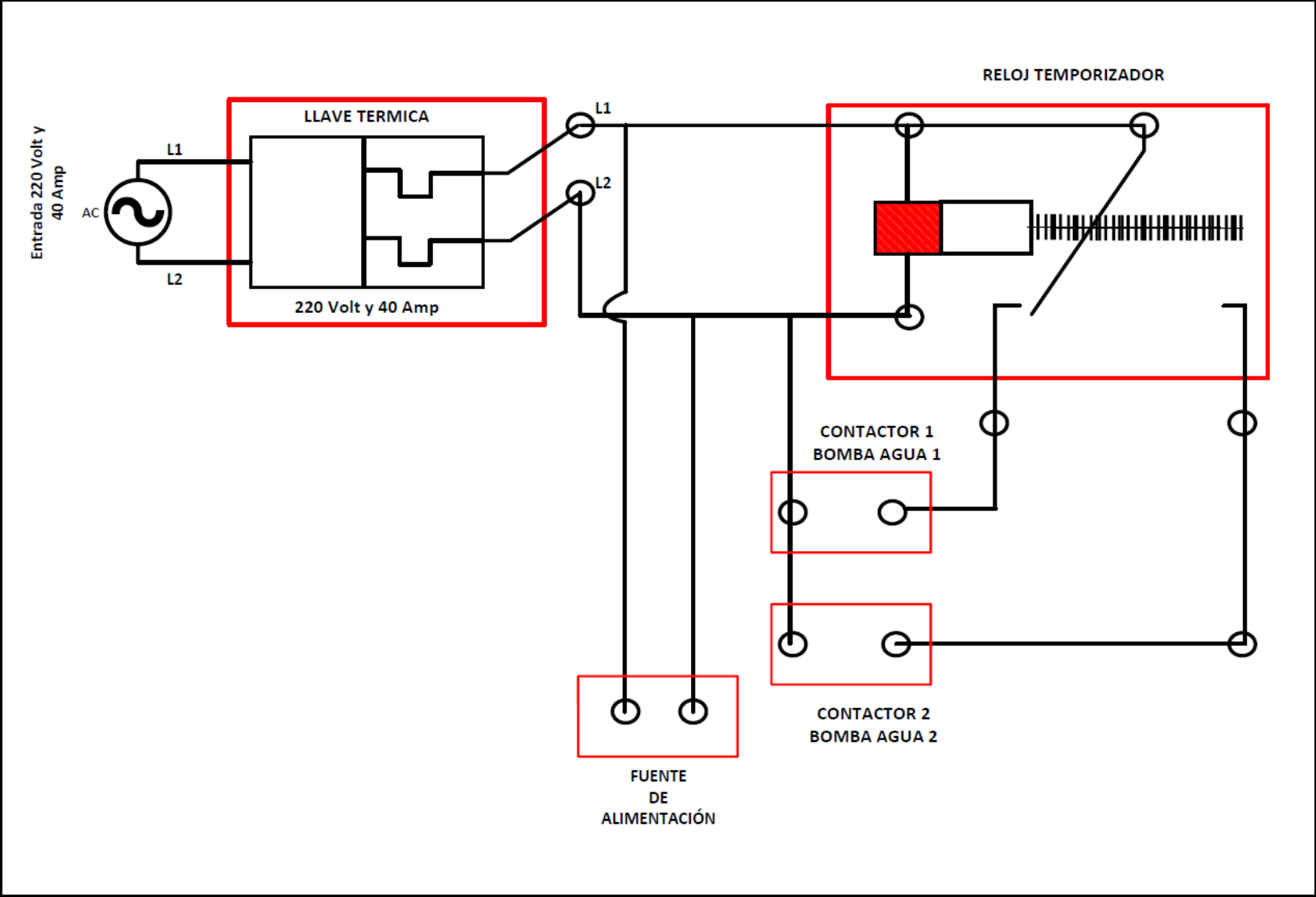
*Circuito 2 del tablero eléctrico de Sistema de Tratamiento Secuencial por Electrocoagulación.*



*of: Bao*  
77

**Figura 4.49**

*Circuito 3 del tablero eléctrico del Sistema de Tratamiento Secuencial por Electrocoagulación.*

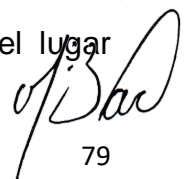


#### 4.3. Población y muestra. –

**La Población** o Universo (**N**) del presente trabajo de investigación, son los efluentes domésticos generados en las viviendas, para el caso específico de la presente investigación como lo explicáramos previamente, que debido a la situación de emergencia, por la pandemia del Covid 19, los efluentes tratados para su reutilización en el sistema de tratamiento de electrocoagulación, fueron, los generados en mi propia vivienda, los mismos que se muestrearan en forma puntual y compuesta para determinar su caracterización, siguiendo los procedimientos protocolares diseñados para este tipo de muestreo, las técnicas que se utilizaron para evaluar los parámetros Físico – Químicos, Biológicos fueron 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 utilizaron, los sugeridos 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 secuencial por Electrocoagulación, para la etapa de pruebas y de operación fueron preparadas en volumen de aproximadamente 200 litros, para cada prueba las que se realizaron fueron más de 8 pruebas con efluente preparado, durante las pruebas se caracterizó la muestra previas a su tratamiento y después del tratamiento, es decir, fue caracterizada en la entrada como en la salida del sistema de electrocoagulación, en aquellos parámetros según la etapas de pruebas. Por ejemplo: para los parámetros básicos se utilizaron mis equipos de medición de turbiedad, pH y conductividad, mientras para determinar, DBO<sub>5</sub>, DQO, AyG, CT y metales se derivaron al laboratorio **ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L. – ALAB.**

**4.4. Lugar de estudio.-** Se había previsto efectuar la investigación, en el jardín posterior al edificio de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales (FIARN), en la Ciudad Universitaria del Callao, en la que se ubicaría el sistema de tratamiento una vez construido para operarlo en el jardín, ver en Apéndice las Figuras 4.4.1., 4.4.2., que detalla el lugar



inicialmente propuesto para realizar el trabajo de investigación que nos ocupa, tal como desarrollamos el estudio preliminar o la primera parte del proyecto, en que se trabajó con un electrocoagulador como se observa en las figuras 4.4.3 y 4.4.4 que se ubicaron en el lugar inicialmente previsto, y que, sin embargo, toda la investigación se tuvo que realizar en mi domicilio ubicado en Calle La Habana N°255/265 – San Isidro, ver figuras 4.50 y 4.51, obtenida de Google Maps y que señalamos donde se ubica mi domicilio.

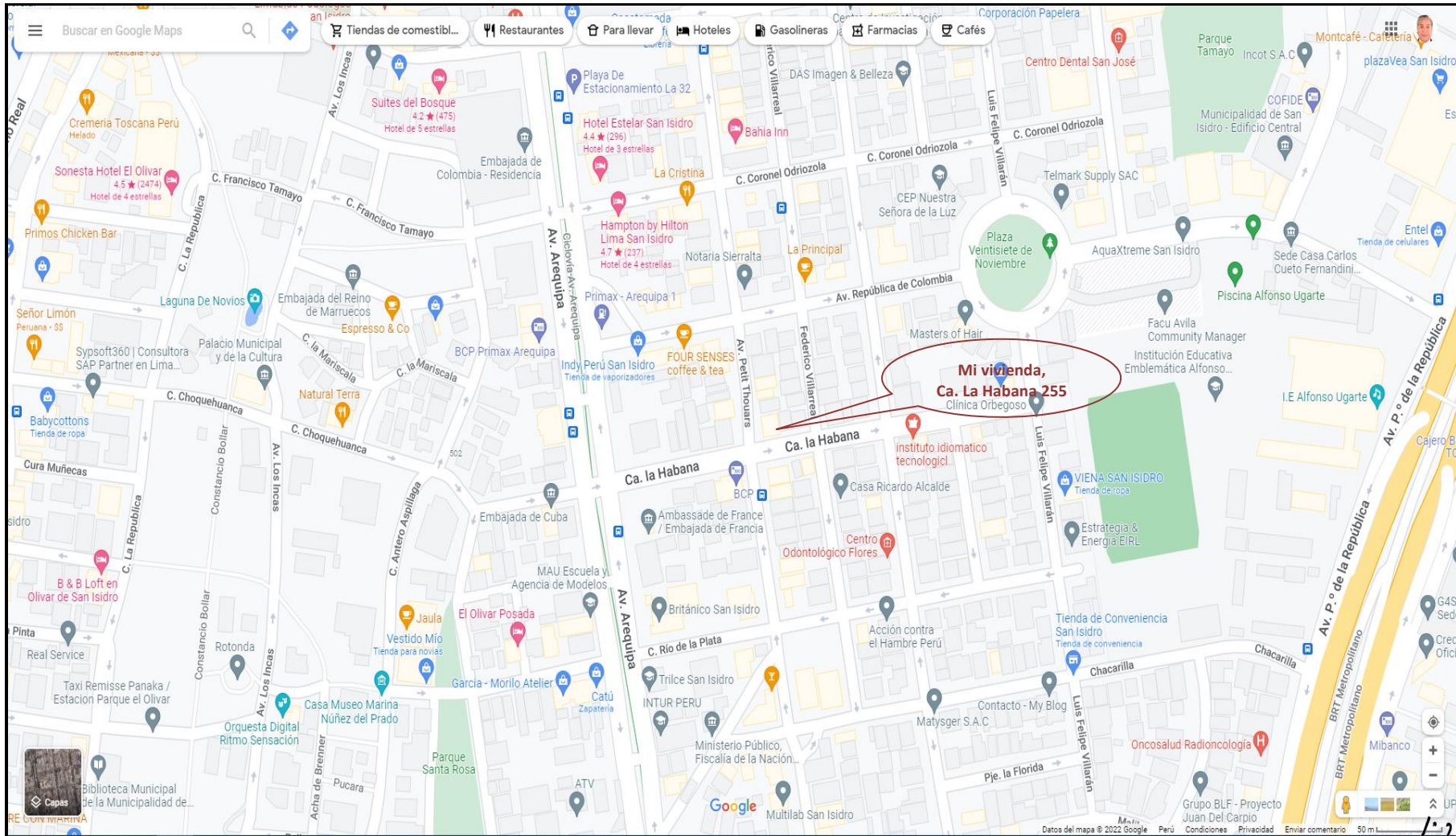
Técnicas e instrumento de recolección de datos. - La toma de muestras del efluente a la entrada y salida del sistema de tratamiento por electrocoagulación se realizaron con instrumentos de medición in situ y según el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales aprobados por la Resolución Jefatural N° 010-2016 ANA, para la toma de muestras de los parámetros (DBO<sub>5</sub>, DQO, AyG y CT). La recopilación de datos (parámetros a analizar) se realizaron con instrumentos de medición tal como se muestra en las tablas 4.2. y 4.3.

**4.5. Análisis y procedimientos de datos.** - Los resultados obtenidos durante las pruebas de operación del Sistema de Tratamiento Secuencial por Electrocoagulación se tabularon y se aplicaron las técnicas estadísticas inductivas que permitió obtener conclusiones a partir del uso del Software Estadístico SPSS Statistics versión 25 para determinar el análisis descriptivo, las curvas de tendencias para cada parámetro evaluado en cada una de sus observaciones y el inferencial lo que se muestra en el Capítulo V Resultados.



**Figura 4.50**

*Plano de ubicación de la vivienda donde se realizó la investigación*

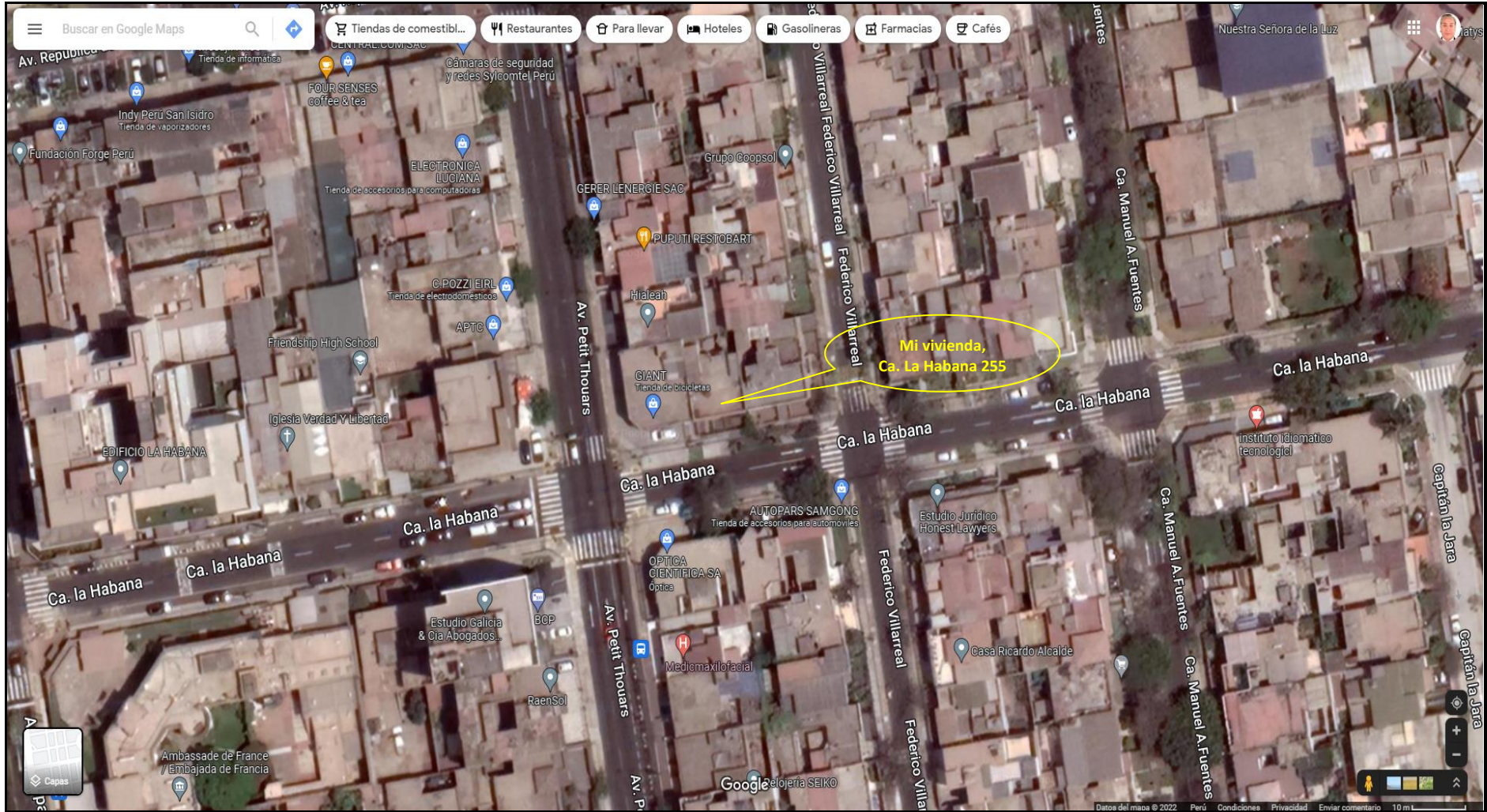


*of Bar*



**Figura 4.51**

*Plano Google de detalles donde se realizó la investigación*



*Op: Bao*  
82


**Tabla 4.2***Requisitos para la toma de muestra y preservación*

<b>Parámetro</b>	<b>Recipiente</b>	<b>Volumen</b>	<b>Conservar /Preservar</b>	<b>Tiempo de almacenamiento</b>	<b>Instrumento de medición</b>
<b>Turbidez</b>	Plástico (P)	100 ml	4 C°, guardar en la oscuridad	Máximo 24 horas	Turbidímetro
<b>pH</b>	Plástico (P)	100 ml	---	Análisis Inmediato	pH-metro/ multiparámetro
<b>Conductividad eléctrica</b>	Plástico (P)	500 ml	Refrigerar a 4 C°	Análisis Inmediato	Multiparámetro
<b>Coliformes Termotolerantes</b>	Frasco de vidrio, boca ancha	500 ml	Refrigerar a >10°C	24 horas	laboratorio
<b>Aceites y Grasas</b>	Vidrio Ámbar de boca ancha	1000 mL	Refrigerar a 4°C, agregar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> pH<2	28 días	laboratorio
<b>Demanda Química de Oxígeno</b>	Plástico	200ml	Refrigerar a 4°C, agregar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> pH<2	28 días	laboratorio
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno</b>	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 4.3***Métodos normalizados y equipos para el monitoreo*

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

**Fuente:** Methods for the examination of water and wastewater 24 edition 2005-APHA-AWWA-  
84



## V. RESULTADOS

Los resultados que se muestran, en este Informe Final de Investigación se refieren a las obtenidas durante la operación del prototipo del Sistema de Tratamiento Secuencial por Electrocoagulación (STSEC), con el fin de demostrar la Hipótesis de trabajo, pero debemos de precisar que previamente se realizaron pruebas que nos permitió conocer el comportamiento de la Fuente de Energía de la marca Twintex, modelo TP50-30S, (fuente de alimentación de Corriente Continua con conmutación, para variar el Voltaje (hasta 50 Voltios) y el Amperaje (hasta 30 Amp), estas pruebas preliminares se realizaron en una celda con dos electrodos de aluminio para 3 litros, las segundas pruebas se realizaron en las celdas originales (seis placas de aluminio, tres catodos y tres anodos) del nuevo sistema pero solo con el 50% del volumen de su capacidad es decir 7.5 litros, y en modo batch, no teniedo ningun problema en su operación, posteriormente, se programaron otra corrida de pruebas, con el fin de determinar los parámetros de operación del STSEC, que permitan la demostración de la Hipótesis, se programaron cuatro rutinas de operación, en las que se variaron, el Voltaje y el Amperaje, de alimentación para la celda de EC, se utilizó muestra de efluente domestico con Turbiedad de 110 NTU y pH de 7.2 unidades y tiempo de aplicación de energía a las celdas, se eligió el periodo 15 minutos, tiempo que corresponde al de llenado de la celda (15 L) con las electrobombas ubicadas en el sistema, siendo el caudal de las electrobombas de 1,00 L/min.), obteniendo resultados muy satisfactorio, conocido el comportamiento del Prototipo STSC, programamos la operación del sistema, se realizaron luego otras cinco pruebas para obtener los resultados que demostramos mas adelante.

**5.1. Características del efluente preparado.** – el efluente para el tratamiento fue previamente preparado, en la que se utilizaron aguas grises, provenientes de cocinas, baños y lavanderías, así como lo concerniente a la limpieza de pisos, así mismo se agregaron excretas de aves y cuyes las cuales se disolvieron previamente, logrando obtener un efluente con las características que se muestran en la tabla 5.1 denominada Características del Agua Domestica Preparada.



**Tabla 5.1**  
*Características del Agua Domestica preparada*

Parámetro	Unidad	L.D.M.	L.C.M.	Valor
Turbiedad (*)	NTU	1	200	145
pH (*)	Unidades	1	14	7,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg/L	0,4	2,0	259,10
Demanda Química de Oxígeno (*)	mg/L	2,0	5,0	513,00
Aceites y Grasas (*)	mg/L	0,3	0,5	40,50
Solidos Suspendidos Totales (*)	mg/L	2,0	5,0	244,30
Coliformes Totales (*)	NMP/100mL	N.A.	1,8	540 x 10 <sup>6</sup>
Aluminio (2)	mg/L	0,005	0,020	1,108
Plomo (2)	mg/L	0,002	0,006	<0,002
Cobre (2)	mg/L	0,0003	0,0010	0,0628
Bario (2)	mg/L	0,01	0,04	0,0575
Hierro (2)	mg/L	0,001	0,004	1,115
Cadmio (2)	mg/L	0,004	0,010	<0,0001

Nota: (\*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

2 ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

NA: No Aplica

Seguido se muestran las figuras 5.1 y 5.2 de la muestra del efluente del tipo domestico preparado y durante el envasado de cada uno de los depósitos específicos para su envío al laboratorio para los análisis de caracterización del efluente, respectivamente.

### Figuras 5.1 y 5.2

*Vista de balde con la muestra y parte de los envases, durante el muestreo para el traslado al laboratorio, respectivamente.*



*of: Bae*  
86

## 5.2. Pruebas en el Sistema de Tratamiento Secuencial por Electrocoagulación con efluente preparado. -

**5.2.1. Primera prueba en el STSEC.** - Las condiciones del tratamiento, fueron las siguientes: Voltaje 13.40 Volt, Amperaje 5.16 Amp (equivalente a 4.58 mA/cm<sup>2</sup>, durante 15 minutos), tiempo de Sedimentación de 30 minutos, como resultado del tratamiento se obtiene la tabla 5.2.

**Tabla 5.2**

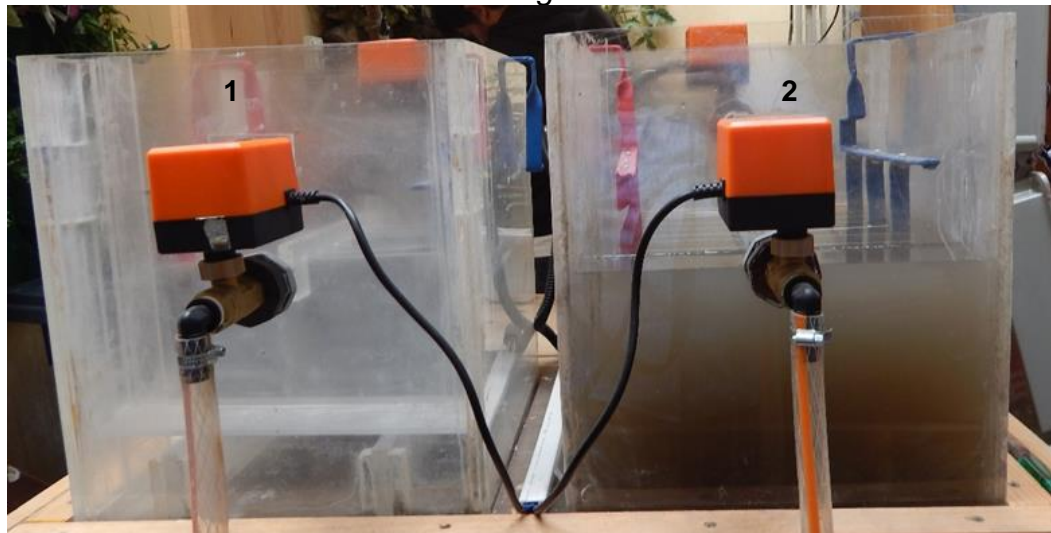
*Características del agua domestica tratada, en la Primera prueba*

Parámetro	Unidad	Valor Inicial	Valor final
Turbiedad (*)	NTU	145	75
pH (*)	Unidades	7,5	7,3
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg/L	259,10	151,8
Demanda Química de Oxígeno (*)	mg/L	513,00	412,7
Aceites y Grasas (*)	mg/L	40,50	3,80
Solidos Suspendidos Totales (*)	mg/L	244,30	150,0
Coliformes Totales (*)	NMP/100mL	540 x 10 <sup>6</sup>	2,4 x 10 <sup>6</sup>
Aluminio (2)	mg/L	1,108	16,125
Plomo (2)	mg/L	<0,002	<0,002
Cobre (2)	mg/L	0,0628	1,1156
Bario (2)	mg/L	0,0575	0,0365
Hierro (2)	mg/L	1,115	0,991
Cadmio (2)	mg/L	<0,0001	<0,0001

La figura 5.3 muestra las celdas 1 y 2 al inicio del tratamiento bajo las condiciones de operación, obsérvese aun la celda 1 se halla aun vacía.

**Figura 5.3**

*Vista de la celda 2 al inicio de la energización en el STSEC.*



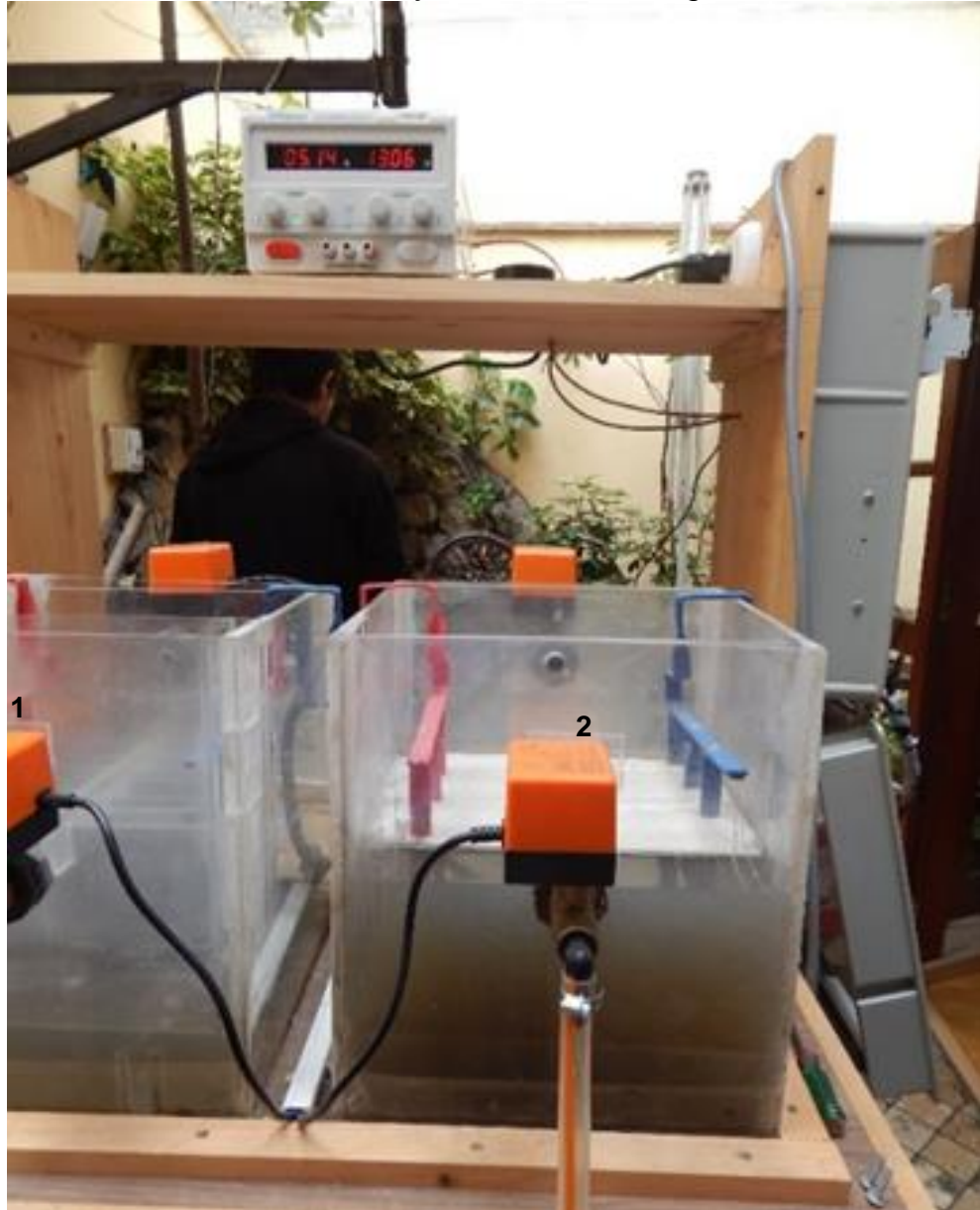
**Nota:** la celda 2 se halla llena con el efluente previo al inicio del tratamiento bajo las condiciones de la primera prueba, mientras la celda 1 empezara su llenado en cuanto se inicie automáticamente la aplicación de energía programada para esta prueba (Celda 2).

*of. 300*

La figura 5.4, muestra la celda 2, ya energizada, se puede apreciar en la fuente el amperaje de 5.14 y el voltaje de 13.06, en proceso de estabilización de acuerdo a lo programado, mientras la celda 1 se halla en etapa de llenado, para hacer el intercambio secuencial.

**Figura 5.4**

*Vista de celda 2 del STSEC, y su fuente de energía*



**5.2.2. Segunda prueba en el STSEC.** - Las condiciones del tratamiento, fueron las siguientes: Voltaje 20.56 Volt, Amperaje 8.46 Amp. (equivalente a  $7.52 \text{ mA/cm}^2$ , durante 15 minutos), tiempo de Sedimentación de 30 minutos, como resultado del tratamiento se obtiene la tabla 5.3.



**Tabla 5.3.**

*Características del agua domestica tratada en la Segunda prueba*

Parámetro	Unidad	Valor Inicial	Valor final
Turbiedad (*)	NTU	145	60
pH (*)	Unidades	7,5	7,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg/L	259,10	117,30
Demanda Química de Oxígeno (*)	mg/L	513,00	262,60
Aceites y Grasas (*)	mg/L	40,50	2,90
Solidos Suspendidos Totales (*)	mg/L	244,30	122,50
Coliformes Totales (*)	NMP/100mL	540 x 10 <sup>6</sup>	0,92 x 10 <sup>6</sup>
Aluminio (2)	mg/L	1,108	14,086
Plomo (2)	mg/L	<0,002	<0,002
Cobre (2)	mg/L	0,0628	0,8436
Bario (2)	mg/L	0,0575	0,0335
Hierro (2)	mg/L	1,115	0,858
Cadmio (2)	mg/L	<0,0001	<0,0001

La figura 5.5, muestra la fuente de energía, marcando el amperaje y voltaje de la prueba 2, y la figura 5.6 muestra la celda 1 al transcurrir 10 minutos de iniciada la energización de la celda.

**Figuras 5.5 y 5.6**

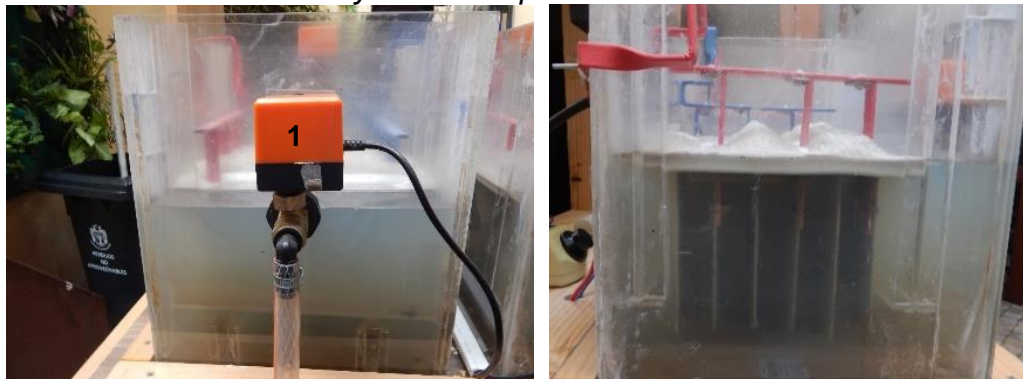
*Se observan la fuente de energía y la celda 1 del STSEC.*



Las figuras 5.7 y 5.8, muestra a la celda 1 del Sistema de ECs a los 30' de sedimentación y lista para extraer la muestra para su análisis, de calidad.

**Figuras 5.7 y 5.8**

*Muestran la vista frontal y lateral respectivamente de la celda 1*



*of: Bae*

**5.2.3. Tercera prueba en el STSEC.** - Las condiciones del tratamiento, fueron las siguientes: Voltaje 25.73 Volt, Amperaje 10.08 Amp. (equivalente a  $8.96 \text{ mA/cm}^2$ , durante 15 minutos), tiempo de Sedimentación de 30 minutos, como resultado del tratamiento se obtiene la tabla 5.4, que muestra la caracterización del efluente tratado bajo las condiciones descritas.

**Tabla 5.4.**  
*Características del agua domestica tratada en la Tercera prueba*

Parámetro	Unidad	Valor Inicial	Valor final
Turbiedad (*)	NTU	145	22.4
pH (*)	Unidades	7,5	7,8
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg/L	259,10	69,30
Demanda Química de Oxígeno (*)	mg/L	513,00	95,7
Aceites y Grasas (*)	mg/L	40,50	1,70
Solidos Suspendidos Totales (*)	mg/L	244,30	98,0
Coliformes Totales (*)	NMP/100mL	$540 \times 10^6$	$16 \times 10^3$
Aluminio (2)	mg/L	1,108	12,117
Plomo (2)	mg/L	<0,002	<0,002
Cobre (2)	mg/L	0,0628	0,6336
Bario (2)	mg/L	0,0575	0,0288
Hierro (2)	mg/L	1,115	0,733
Cadmio (2)	mg/L	<0,0001	<0,0001

Las figuras 5.9 y 5.10 muestran respectivamente la fuente de energía, indicando los valores del aperature y voltaje correspondientes de la prueba 3, y el efecto del efluente tratado bajo las condiciones de energización en la celda 2.

**Figuras 5.9 y 5.10**  
*Se observan la fuente de energía y la celda 2 del STSEC*



*of 30*  
*[Handwritten signature]*

Las figuras 5.11 y 5.12 muestran respectivamente, la celda 2 y el efecto de la energización al transcurrir 10 minutos, se observa abundante espuma sobrenadante, y la interfase en la celda entre la clarificación y la concentración de los flocs, en la figura 5.12 que corresponde a la misma celda por el lado lateral, logrando observar las placas a través de la transparencia del efluente en tratamiento.

**Figuras 5.11 y 5.12**

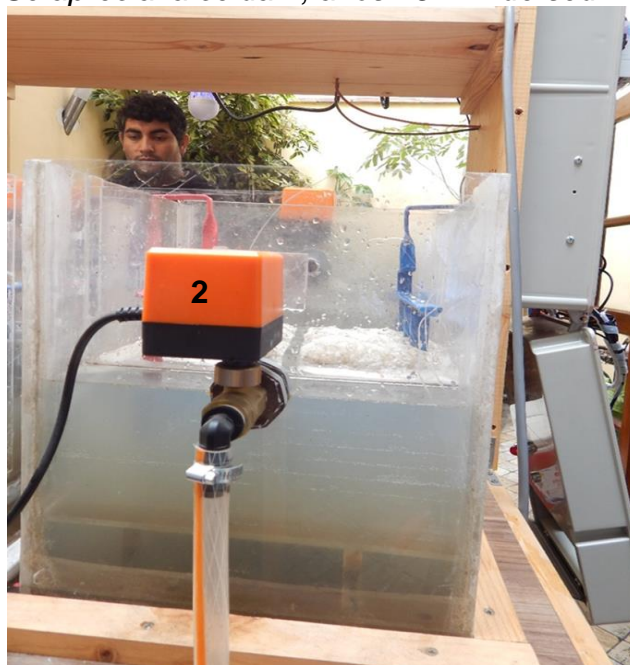
*Muestran las vistas frontal y lateral respectivamente de la celda 2*



La figura 5.13, nos muestra a la celda 2, al cumplirse los 30 minutos de sedimentación, se observa el efluente tratado bastante transparente al reducirse la turbiedad de 145 a 22.4 NTU y demás parámetros.

**Figura 5.13**

*Se aprecia la celda 2, a los 15 min de sed.*





**5.2.4. Cuarta prueba en el STSEC.** - Condiciones, Voltaje 36.21 Volt, Amperaje 15.60 Amp. (equivalente a 13.86 mA/cm<sup>2</sup>, durante 15 minutos), tiempo de Sedimentación de 30 minutos, como resultado del tratamiento se obtiene la tabla 5.5, que muestra la caracterización del efluente tratado bajo las condiciones de la prueba 4.

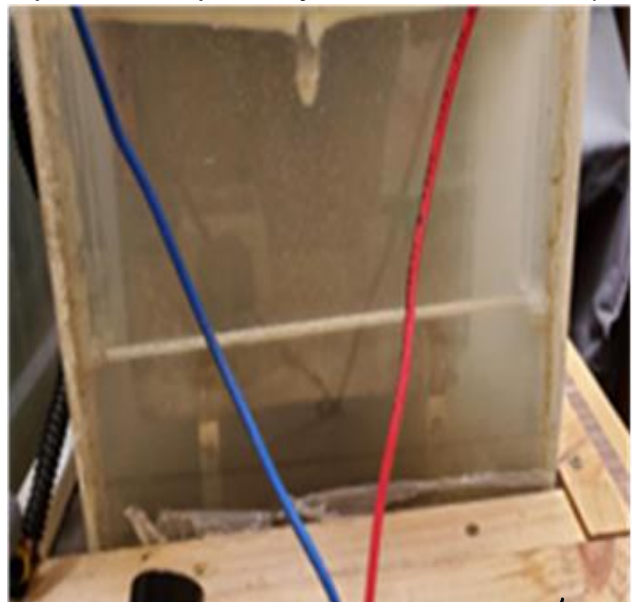
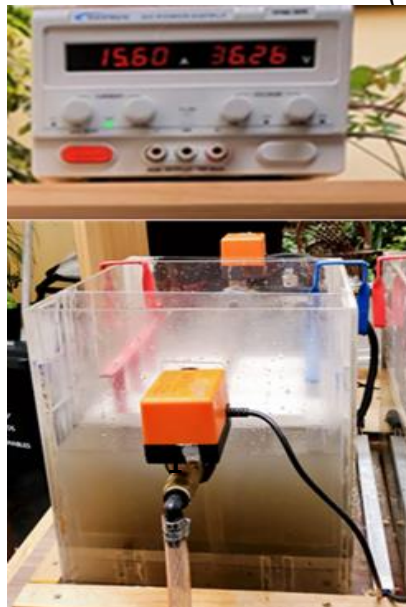
**Tabla 5.5.**  
*Características del agua domestica tratada en la Cuarta prueba*

Parámetro	Unidad	Valor Inicial	Valor final
Turbiedad (*)	NTU	145	13
pH (*)	Unidades	7,5	7,6
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg/L	259,10	19,70
Demanda Química de Oxígeno (*)	mg/L	513,00	62,20
Aceites y Grasas (*)	mg/L	40,50	<0,50
Solidos Suspendidos Totales (*)	NMP/100mL	244,30	35,0
Coliformes Totales (*)	mg/L	540 x 10 <sup>6</sup>	710
Aluminio (2)	mg/L	1,108	8,017
Plomo (2)	mg/L	<0,002	<0,002
Cobre (2)	mg/L	0,0628	0,2035
Bario (2)	mg/L	0,0575	0,0220
Hierro (2)	mg/L	1,115	0,554
Cadmio (2)	mg/L	<0,0001	<0,0001

La figura 5.14, muestra la fuente de energía, registrando los valores de amperaje y voltaje de la prueba 4, aplicados a la celda 1, en la figura 5.15 la celda 1, (vista posterior – ingreso) a los pocos minutos se nota el efecto de coagulación sobre el efluente en tratamiento, se aprecian los flóculos.

**Figuras 5.14 y 5.15**

*Muestran respectivamente el conjunto fuente de energía - celda 1 y un acercamiento de la celda 1(se aprecian las placas y lo floculo formados)*



*Handwritten signature*

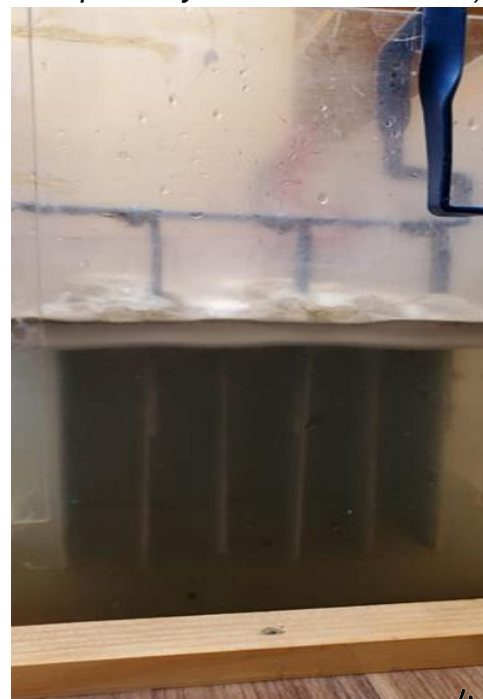
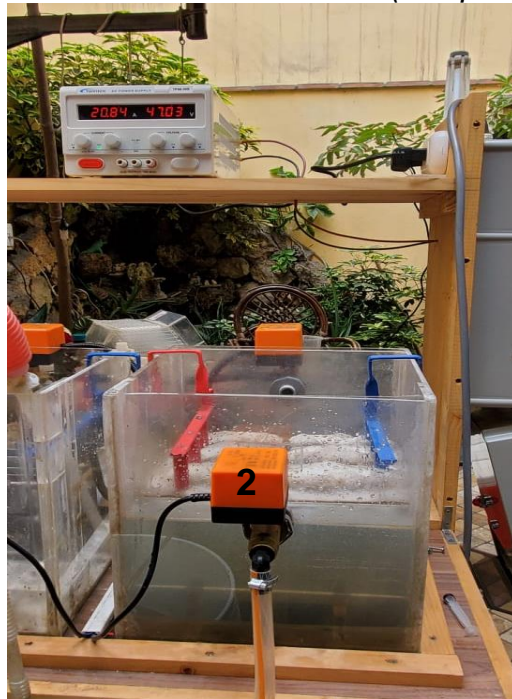
**5.2.5. Quinta prueba en el STSEC.** - Condiciones, Voltaje 47.03 Volt, Amperaje 20.84 Amp. (equivalente a 18.506 mA/cm<sup>2</sup>, durante 15 minutos), tiempo de Sedimentación de 30 minutos, como resultado del tratamiento se obtiene la tabla 5.6, que muestra la caracterización del efluente tratado bajo las condiciones de la prueba 5.

**Tabla 5.6.**  
*Características del agua domestica tratada Quinta prueba*

Parámetro	Unidad	Valor Inicial	Valor final
Turbiedad (*)	NTU	145	10
pH (*)	Unidades	7,5	7,6
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg/L	259,10	14,20
Demanda Química de Oxígeno (*)	mg/L	513,00	35,4
Aceites y Grasas (*)	mg/L	40,50	<0,50
Solidos Suspendidos Totales (*)	mg/L	244,30	25,0
Coliformes Totales (*)	NMP/100mL	540 x 10 <sup>6</sup>	79
Aluminio (2)	mg/L	1,108	4,504
Plomo (2)	mg/L	<0,002	<0,002
Cobre (2)	mg/L	0,0628	0,1169
Bario (2)	mg/L	0,0575	0,0157
Hierro (2)	mg/L	1,115	0,415
Cadmio (2)	mg/L	<0,0001	<0,0001

**Figuras 5.16 y 5.17**

*Muestran respectivamente el conjunto fuente de energía - celda 2 y un acercamiento de la celda 2 (se aprecian las placas y lo floculo formados).*



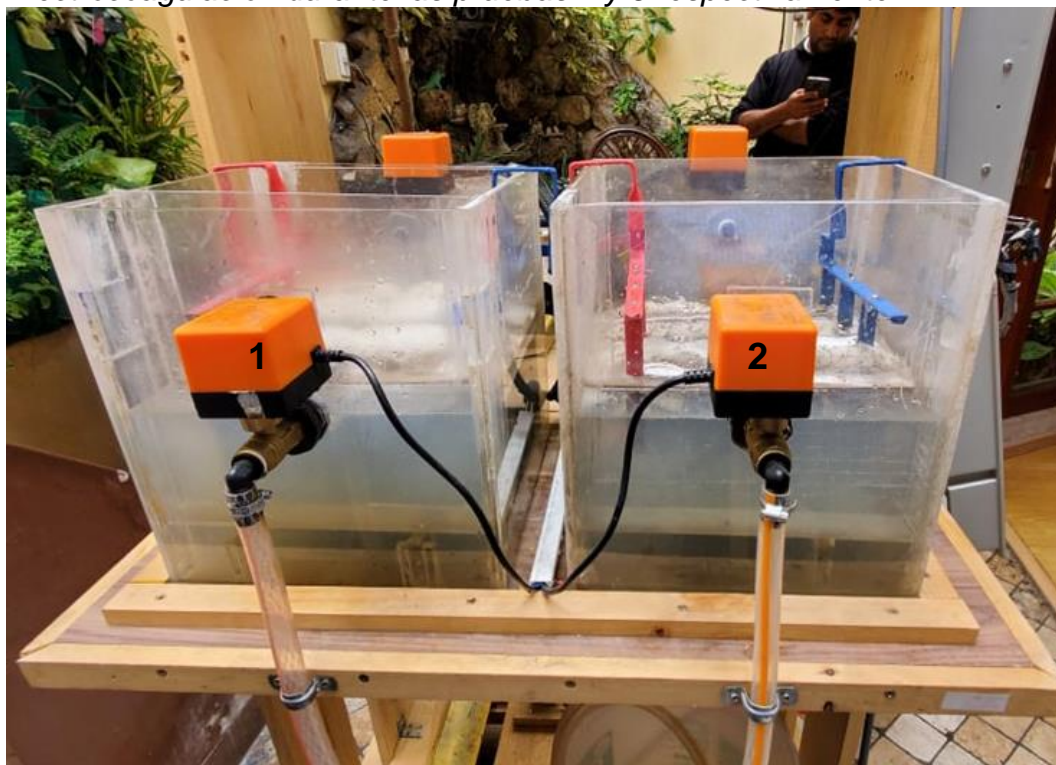
La figura 5.16, muestra la fuente de energía, registrando los valores de amperaje y voltaje de la prueba 5, aplicados a la celda 2, por otro lado, en la figura 5.17 apreciamos por su parte lateral la celda 2, en que se muestran las placas de aluminio, a los pocos minutos el efecto de coagulación sobre el efluente en tratamiento.

En ambas figuras se aprecia la transparencia del efluente tratado en la que se verificara que la muestra alcanzo a los 30 minutos de sedimentación 10 NTU de turbiedad (eficiencia del 93.10 %) y DBO<sub>5</sub> de 14.2 mg/L (eficiencia de 94.5 %).

En la figura 5.18, logramos apreciar a las dos celdas del sistema de electrocoagulación secuencial, la celda 1 al transcurrir los 30 minutos de sedimentación (instantes a la extracción de muestra para su análisis de calidad), mientras la celda 2 aun con cinco minutos de sedimentación.

### **Figura 5.18**

*Muestra las celdas 1 y 2 del Sistema de Tratamiento Secuencial por Electrocoagulación durante las pruebas 4 y 5 respectivamente.*



En la figura 5.19, logramos apreciar a las mismas celdas del sistema de electrocoagulación secuencial, pero del lado posterior de la celda 1 al transcurrir los 30 minutos de sedimentación (instantes a la extracción de muestra para su análisis de calidad, alcanzo una turbiedad residual de 13

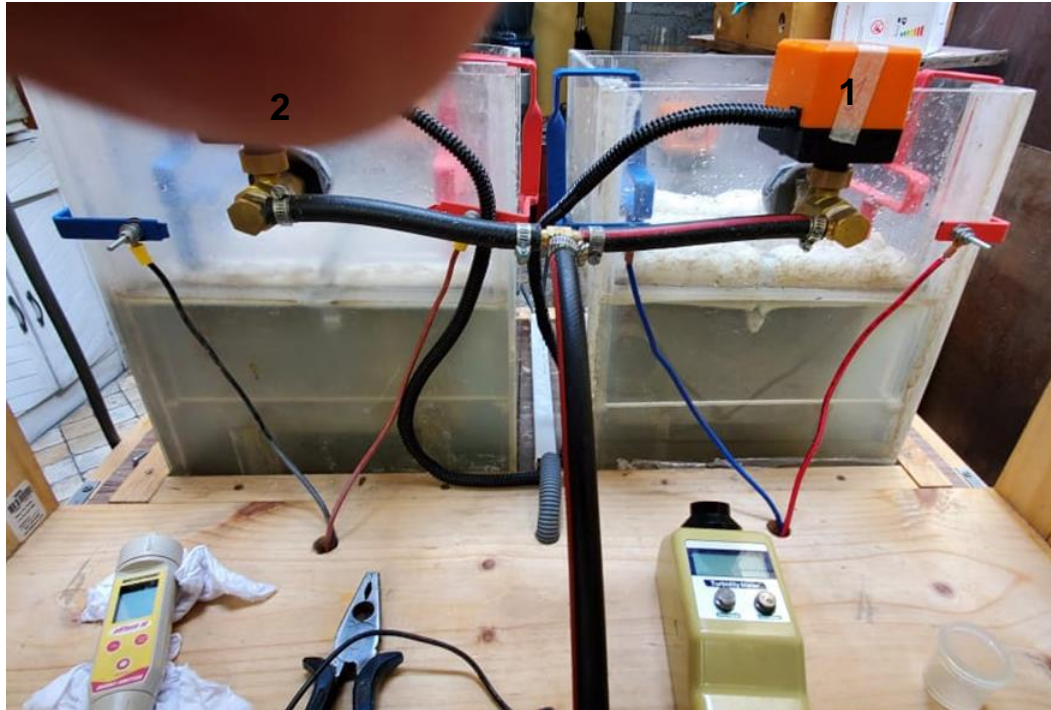
*of: Bae*



NTU, con una eficiencia de 91.03 %), mientras la celda 2 aun con cinco minutos de sedimentación.

**Figura 5.19**

*Se aprecian las celdas 2 y 1 del Sistema de Tratamiento Secuencial por Electrocoagulación, del lado posterior, es decir, por el ingreso del afluente para su tratamiento.*



**Nota:** a los 30 minutos la celda 1 (prueba 4) alcanzo las 13 TNU de turbiedad residual, con una eficiencia del orden del 91.03 %, mientras la celda 2 (prueba 5), alcanzo una turbiedad residual de 10 NTU, con una eficiencia del 93.10 %.

*of:3  
Bac*

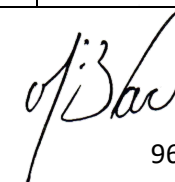
**5.3. Resultados consolidados de las pruebas efectuadas en el STSEC.** – en la tabla 5.7 se presenta el resultado resumen de las cinco pruebas realizadas en el STSEC, mientras la tabla 5.8 y 5.9 se muestran los resultados y el porcentaje de las eficiencias de remoción en función de la densidad de corriente aplicada, respectivamente.

**Tabla 5.7**

*Resultados de las cinco pruebas realizadas en el Sistema de Tratamiento Secuencial de Electrocoagulación*

Parámetro	Unidad	Valores						
		Agua para riego	Inicial	Pruebas				
				Primera	Segunda	Tercera	Cuarta	Quinta
Turbiedad	NTU	NA	145	75	60	22,4	13	10
pH	Unidad	6,5 – 8.5	7,5	7,3	7,5	7,8	7,6	7,6
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	15	259,10	151,8	117,30	69,30	19,70	14,20
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	40	513,00	412,7	262,60	95,7	62,20	35,4
Aceites y Grasas	mg/L	5,0	40,50	3,80	2,90	1,70	<0,50	<0,50
Solidos Suspendidos Totales	mg/L	NA	244,30	150,0	122,50	98,0	35,0	25,0
Coliformes Totales	NMP/100mL	1000	540 x 10 <sup>6</sup>	2,4 x 10 <sup>6</sup>	0,92 x 10 <sup>6</sup>	16 x 10 <sup>3</sup>	710	79
Aluminio (2)	mg/L	5	1,108	16,125	14,086	12,117	8,017	4,504
Plomo (2)	mg/L	0,05	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Cobre (2)	mg/L	0,2	0,0628	1,1156	0,8436	0,6336	0,2035	0,1169
Bario (2)	mg/L	0.7	0,0575	0,0365	0,0335	0,0288	0,0220	0,0157
Hierro (2)	mg/L	5.0	1,115	0,991	0,858	0,733	0,554	0,415
Cadmio (2)	mg/L	0.01	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

Nota: (\*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL – DA; NA: No Aplica

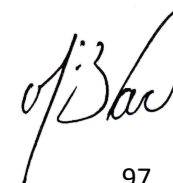


**Tabla 5.8**

Resultados de las cinco pruebas realizadas en el Sistema de Tratamiento Secuencial de Electrocoagulación en función a la densidad de corriente aplicada.

Parámetro	Unidad	Valores						
		Agua para riego	Inicial	Densidad de Corriente (mA/cm <sup>2</sup> )				
				4.58	7.52	8.96	13.86	18.50
Turbiedad	NTU	NA	145	75	60	22,4	13	10
pH	Unidad	6.5 – 8.5	7,5	7,3	7,5	7.8	7,6	7,6
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	15	259,10	151,8	117,30	95,7	62,20	14,20
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	40	513,00	412,7	262,60	1,70	<0,50	35,4
Aceites y Grasas	mg/L	5.0	40,50	3,80	2,90	98,0	35,0	<0,50
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	NA	244,30	150,0	122,50	16 x 10 <sup>3</sup>	710	25,0
Coliformes Totales	NMP/100mL	1000	540 x 10 <sup>6</sup>	2,4 x 10 <sup>6</sup>	0,92 x 10 <sup>6</sup>	12,117	8,017	79
Aluminio (2)	mg/L	5	1,108	16,125	14,086	<0,002	<0,002	4,504
Plomo (2)	mg/L	0.05	<0,002	<0,002	<0,002	0,6336	0,2035	<0,002
Cobre (2)	mg/L	0.2	0,0628	1,1156	0,8436	0,0288	0,0220	0,1169
Bario (2)	mg/L	0.7	0,0575	0,0365	0,0335	0,733	0,554	0,0157
Hierro (2)	mg/L	5.0	1,115	0,991	0,858	<0,0001	<0,0001	0,415
Cadmio (2)	mg/L	0.01	<0,0001	<0,0001	<0,0001	22.4	13	<0,0001

Nota: Densidad de corriente: (Amperaje/superficies de electrodos); NA: No Aplica





**Tabla 5.9**

Resultados de las eficiencias de remoción en cada una de las cinco pruebas realizadas en el sistema de tratamiento Sistema de Tratamiento Secuencial de Electrocoagulación en función a la densidad de corriente aplicada.

Parámetro	Unidad	Valores						
		Agua para riego	Inicial	Densidad de Corriente (mA/cm <sup>2</sup> )				
				4,58	7,52	8,96	13,86	18,50
Turbiedad	NTU	NA	145	48,28	58,62	84,55	91,03	93,10
pH	Unidad	6,5 – 8,5	7,5	7,3	7,5	7,8	7,6	7,6
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	15,00	259,10	41,41	54,73	73,25	92,40	94,52
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	40,00	513,00	19,55	48,81	81,35	87,88	93,10
Aceites y Grasas	mg/L	5,00	40,50	90,62	97,78	95,80	>98,77	>98,77
Solidos Suspendidos Totales	mg/L	NA	244,30	38,60	49,86	59,89	85,67	89,77
Coliformes Totales	NMP/100mL	1000	540 x 10 <sup>6</sup>	99,56	99,83	100,00	100,00	100,00
Aluminio (2)	mg/L	5,00	1,108	-1355,32	-1283,93	-1093,59	-623,55	-306,50
Plomo (2)	mg/L	0,05	<0,002	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Cobre (2)	mg/L	0,20	0,0628	-1676,43	-1243,95	-2501,27	-909,55	-86,30
Bario (2)	mg/L	0,70	0,0575	35,98	41,18	49,82	61,94	72,32
Hierro (2)	mg/L	5,00	1,115	11,12	25,70	29,30	50,31	62,78
Cadmio (2)	mg/L	0,01	<0,0001	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

**Nota:** los valores dentro de las celdas pintadas de celestes corresponden a porcentaje (%), por otro lado, aquellos valores con signo negativo corresponden a incrementos a la salida del tratamiento en el STSEC.



#### 5.4. Prueba de tratamiento con el efluente preparado para corroborar los resultados de las pruebas precedentes en el STSEC. –

Bajo el siguiente parámetro de operación de 12,5 Amperios y 36 Voltios es decir con densidad de corriente eléctrica equivalente a  $11,11 \text{ mA/cm}^2$ , con lo que se obtiene resultados satisfactorios, condición de operación que se halla entre la tercera y cuarta prueba realizadas y cuyos resultados se presentan en las tablas consolidadas 5.7, 5.8 y 5.9 (precedentes).

El resultado fue muy satisfactorio, con muestra preparada (turbiedad de 240 NTU y 7,5 de pH), se obtuvo turbiedad residual de 5 NTU y pH de 8, a la salida del sedimentador (periodo de sedimentación de 30 minutos), se presentan las figuras siguientes donde se muestra el STSEC.

En la figura 5.20 se aprecia el STSEC completo, en la parte posterior se observa la presencia del STSEC, propiamente dicho y hacia adelante el Sedimentador Lamelar, en la parte superior de mueble donde se ubica el sedimentador, se observan dos vasos de precipitado, el primero de un litro contiene la muestra del afluente sin tratamiento (240 NTU de turbiedad), y a su costado un vaso de precipitado de 200 mL contiene el agua a la salida del sedimentador con una turbiedad de 5 NTU.

#### Figura 5.20

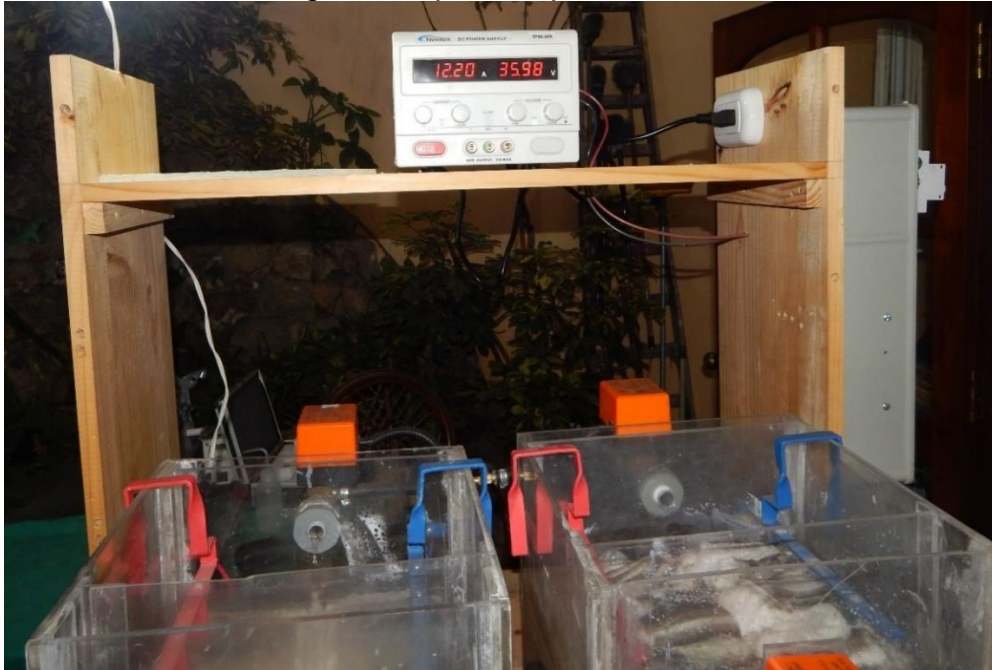
*Se aprecia el conjunto de Sistema de Tratamiento Secuencial por Electrocoagulación con el Sedimentador Lamelar*



En la figura 5.21, se aprecia la fuente registrando las condiciones de operación durante su estabilización, 12,20 amperios y 35,98 voltios, con una densidad eléctrica final de 11,11 mA/cm<sup>2</sup>.

**Figura 5.21**

Se aprecia el Sistema de Tratamiento Secuencial por Electrocoagulación con la fuente de energía en la parte superior.



Las figuras 5.2.2 y 5.23, muestran al sedimentador lamelar, con sus lamelas que permiten la sedimentación de los flóculos formados en el STSEC, además se aprecia una vista posterior por donde descenden el afluente tratado junto con los sedimentos (flóculos), que sedimentaran en el fondo.

**Figuras 5.22 y 5.23**

Vista lateral del sedimentador lamelar y el fondo de la tolva de lodos del Sistema de Tratamiento Secuencial por Electrocoagulación, respectivamente



*J. B. A.*  
100

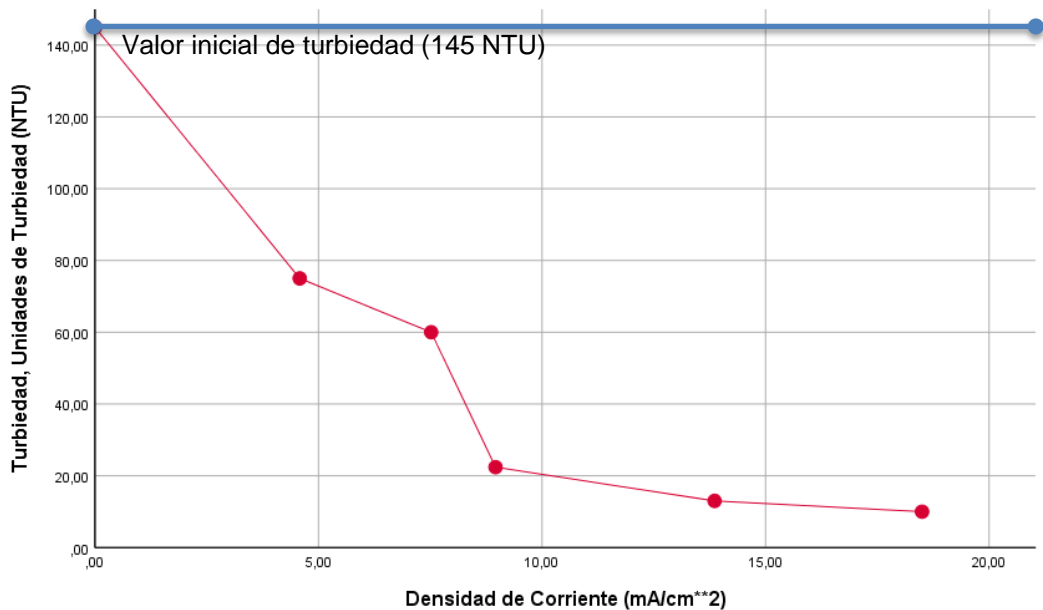
## VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados en el Sistema de Tratamiento Secuencial por Electrocoagulación (STSEC).-

#### 6.1.1. Resultados respecto a la Turbiedad. – Se aprecia en la figura 6.1.1.a “Variación de la turbiedad del efluente tratado en el STSEC, aplicando la Densidad de Corriente”

##### Figura 6.1.1.a

Variación de la turbiedad del efluente tratado en el STSEC, aplicando la Densidad de Corriente.



**Nota:** Según, los ECAs el nivel de turbiedad para agua de riego, no está determinado, sin embargo, la experiencia me indica que la turbiedad <20 NTU, es bastante aceptable.

Como prueba de demostración de hipótesis, aplicamos la Prueba Paramétrica, que considera el problema de probar la hipótesis, en que el coeficiente de correlación poblacional sea igual a cero en contra de la hipótesis alternativa bilateral de que el coeficiente de correlación sea diferente de cero; es decir, se desea probar:

$H_0: \rho = 0$  (No existe correlación lineal entre X: Densidad de Corriente e Y: Turbiedad)

$H_1: \rho \neq 0$  (Si existe correlación lineal entre X: Densidad de Corriente e Y: Turbiedad)

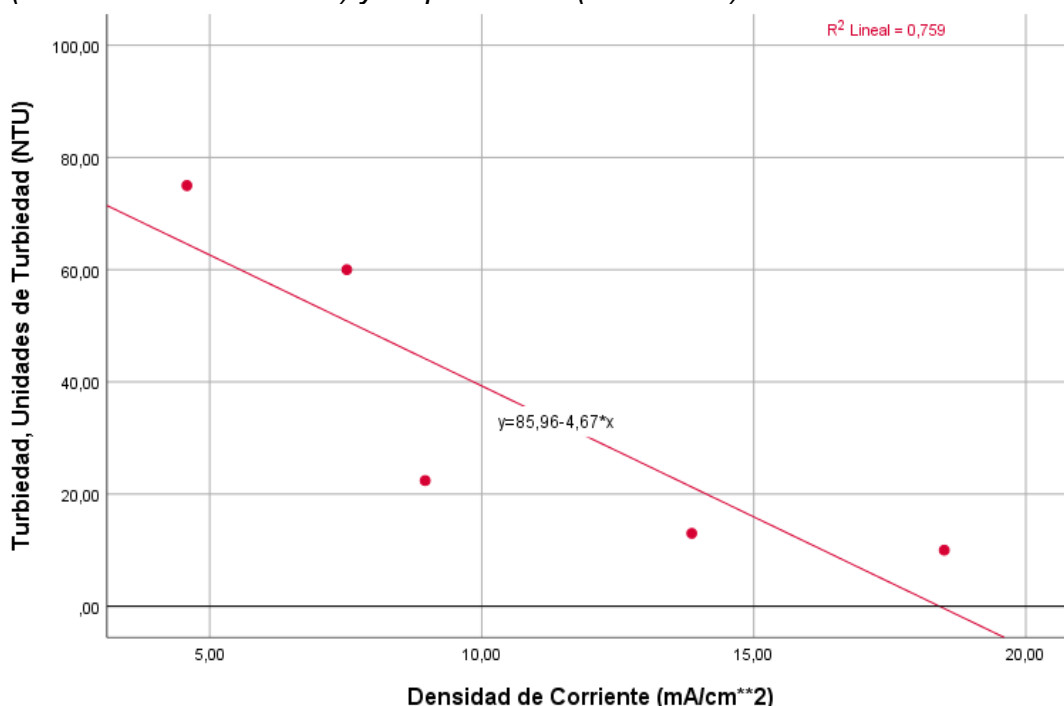
La figura 6.1.1.b nos muestra el Diagrama de Dispersión donde podemos apreciar la tendencia de distribución de los valores que asumen (X e Y), el

*[Firma manuscrita]*  
107

diagrama nos da una idea de si existe o no una relación entre las características en estudio.

**Figura 6.1.1.b**

*Diagrama de Dispersión entre los valores de las Variables, Independiente (Densidad de Corriente) y Dependiente (Turbiedad).*



**Tabla 6.1.1**

*Correlación entre la Variables, Independiente (Densidad de Corriente) y Dependiente (Turbiedad).*

		Densidad de Corriente (mA/cm <sup>2</sup> )	Turbiedad, Unidades de Turbiedad (NTU)
Densidad de Corriente (mA/cm <sup>2</sup> )	Correlación de Pearson	1	<b>-,903*</b>
	Sig. (bilateral)		<b>,014</b>
	N	6	6
Turbiedad, Unidades de Turbiedad (NTU)	Correlación de Pearson	-,903*	1
	Sig. (bilateral)	,014	
	N	6	6

\*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

La correlación entre la Densidad de Corriente y la Turbiedad es  $r = -0,903$ ; lo cual según (Hernández Sampieri et al; 2017) sería una correlación directa negativa muy fuerte.

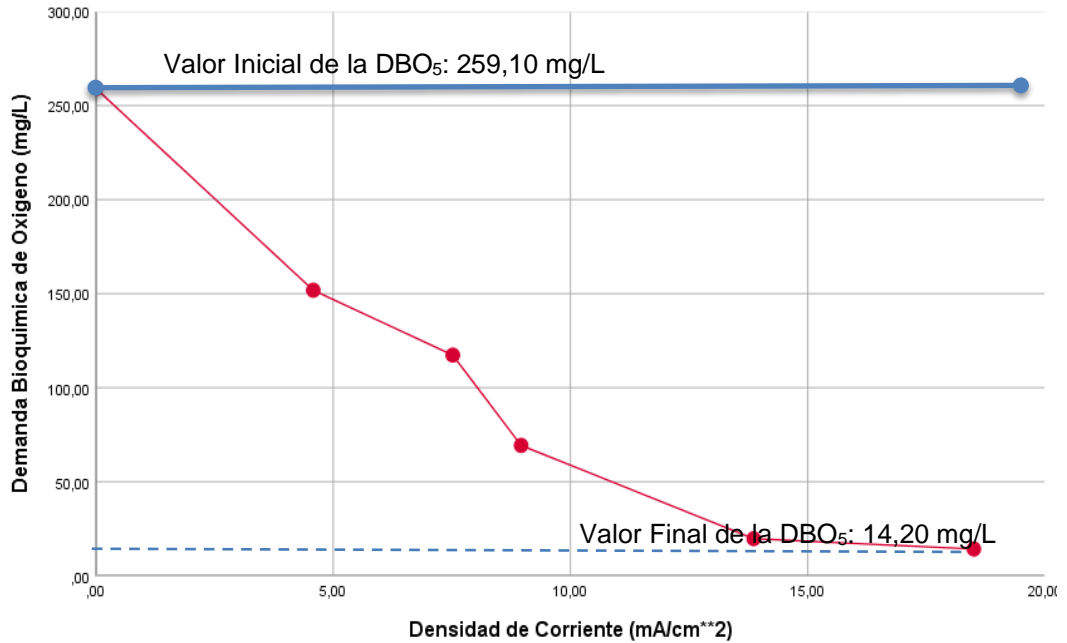
Como el p valor  $p \neq 0$ ; se rechaza la  $H_0$ , y aceptamos la  $H_1$ , entonces, Si existe correlación lineal entre X: Densidad de Corriente e Y: Turbiedad.

*of:Bar*  
102

**6.1.2. Resultados respecto a la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>).** - Se aprecia a continuación, las figuras 6.1.2.a; 6.1.2.b y la tabla 6.1.2.

**Figura 6.1.2.a**

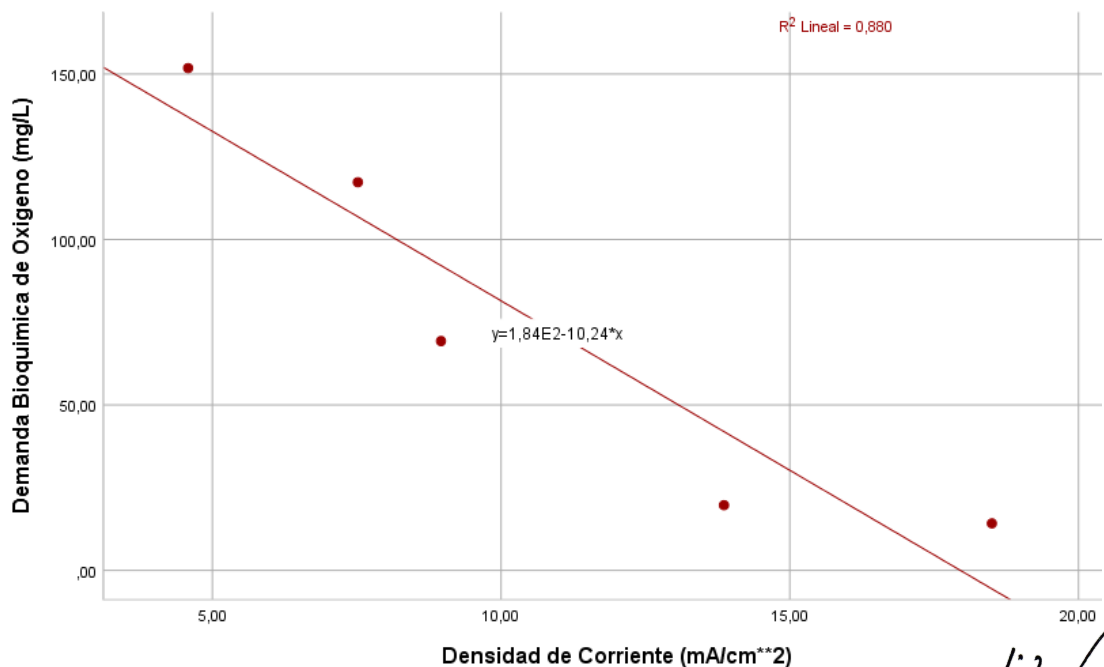
*Variación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) del efluente tratado en el STSEC, aplicando la Densidad de Corriente.*



**Nota:** El valor ECAs exigido para agua de riego para la DBO<sub>5</sub> es de 15 mg/L

**Figura 6.1.2.b**

*Diagrama de Dispersión entre los valores de las Variables, Independiente (Densidad de Corriente) y Dependiente (Demanda Bioquímica de Oxígeno).*



*[Handwritten signature]*  
10/3



Como prueba de demostración de hipótesis, aplicamos la Prueba Paramétrica, de correlación para determinar el grado de relación entre las variables, de que el coeficiente de correlación poblacional sea igual cero en contra de la hipótesis alternativa bilateral de que el coeficiente de correlación sea diferente de cero; es decir, se desea probar:

$H_0: \rho = 0$  (No existe correlación lineal entre X: Densidad de Corriente e Y: Demanda Bioquímica de Oxígeno)

$H_1: \rho \neq 0$  (Si existe correlación lineal entre X: Densidad de Corriente e Y: Demanda Bioquímica de Oxígeno)

### Tabla 6.1.2

*Correlación entre la Variables, Independiente (Densidad de Corriente) y Dependiente (Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO<sub>5</sub>)*

		Densidad de Corriente (mA/cm <sup>2</sup> )	Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)
Densidad de Corriente (mA/cm <sup>2</sup> )	Correlación de Pearson	1	-,948**
	Sig. (bilateral)		,004
	N	6	6
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	Correlación de Pearson	-,948**	1
	Sig. (bilateral)	,004	
	N	6	6

\*\* . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

La correlación entre la Densidad de Corriente y la Demanda Bioquímica de Oxígeno es  $r = -0,948$ ; lo cual según (Hernández Sampieri et al; 2017) sería una correlación directa negativa bastante fuerte.

Por otro lado:

Como el p valor  $\rho \neq 0$ ; se rechaza la  $H_0$ , y aceptamos la  $H_1$ , es decir se concluye que, existe correlación lineal entre la Densidad de Corriente y la Demanda Bioquímica de Oxígeno.

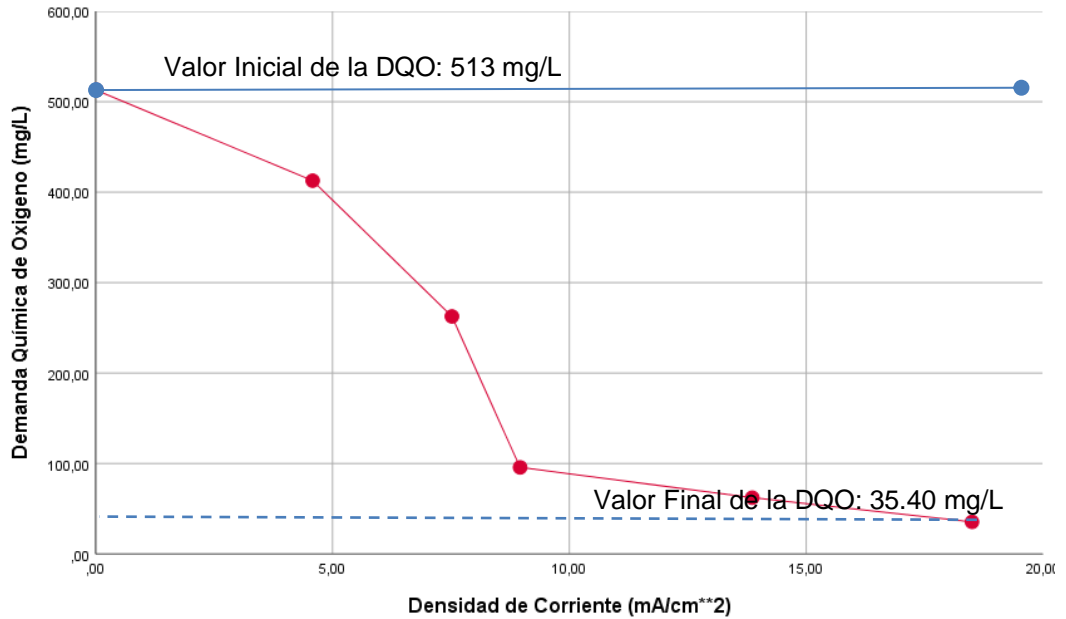
### 6.1.3. Resultados respecto a la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

- Se aprecia en las figuras 6.1.3.a “Variación de la Demanda Química de Oxígeno del efluente tratado en el STSEC, aplicando la Densidad de Corriente” y figura 6.1.3.b “Diagrama de Dispersión entre los valores de las Variables, Independiente (Densidad de Corriente) y Dependiente (Demanda Química de Oxígeno)”, además,

la tabla 6.3. Correlación entre la Variables, Independiente (Densidad de Corriente) y la Dependiente (Demanda Química de Oxígeno).

**Figura 6.1.3.a**

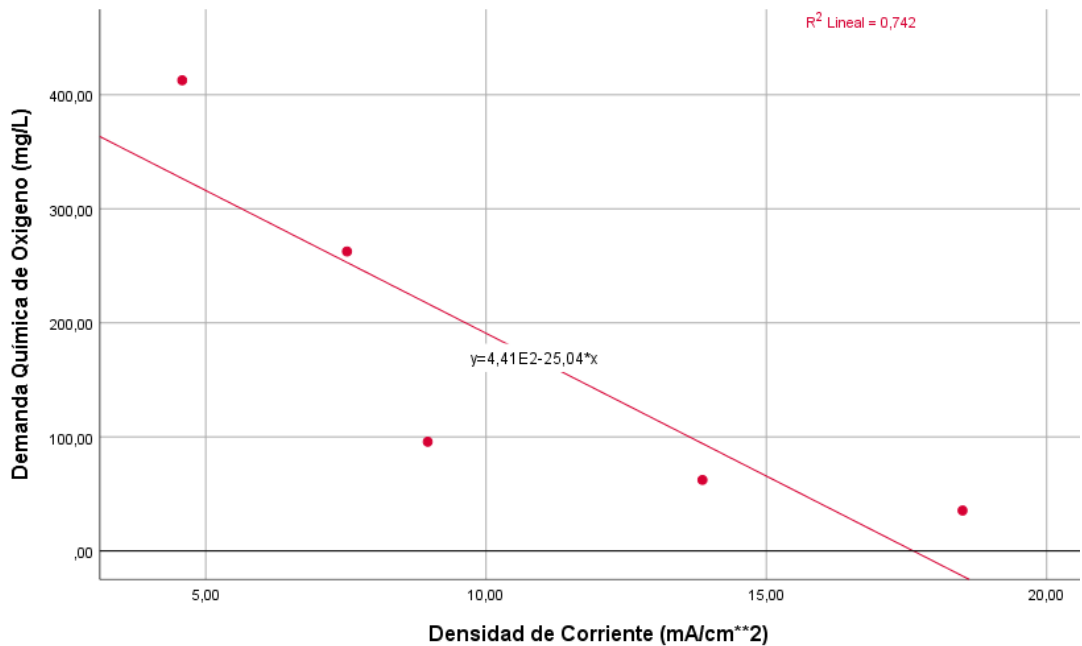
*Variación de la Demanda Química de Oxígeno del efluente tratado en el STSEC, aplicando la Densidad de Corriente.*



**Nota:** El valor ECAs exigido para agua de riego para la DQO es de 40 mg/L

**Figura 6.1.3.b**

*“Diagrama de Dispersión entre los valores de las Variables, Independiente (Densidad de Corriente) y Dependiente (Demanda Química de Oxígeno)”*



Como prueba de demostración de hipótesis, aplicamos la Prueba Paramétrica, de correlación para determinar el grado de relación entre las

*[Handwritten signature]*  
105

variables, de que el coeficiente de correlación poblacional sea igual cero en contra de la hipótesis alternativa bilateral de que el coeficiente de correlación sea diferente de cero; es decir, se desea probar:

$H_0: \rho = 0$  (No existe correlación lineal entre X: Densidad de Corriente e Y: Demanda Química de Oxígeno)

$H_1: \rho \neq 0$  (Si existe correlación lineal entre X: Densidad de Corriente e Y: Demanda Química de Oxígeno)

### Tabla 6.1.3

*Correlación entre la Variables, Independiente (Densidad de Corriente) y la Dependiente (Demanda Química de Oxígeno).*

		Densidad de Corriente (mA/cm <sup>2</sup> )	Demanda Química de Oxígeno (mg/L)
Densidad de Corriente (mA/cm <sup>2</sup> )	Correlación de Pearson	1	-,924**
	Sig. (bilateral)		,008
	N	6	6
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	Correlación de Pearson	-,924**	1
	Sig. (bilateral)	,008	
	N	6	6

\*\* . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

La correlación entre la Densidad de Corriente y la Demanda Química de Oxígeno es  $r = -0,924$ ; lo cual según (Hernández Sampieri et al; 2017) sería una correlación directa negativa bastante fuerte.

Por otro lado:

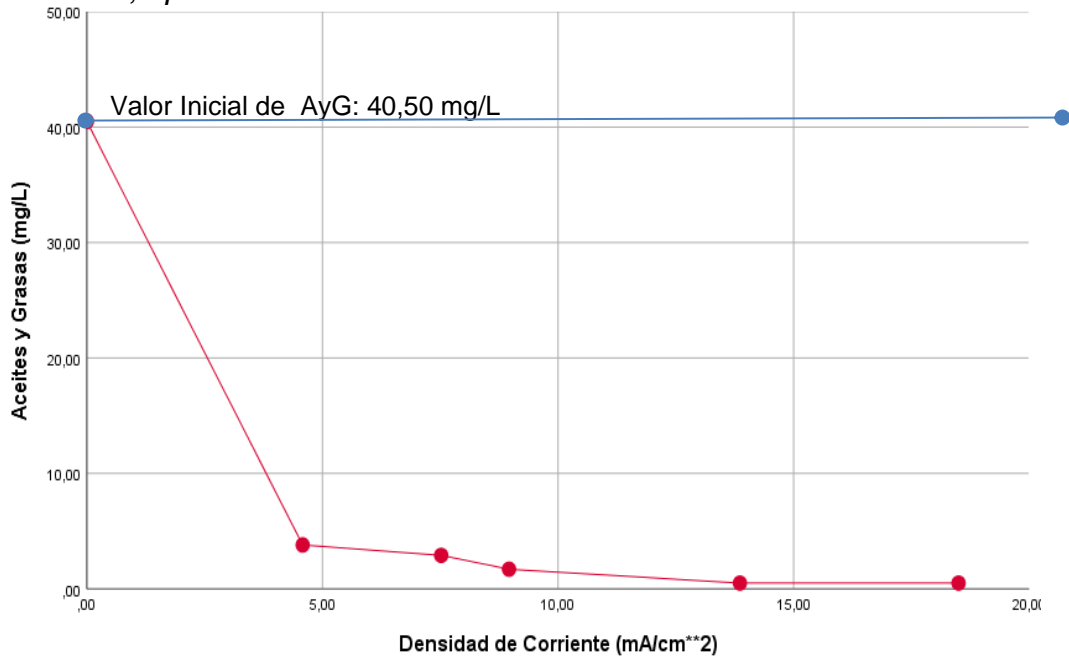
Como el p valor  $\rho \neq 0$ ; se rechaza la  $H_0$ , y aceptamos la  $H_1$ , es decir se concluye que, si existe correlación lineal entre la Densidad de Corriente y la Demanda Química de Oxígeno.

**6.1.4. Resultados respecto a los Aceites y Grasas (AyG).** – Se aprecia en las figuras 6.1.4.a “Variación de la Concentración de Aceites y Grasas del efluente tratado en el STSEC, aplicando la Densidad de Corriente” y 6.1.4.b “Diagrama de Dispersión entre los valores de las Variables, Independiente (Densidad de Corriente) y Dependiente (Aceites y Grasas)”, además de la tabla 6.4. Correlación entre la

Variables, Independiente (Densidad de Corriente) y la Dependiente (Aceites y Grasas).

**Figura 6.1.4.a**

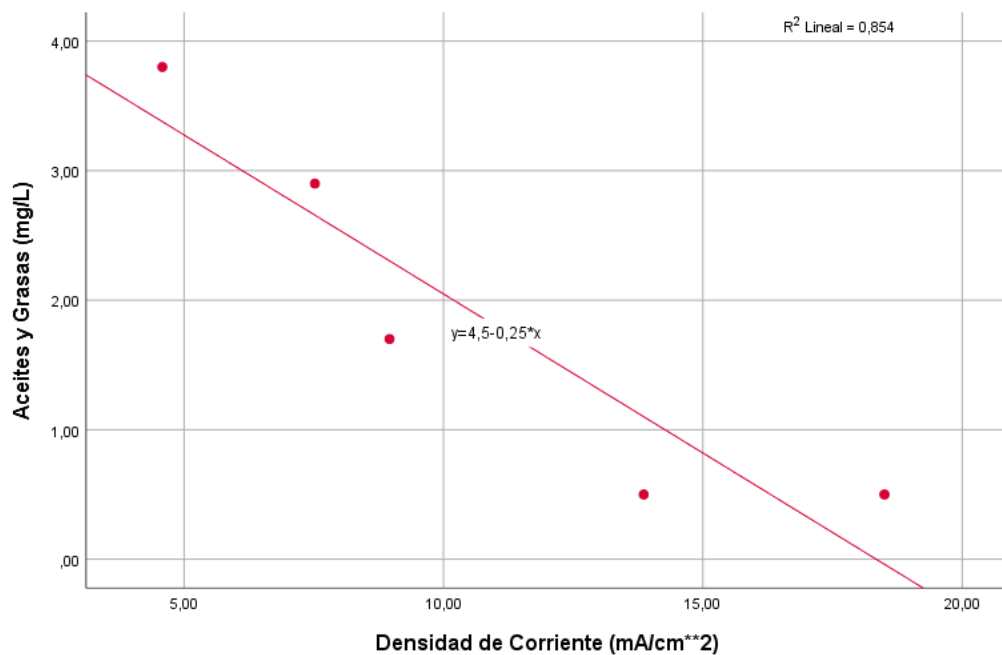
*Variación de la Concentración de Aceites y Grasas del efluente tratado en el STSEC, aplicando la Densidad de Corriente.*



**Nota:** El valor ECAs exigido para agua de riego para los Aceites y Grasas es de 5 mg/L.

**Figura 6.1.4.b**

*“Diagrama de Dispersión entre los valores de las Variables, Independiente (Densidad de Corriente) y Dependiente (Aceites y Grasas)”*



Como prueba de demostración de hipótesis, aplicamos la Correlación lineal, es una prueba Paramétrica, que considera el problema de probar la

*[Handwritten signature]*  
107

hipótesis, de que el coeficiente de correlación poblacional sea igual cero en contra de la hipótesis alternativa bilateral de que el coeficiente de correlación sea diferente de cero; es decir, se desea probar:

$H_0: \rho = 0$  (No existe correlación lineal entre X: Densidad de Corriente e Y: Concentración de Aceites y Grasas)

$H_1: \rho \neq 0$  (Si existe correlación lineal entre X: Densidad de Corriente e Y: Concentración de Aceites y Grasas)

#### Tabla 6.1.4

*Correlación entre la Variables, Independiente (Densidad de Corriente) y la Dependiente (Concentración de Aceites y Grasas).*

		Densidad de Corriente (mA/cm <sup>2</sup> )	Aceites y Grasas (mg/L)
Densidad de Corriente (mA/cm <sup>2</sup> )	Correlación de Pearson	1	-,718
	Sig. (bilateral)		,108
	N	6	6
Aceites y Grasas (mg/L)	Correlación de Pearson	-,718	1
	Sig. (bilateral)	,108	
	N	6	6

\*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

La correlación entre la Densidad de Corriente y la concentración de Aceites y Grasas es  $r = -0,718$ ; lo cual según (Hernández Sampieri et al; 2017) sería una correlación directa negativa considerable.

Por otro lado:

Como el p valor  $p \neq 0$ ; se rechaza la  $H_0$ , y aceptamos la  $H_1$ , es decir se concluye que, si existe correlación lineal entre la Densidad de Corriente y la concentración de Aceites y Grasas.

#### 6.1.5. Resultados respecto a los Solidos Suspendidos Totales (SST).

Se aprecia en las figuras 6.1.5.a “Variación de la Concentración de los Solidos Suspendidos Totales del efluente tratado en el STSEC, aplicando la Densidad de Corriente” y 6.1.5.b “Diagrama de Dispersión entre los valores de las Variables, Independiente (Densidad de Corriente) y Dependiente (Solidos Suspendidos Totales)”, y la tabla 6.1.5 Correlación entre la Variables,



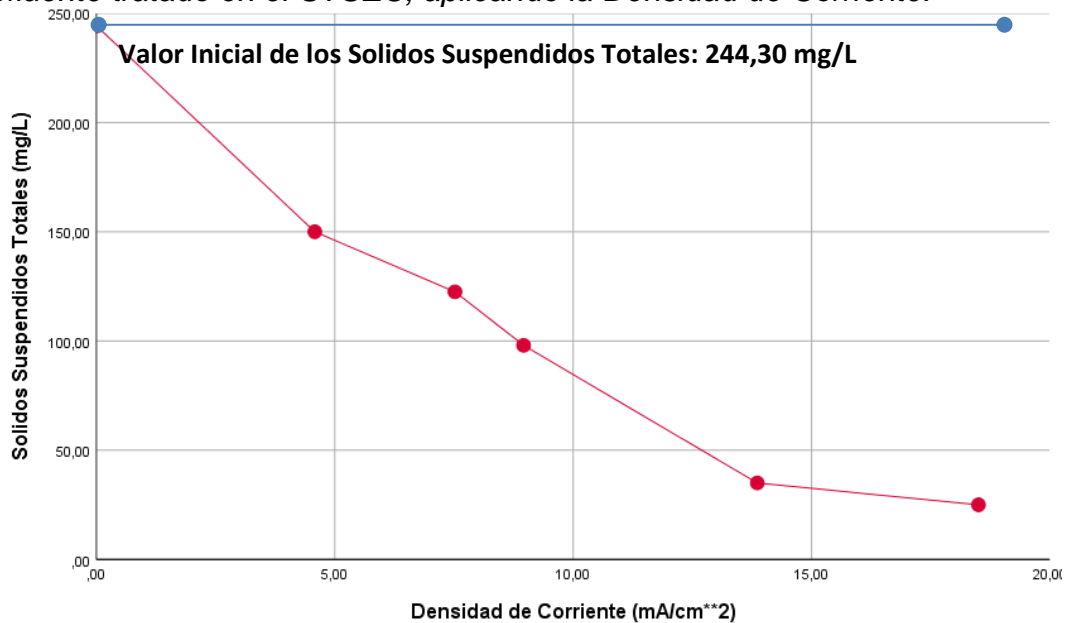
108



Independiente (Densidad de Corriente) y la Dependiente (Solidos Suspendidos Totales).

**Figura 6.1.5.a**

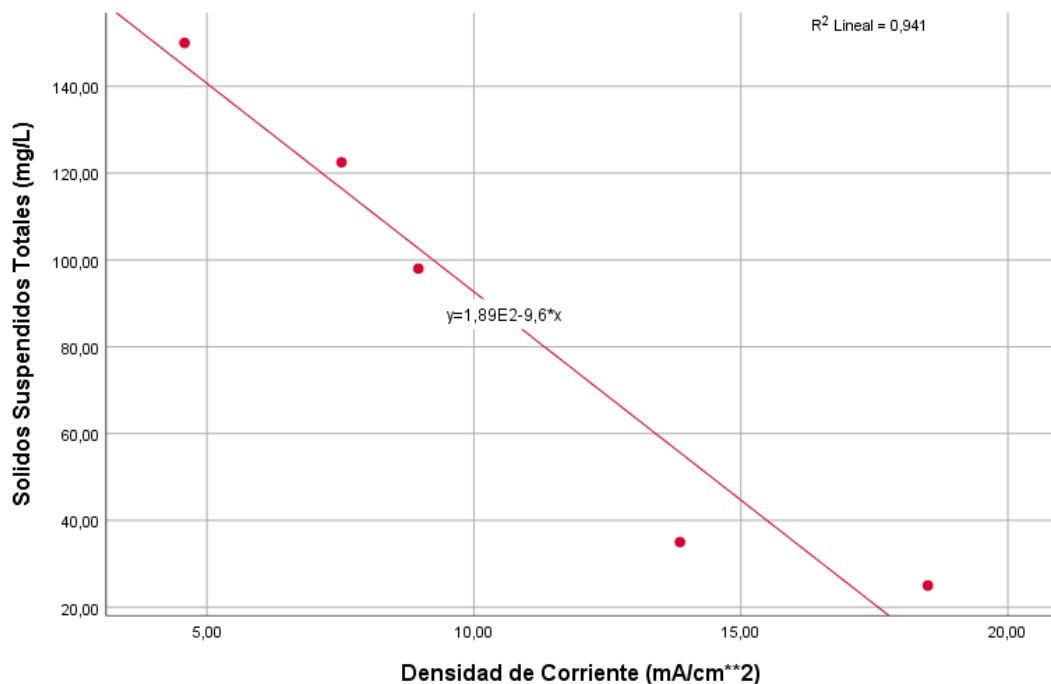
*Variación de la Concentración de los Solidos Suspendidos Totales del efluente tratado en el STSEC, aplicando la Densidad de Corriente.*



**Nota:** Según, los ECAs el nivel de Solidos Totales Suspendidos para el agua de riego, no está determinado, sin embargo, la experiencia me indica que valores <50 mg/L, es bastante aceptable.

**Figura 6.1.5.b**

*Diagrama de Dispersión entre los valores de las Variables, Independiente (Densidad de Corriente) y Dependiente (Solidos Suspendidos Totales)*



*[Handwritten signature]*  
109

Como prueba de demostración de hipótesis, aplicamos la Prueba Paramétrica, que considera el problema de probar la hipótesis, de que el coeficiente de correlación poblacional sea igual cero en contra de la hipótesis alternativa bilateral de que el coeficiente de correlación sea diferente de cero; es decir, se desea probar:

$H_0: \rho = 0$  (No existe correlación lineal entre X: Densidad de Corriente e Y: Solidos Suspendidos Totales)

$H_1: \rho \neq 0$  (Si existe correlación lineal entre X: Densidad de Corriente e Y: Solidos Suspendidos Totales)

**Tabla 6.1.5**

*Correlación entre la Variables, Independiente (Densidad de Corriente) y Dependiente (Solidos Suspendidos Totales, SST)*

		Densidad de Corriente (mA/cm <sup>2</sup> )	Solidos Suspendidos Totales (mg/L)
Densidad de Corriente (mA/cm <sup>2</sup> )	Correlación de Pearson	1	-,967**
	Sig. (bilateral)		,002
	N	6	6
Solidos Suspendidos Totales (mg/L)	Correlación de Pearson	-,967**	1
	Sig. (bilateral)	,002	
	N	6	6

\*\* . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

La correlación entre la Densidad de Corriente y la Demanda Química de Oxígeno es  $r = -0,967$ ; lo cual según (Hernández Sampieri et al; 2017) sería una correlación directa negativa muy fuerte.

Por otro lado:

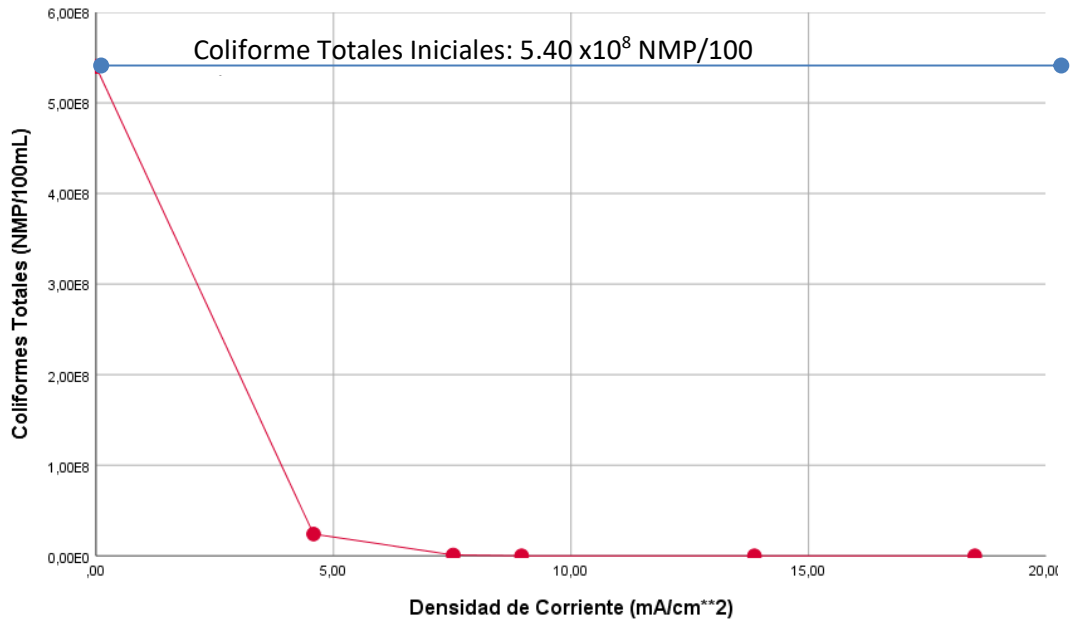
Como el p valor  $\rho \neq 0$ ; se rechaza la  $H_0$ , y aceptamos la  $H_1$ , es decir se concluye que, si existe correlación lineal entre la Densidad de Corriente y la concentración de los Solidos Suspendidos Totales.

**6.1.6. Resultados respecto a los Coliformes Totales (CT).** - Se aprecia en las figuras 6.1.6.a “Variación de la Concentración de los Coliformes Totales del efluente tratado en el STSEC, aplicando la Densidad de Corriente” y 6.1.6.b “Diagrama de Dispersión entre los valores de las Variables, Independiente (Densidad de Corriente) y Dependiente (Coliformes Totales)”, y la tabla 6.6. Correlación entre

la Variables, Independiente (Densidad de Corriente) y la Dependiente (Coliformes Totales).

**Figura 6.1.6.a**

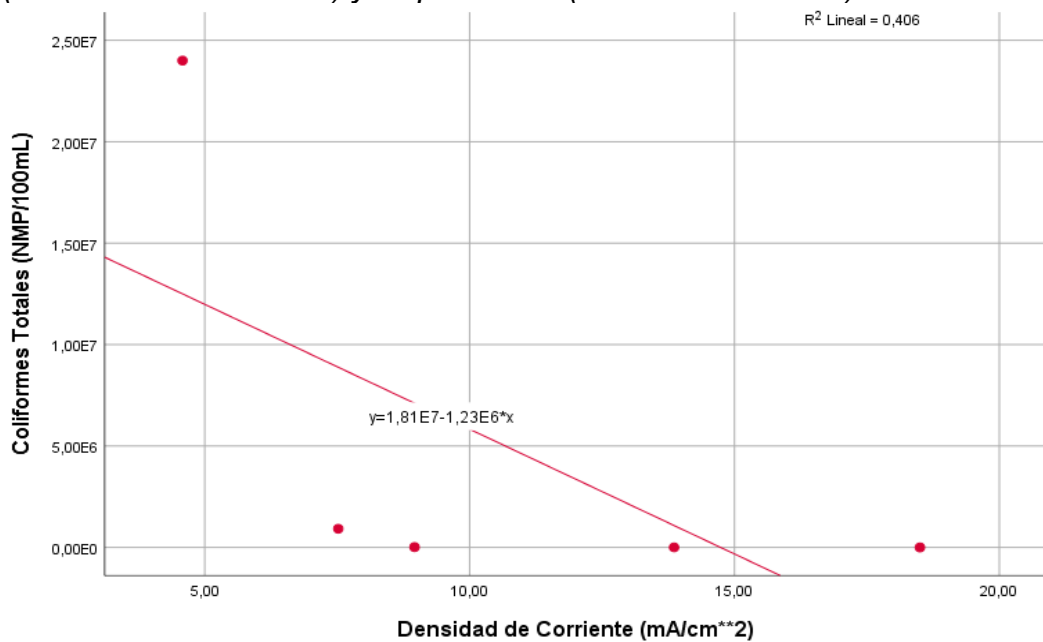
*Variación de la Concentración de los Coliformes Totales del efluente tratado en el STSEC, aplicando la Densidad de Corriente.*



**Nota:** la concentración de los Coliforme Totales según los ECAs para el agua de riego es de 1000 NMP/100mL

**Figura 6.1.6.b**

*Diagrama de Dispersión entre los valores de las Variables, Independiente (Densidad de Corriente) y Dependiente (Coliformes Totales)*



Como prueba de demostración de hipótesis, aplicamos la Prueba Paramétrica, que considera el problema de probar la hipótesis, de que el coeficiente de correlación poblacional sea igual cero en contra de la hipótesis alternativa bilateral de que el coeficiente de correlación sea diferente de cero; es decir, se desea probar:

$H_0: \rho = 0$  (No existe correlación lineal entre X: Densidad de Corriente e Y: Coliformes Totales)

$H_1: \rho \neq 0$  (Si existe correlación lineal entre X: Densidad de Corriente e Y: Coliformes Totales)

**Tabla 6.1.6**

*Correlación entre la Variables, Independiente (Densidad de Corriente) y Dependiente (Coliformes Totales, CT)*

		Densidad de Corriente (mA/cm <sup>2</sup> )	Coliformes Totales (NMP/100mL)
Densidad de Corriente (mA/cm <sup>2</sup> )	Correlación de Pearson	1	-,683
	Sig. (bilateral)		,135
	N	6	6
Coliformes Totales (NMP/100mL)	Correlación de Pearson	-,683	1
	Sig. (bilateral)	,135	
	N	6	6

La correlación entre la Densidad de Corriente y los Coliformes Totales es  $r = -0,683$ ; lo cual según (Hernández Sampieri et al; 2017) sería una correlación directa negativa media.

Por otro lado:

Como el p valor  $p \neq 0$ ; se rechaza la  $H_0$ , y aceptamos la  $H_1$ , es decir se concluye que, si existe correlación lineal entre la Densidad de Corriente y la concentración de los Coliformes Totales.

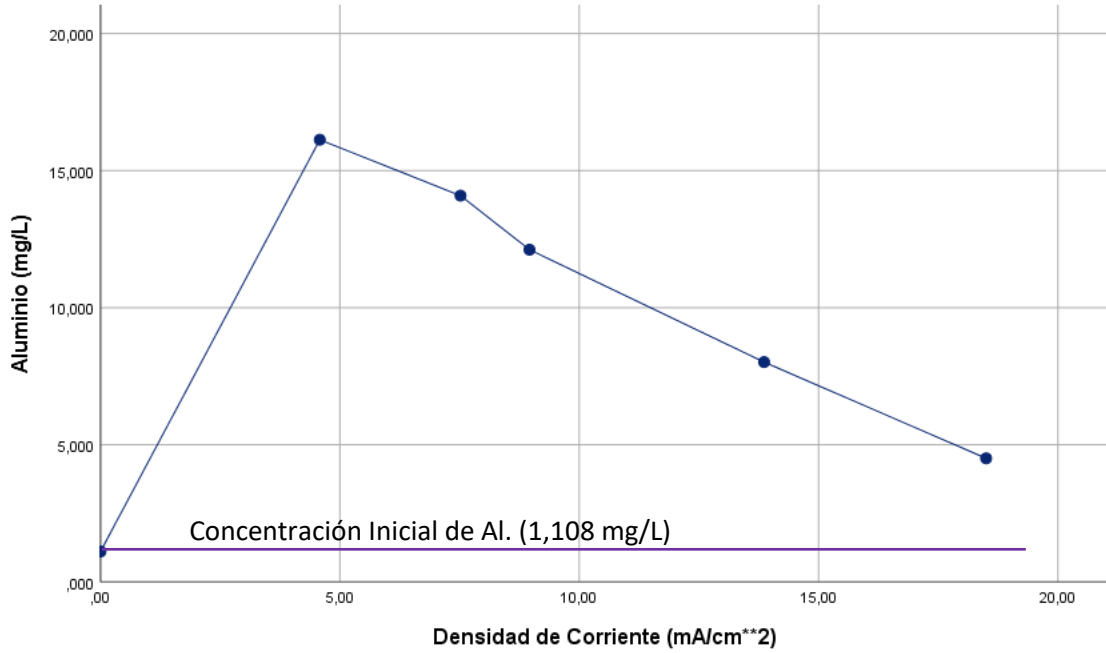
**6.1.7. Resultados respecto a los metales, caso del Aluminio (Al). –**

Estos resultados se aprecian en las figuras 6.7.a “Variación de la Concentración de Aluminio del efluente tratado en el STSEC, aplicando la Densidad de Corriente” y 6.7.b. “Diagrama de Dispersión entre los valores de las Variables, Independiente (Densidad de Corriente) y Dependiente (Aluminio)”, y la tabla 6.7.

Correlación entre la Variables, Independiente (Densidad de Corriente) y la Dependiente (Aluminio)

**Figura 6.1.7.a**

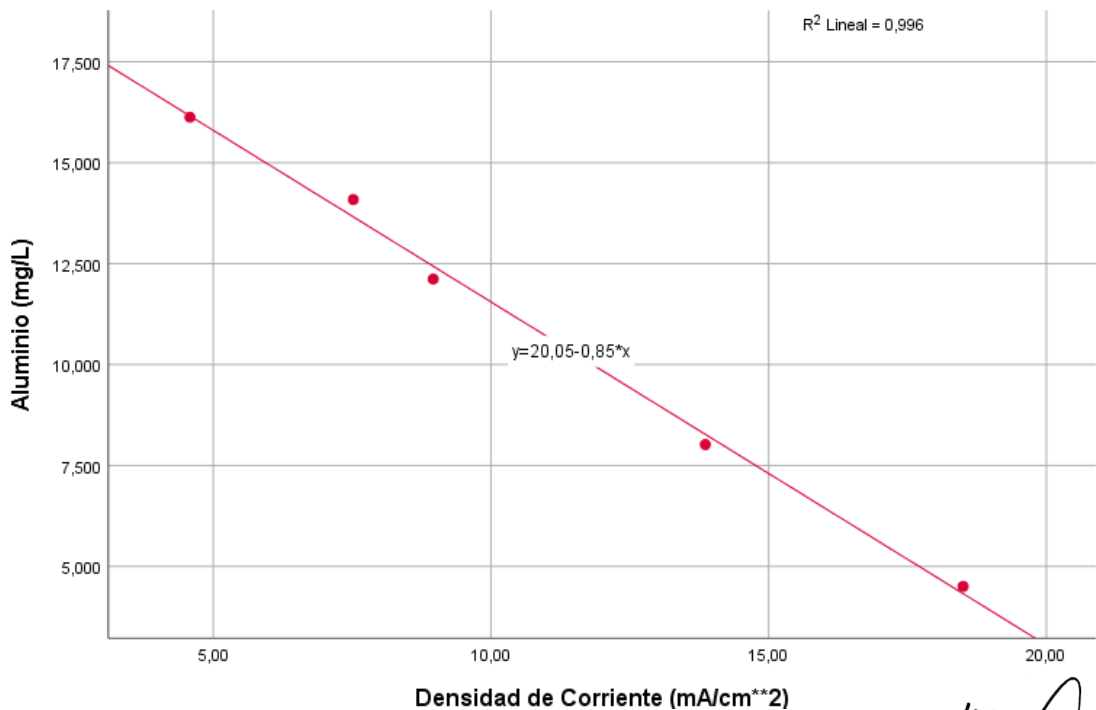
Variación de la Concentración de Aluminio del efluente tratado en el STSEC, aplicando la Densidad de Corriente.



**Nota:** la concentración de Aluminio, según el ECAs para el contenido de agua de riego debe ser mayor de 5 mg/L; se observa que la concentración de aluminio se incrementó con respecto al valor inicial, recuérdese que se usan electrodos de aluminio.

**Figura 6.1.7.b**

Diagrama de Dispersión entre los valores de las Variables, Independiente (Densidad de Corriente) y Dependiente (Aluminio).



113  
*[Handwritten signature]*



Como prueba de demostración de hipótesis, aplicamos la Prueba Paramétrica, que considera el problema de probar la hipótesis, de que el coeficiente de correlación poblacional sea igual cero en contra de la hipótesis alternativa bilateral de que el coeficiente de correlación sea diferente de cero; es decir, se desea probar:

$H_0: \rho = 0$  (No existe correlación lineal entre X: Densidad de Corriente e Y: Concentración del Aluminio)

$H_1: \rho \neq 0$  (Si existe correlación lineal entre X: Densidad de Corriente e Y: Concentración de Aluminio)

**Tabla 6.1.7**

Correlación entre la Variables, Independiente (Densidad de Corriente) y la Dependiente (Aluminio)

		Densidad de Corriente (mA/cm <sup>2</sup> )	Aluminio (mg/L)
Densidad de Corriente (mA/cm <sup>2</sup> )	Correlación de Pearson	1	-,998
	Sig. (bilateral)		,000128
	N	5	5
Aluminio (mg/L)	Correlación de Pearson	-,998**	1
	Sig. (bilateral)	,000128	
	N	5	5

\*\* . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

La correlación entre la Densidad de Corriente y la Concentración de Aluminio es  $r = -0,998$ ; lo cual según (Hernández Sampieri et al; 2017) sería una correlación directa negativa muy fuerte.

Por otro lado:

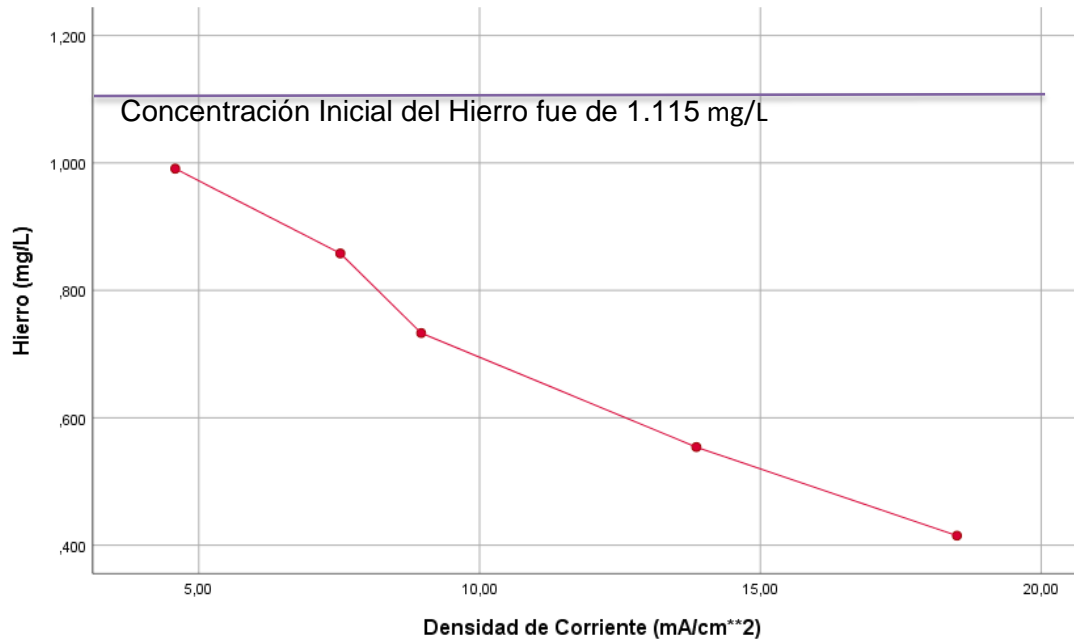
Como el p valor  $\rho \neq 0$ ; se rechaza la  $H_0$ , y aceptamos la  $H_1$ , es decir se concluye que, si existe correlación lineal entre la Densidad de Corriente y la concentración de Aluminio.

**6.1.8. Resultados respecto a los metales, caso del Hierro (Fe).** – Estos resultados se aprecian en las figuras 6.1.8.a “Variación de la Concentración de Hierro del efluente tratado en el STSEC, aplicando la Densidad de Corriente” y 6.1.8.b “Diagrama de Dispersión entre los valores de las Variables, Independiente (Densidad de Corriente)

y Dependiente (Hierro)", y la tabla 6.8. Correlación entre la Variables, Independiente (Densidad de Corriente) y la Dependiente (Hierro).

**Figura 6.1.8.a**

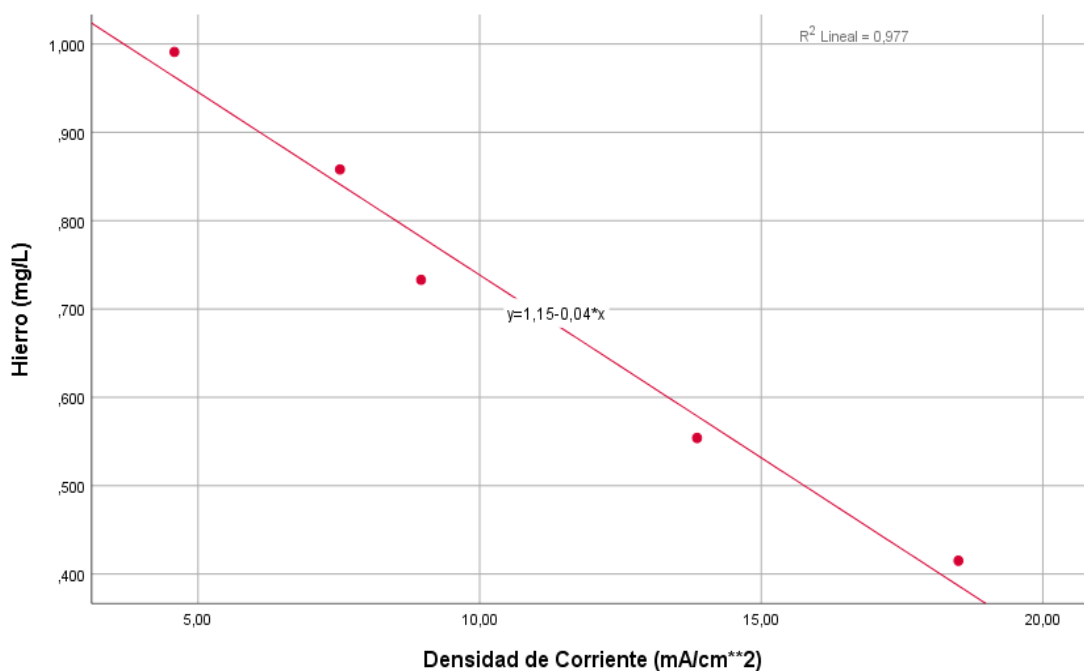
*Variación de la Concentración de Hierro del efluente tratado en el STSEC, aplicando la Densidad de Corriente.*



**Nota:** La concentración del Hierro en el agua para riego según el ECAs es de 5.0 mg/L

**Figura 6.1.8.b**

*Diagrama de Dispersión entre los valores de las Variables, Independiente (Densidad de Corriente) y Dependiente (Hierro).*



*Handwritten signature*

Como prueba de demostración de hipótesis, aplicamos la Prueba Paramétrica, que considera el problema de probar la hipótesis, de que el coeficiente de correlación poblacional sea igual cero en contra de la hipótesis alternativa bilateral de que el coeficiente de correlación sea diferente de cero; es decir, se desea probar:

H<sub>0</sub>:  $\rho = 0$  (No existe correlación lineal entre X: Densidad de Corriente e Y: Concentración del Hierro)

H<sub>1</sub>:  $\rho \neq 0$  (Si existe correlación lineal entre X: Densidad de Corriente e Y: Concentración de Hierro)

**Tabla 6.1.8**

*Correlación entre la Variables, Independiente (Densidad de Corriente) y la Dependiente (Hierro)*

		Densidad de Corriente (mA/cm <sup>2</sup> )	Hierro (mg/L)
Densidad de Corriente (mA/cm <sup>2</sup> )	Correlación de Pearson	1	-,989**
	Sig. (bilateral)		,001
	N	5	5
Hierro (mg/L)	Correlación de Pearson	-,989**	1
	Sig. (bilateral)	,001	
	N	5	5

\*\* . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

La correlación entre la Densidad de Corriente y la Concentración de Hierro es  $r = -0,989$ ; lo cual según (Hernández Sampieri et al; 2017) sería una correlación directa negativa fuerte.

Por otro lado:

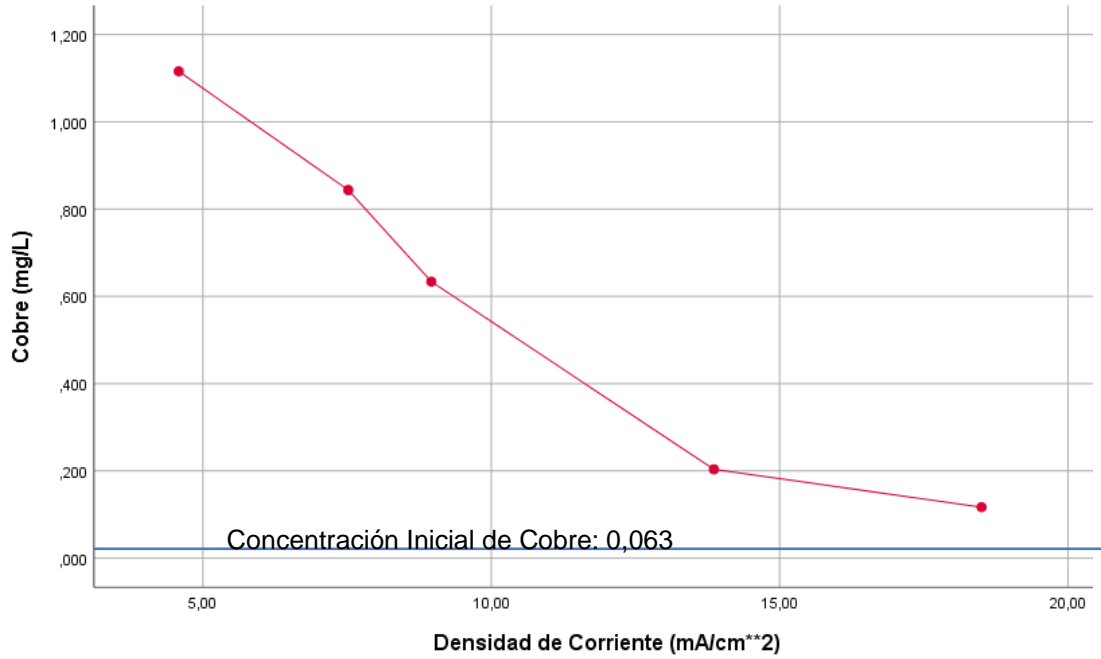
Como el p valor  $\rho \neq 0$ ; se rechaza la H<sub>0</sub>, y aceptamos la H<sub>1</sub>, es decir se concluye que, si existe correlación lineal entre la Densidad de Corriente y la concentración de Hierro.

**6.1.9. Resultados respecto a los metales, caso del Cobre (Cu).** – Estos resultados se aprecian en las figuras 6.1.9.a “Variación de la Concentración de Cobre del efluente tratado en el STSEC, aplicando la Densidad de Corriente” y 6.1.9.b “Diagrama de Dispersión entre los valores de las Variables, Independiente (Densidad de Corriente) y Dependiente (Cobre)”, y la tabla 6.1.9. Correlación entre la

Variables, Independiente (Densidad de Corriente) y la Dependiente (Cobre).

**Figura 6.1.9.a**

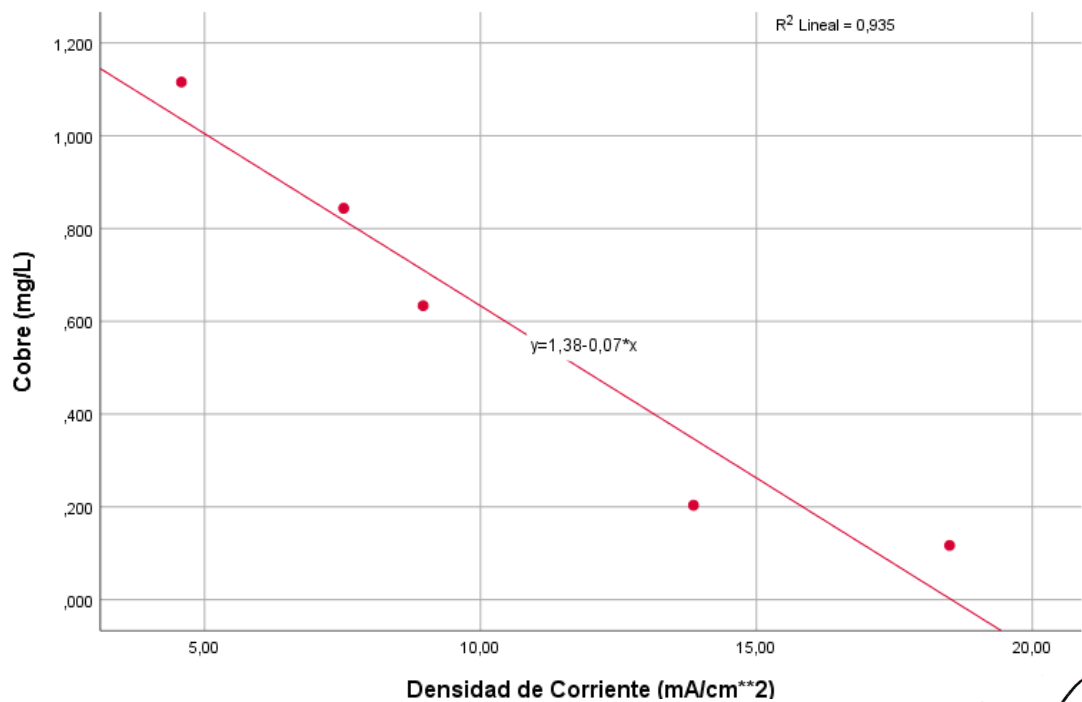
*Variación de la Concentración de Cobre del efluente tratado en el STSEC, aplicando la Densidad de Corriente.*



**Nota:** La concentración de Hierro en el agua de riego según ECAs es de 0,2 mg/L

**Figura 6.1.9.b**

*Diagrama de Dispersión entre los valores de las Variables, Independiente (Densidad de Corriente) y Dependiente (Cobre).*



*of:3ac*  
117

Como prueba de demostración de hipótesis, aplicamos la Prueba Paramétrica, que considera el problema de probar la hipótesis, de que el coeficiente de correlación poblacional sea igual cero en contra de la hipótesis alternativa bilateral de que el coeficiente de correlación sea diferente de cero; es decir, se desea probar:

$H_0: \rho = 0$  (No existe correlación lineal entre X: Densidad de Corriente e Y: Concentración del Cobre)

$H_1: \rho \neq 0$  (Si existe correlación lineal entre X: Densidad de Corriente e Y: Concentración de Cobre)

**Tabla 6.1.9**

*Correlación entre la Variables, Independiente (Densidad de Corriente) y la Dependiente (Cobre)*

		Densidad de Corriente (mA/cm <sup>2</sup> )	Cobre (mg/L)
Densidad de Corriente (mA/cm <sup>2</sup> )	Correlación de Pearson	1	-,967**
	Sig. (bilateral)		,007
	N	5	5
Cobre (mg/L)	Correlación de Pearson	-,967**	1
	Sig. (bilateral)	,007	
	N	5	5

\*\* . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

La correlación entre la Densidad de Corriente y la Concentración de Hierro es  $r = -0,967$ ; lo cual según (Hernández Sampieri et al; 2017) sería una correlación directa negativa fuerte.

Por otro lado:

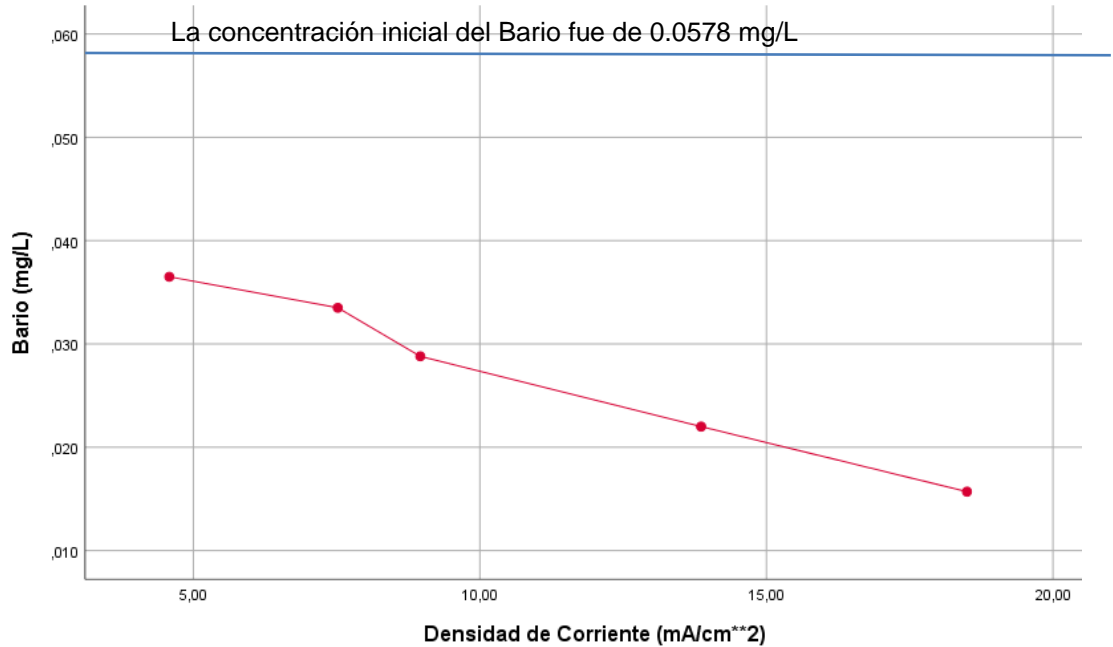
Como el p valor  $p \neq 0$ ; se rechaza la  $H_0$ , y aceptamos la  $H_1$ , es decir se concluye que, si existe correlación lineal entre la Densidad de Corriente y la concentración de Cobre.

**6.1.10. Resultados respecto a los metales, caso del Bario (Ba).** – Estos resultados se aprecian en las figuras 6.1.10.a “Variación de la Concentración de Bario del efluente tratado en el STSEC, aplicando la Densidad de Corriente” y 6.1.10.b “Diagrama de Dispersión entre los valores de las Variables, Independiente (Densidad de Corriente) y Dependiente (Bario)”, y la tabla 6.1.10 Correlación entre la

VARIABLES, INDEPENDIENTE (DENSIDAD DE CORRIENTE) Y LA DEPENDIENTE (BARIO).

**Figura 6.1.10.a**

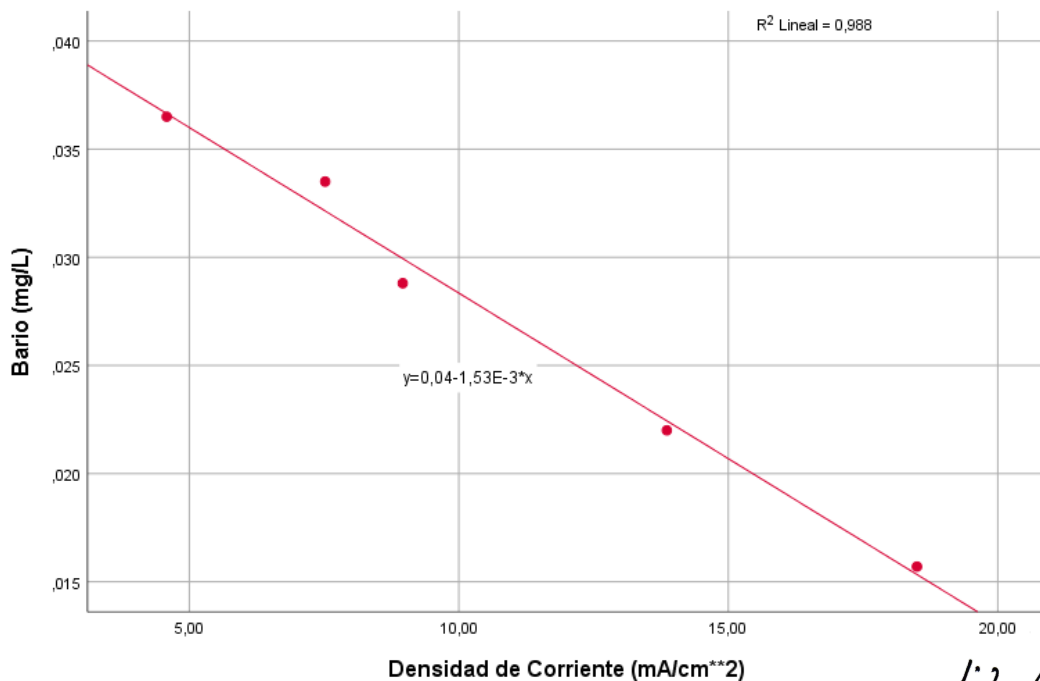
*“Variación de la Concentración de Bario del efluente tratado en el STSEC, aplicando la Densidad de Corriente”*



**Nota:** la concentración del Bario en el agua de riego admitida por el STSEC es de 0.7 mg/L

**Figura 6.10.b.**

*Diagrama de Dispersión entre los valores de las Variables, Independiente (Densidad de Corriente) y Dependiente (Bario).*



*of:Bar*  
119



Como prueba de demostración de hipótesis, aplicamos la Prueba Paramétrica, que considera el problema de probar la hipótesis, de que el coeficiente de correlación poblacional sea igual cero en contra de la hipótesis alternativa bilateral de que el coeficiente de correlación sea diferente de cero; es decir, se desea probar:

$H_0: \rho = 0$  (No existe correlación lineal entre X: Densidad de Corriente e Y: Concentración del Bario)

$H_1: \rho \neq 0$  (Si existe correlación lineal entre X: Densidad de Corriente e Y: Concentración de Bario)

**Tabla 6.1.10.**

*Correlación entre la Variables, Independiente (Densidad de Corriente) y la Dependiente (Bario).*

		Densidad de Corriente (mA/cm <sup>2</sup> )	Bario (mg/L)
Densidad de Corriente (mA/cm <sup>2</sup> )	Correlación de Pearson	1	-,994**
	Sig. (bilateral)		,001
	N	5	5
Bario (mg/L)	Correlación de Pearson	-,994**	1
	Sig. (bilateral)	,001	
	N	5	5

\*\* . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

La correlación entre la Densidad de Corriente y la Concentración de Bario es  $r = -0,994$ ; lo cual según (Hernández Sampieri et al; 2017) sería una correlación directa negativa fuerte.

Por otro lado:

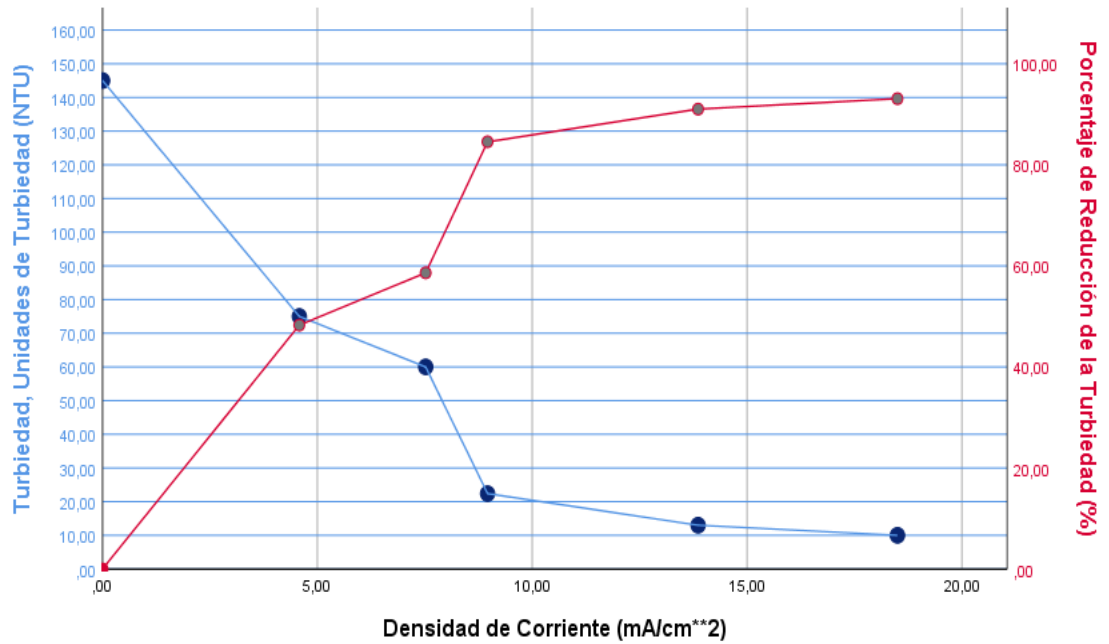
Como el p valor  $p \neq 0$ ; se rechaza la  $H_0$ , y aceptamos la  $H_1$ , es decir se concluye que, si existe correlación lineal entre la Densidad de Corriente y la concentración de Bario.

**6.2. Porcentaje de remoción de cada uno de los parámetros más significativos.** - Se presentan las figuras correspondientes a los porcentajes de remociones de cada uno de los parámetros contenidos en el efluente tratado en el *Sistema de Tratamiento Secuencial de Electrocoagulación*.



**Figura 6.2.1**

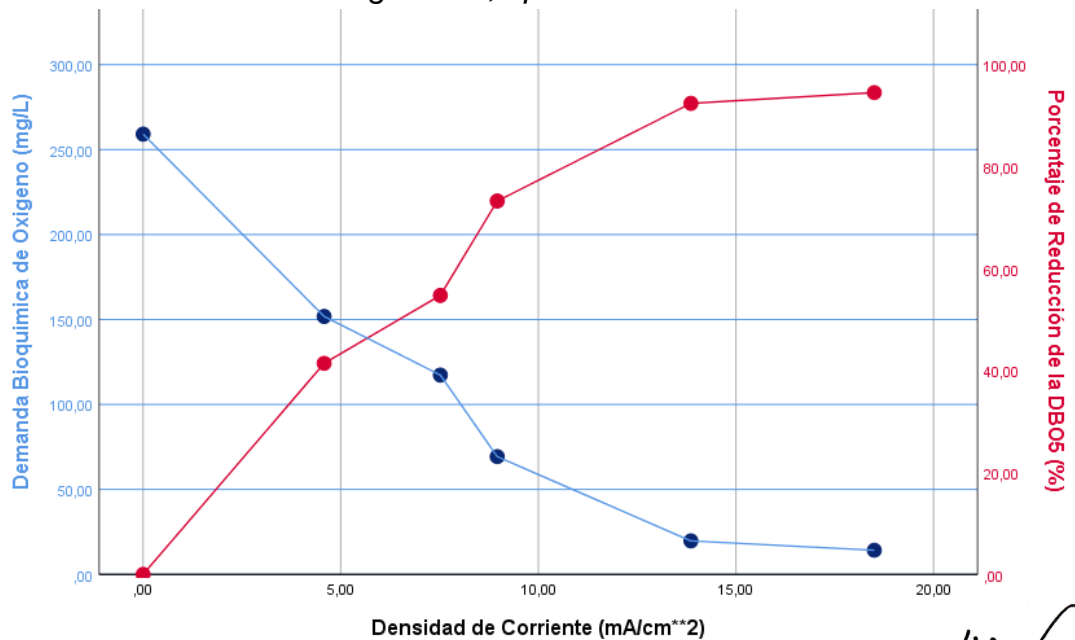
Porcentaje de Remoción con respecto a la Variación de la turbiedad del efluente tratado en el Sistema de Tratamiento Secuencial de Electrocoagulación, en función a la Densidad de Corriente.



**Nota:** La turbiedad de la muestra cruda fue de 145 NTU, mientras la residual llego a 10 NTU.

**Figura 6.2.2**

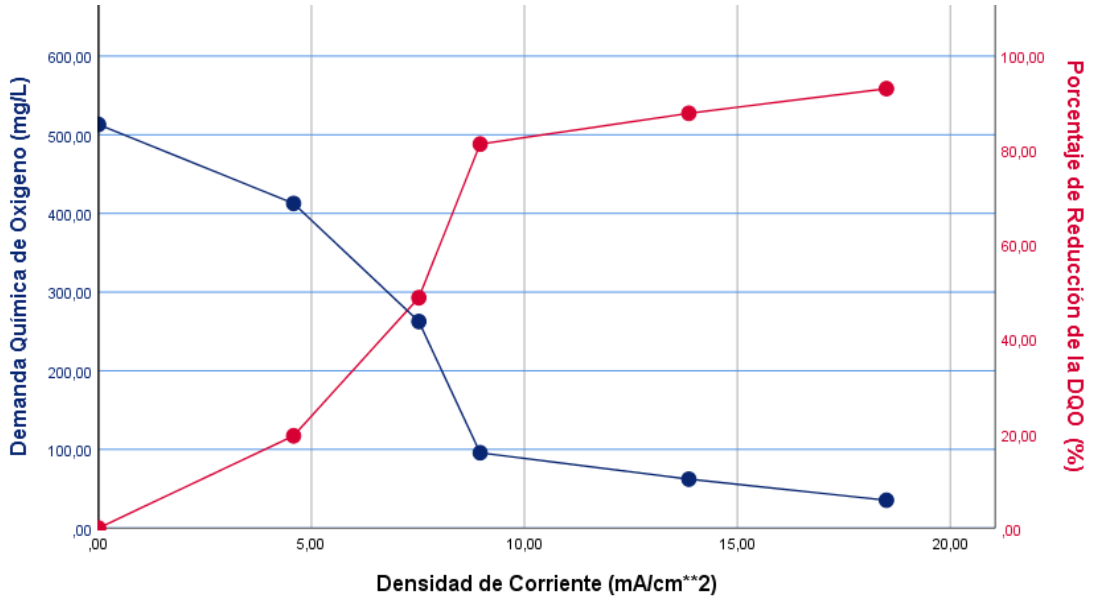
Porcentaje de Remoción con respecto a la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) del efluente tratado en el Sistema de Tratamiento Secuencial de Electrocoagulación, aplicando la Densidad de Corriente.



**Nota:** El valor ECAs exigido para agua de riego para la DBO<sub>5</sub> es de 15 mg/L

**Figura 6.2.3**

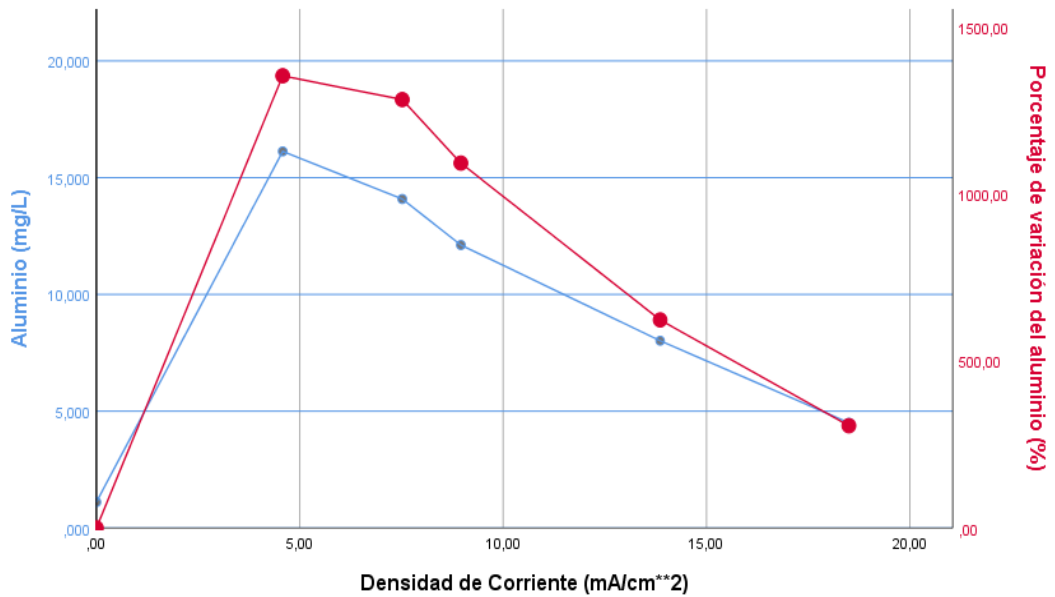
*Porcentaje de Remoción con respecto a la Demanda Química de Oxígeno del efluente tratado en el Sistema de Tratamiento Secuencial de Electrocoagulación, aplicando la Densidad de Corriente.*



**Nota:** El valor de la DQO exigido para agua de riego por el ECAs es de 40 mg/L.

**Figura 6.2.4.**

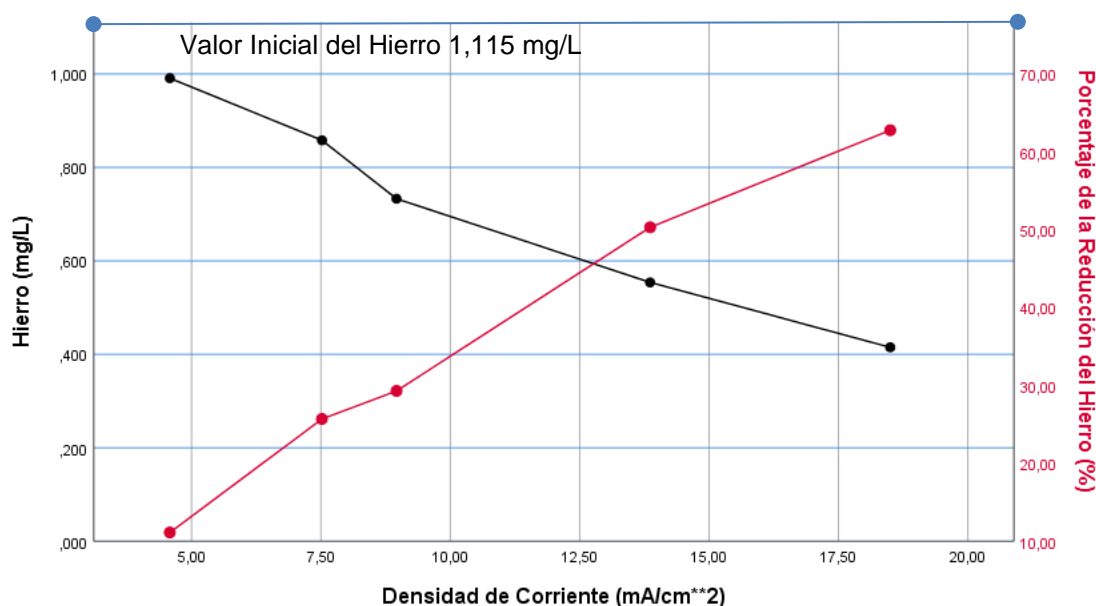
*Porcentaje de Remoción con respecto a la Demanda Química de Oxígeno del efluente tratado en el Sistema de Tratamiento Secuencial de Electrocoagulación, aplicando la Densidad de Corriente.*



**Nota:** El valor aceptable del aluminio de acuerdo al ECAs para agua de riego es de 5,00 mg/L

**Figura 6.2.5.**

*Porcentaje de reducción del Hierro en el efluente tratado en el Sistema de Tratamiento Secuencial de Electrocoagulación, aplicando la Densidad de Corriente.*



**Nota:** El valor aceptable del hierro de acuerdo al ECAs para agua de riego es de 5,00 mg/L.

### 6.3. Contratación de los resultados con otros estudios similares. -

**6.3.1.** La investigación realizada por Gloria Barboza P. en su tesis 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), utilizando un electrocoagulador con las siguientes características:

- Volumen: 400 mL,
- Ánodo: Placa plana de aluminio de dimensiones de 2 cm x 4,5 cm y con área efectiva de reacción de 8 cm<sup>2</sup>.
- Cátodo: Rejilla de acero inoxidable de dimensiones de 2 cm x 4,5 cm y con área efectiva de reacción de 8 cm<sup>2</sup>.
- Separación entre placas de 1/2 cm

Sus resultados más significativos se obtuvieron para una aplicación de 25 minutos de electrocoagulación y 15 minutos de sedimentación, utilizando una densidad de corriente de 12,5 mA/cm<sup>2</sup> y 21 a 23 V, y valores regulados a 7,33 – 7,34 unidades de pH, obteniendo 94,65% de remoción de turbidez, 65,1% de remoción de coliformes fecales y

*[Firma manuscrita]*  
223

64,8% de disminución de DBO<sub>5</sub>, valores que se encuentra dentro de los límites permisibles según los Estándares de Calidad Ambiental del Agua (ENCAA) para agua de riego. El porcentaje de remoción de coliformes fecales puede aumentar hasta un valor de 93% para un tiempo de proceso de 45 minutos.

Mientras nuestros resultados para una densidad de 18,506 mA/cm<sup>2</sup>, 15 minutos de energización, sedimentación de 30 minutos, a flujo continuo de 1 L/minuto, ánodos y cátodos de aluminio y 7,6 de pH, fueron: Turbiedad 93,10% de reducción (10 NTU); 99,99% de reducción de CT (70 NMP/100mL); 94,52% de reducción de DBO<sub>5</sub> (14,20 gr/L) es decir nuestros resultados fueron más significativos.

**6.3.2.** Comparando los resultados logrados en nuestra investigación desarrollada en la primera etapa de trabajo realizado por el suscrito "Evaluación de un sistema de tratamiento continuo por electrocoagulación para los efluentes domésticos y su reúso en el riego de jardines y áreas verdes.(2018), trabajando en un electrocoagulador con las siguientes características:

- Volumen de la celda: 33.6 Litros,
- Caudal: 45 L/h,
- Tiempo de retención: 45 minutos,
- Cátodos y Ánodos de Aluminio: 16 unidades (8 unid x c/u),
- Dimensiones de las placas: 25 cm x 15 cm x 3 mm,

Reportamos los siguientes resultados más significativos, bajo las condiciones de operación, densidad de corriente de 8 mA/cm<sup>2</sup>, Amperaje de 20 A y Voltaje de 5 V, tiempo de energización de 45 minutos y 15 minutos de sedimentación de la muestra tratada a la salida de la celda de electrocoagulación, obteniéndose los siguientes valores: pH de 7.8 unidades, remoción de Turbidez 89,04%, remoción de 86.83% de Coliforme Totales, remoción de 89,22% de la DBO<sub>5</sub>, mientras que los obtenidos ahora, para una densidad de 18,506 mA/cm<sup>2</sup>, 15 minutos de energización, sedimentación de 30 minutos, a flujo continuo de 1 L/minuto, ánodos y cátodos de aluminio y 7,6 de pH, fueron: Turbiedad 93,10% de reducción (10



124

NTU); 99,99% de reducción de CT (70 NMP/100mL); 94,52% de reducción de DBO<sub>5</sub> (14,20 gr/L), siendo los obtenidos ahora muchos mejores.

**6.3.3.** La investigación realizada M. Cuba, et al. (2019), denominada: Tratamiento de agua residual procedente de lavadoras por el método de electrocoagulación para reutilización en el riego de vegetales – Ate Vitarte”, las pruebas se realizaron tipo batch en una celda, construida con placas de vidrio, de forma rectangular con una capacidad de 15 litros (volumen de trabajo 10 L), con cátodo (acero inoxidable) y ánodos (aluminio) de 200 mm x 175 mm x 3 mm, y fuente de corriente continua, los mejores resultados se lograron a un tiempo de energizado de 20 minutos, pH 7.5 unidades, intensidad de corriente 8 Amperios, separación de placas de 2,0 cm, siendo los resultados: remoción de la DBO<sub>5</sub> 72,38% (79,00 mL/L), remoción de la DQO 90,83% (10,00 mL/L), remoción de la Turbiedad 99,02% (0,84 NTU), remoción de SST 95,93% (25,00 mL/L), remoción de AyG de 81,02% (4,10 mL/L).

Mientras nuestros resultados para una intensidad de 20.84 A de 18,506 mA/cm<sup>2</sup>, 15 minutos de energización, sedimentación de 30 minutos, a flujo continuo de 1 L/minuto, ánodos y cátodos de aluminio y 7,6 de pH, fueron: 94,52% de reducción de DBO<sub>5</sub> (14,20 gr/L); 93,10% de reducción de DQO (35,40 gr/L); remoción de Turbiedad 93,10% (10 NTU); 89,77% de reducción de SST (25,00 mg/L); 98,77% de reducción de AyG (< 0,50 gr/L). siendo nuestros resultados de mayor significancia a pesar que los realizados por Cuba fueron con aguas grises de mucha menor carga.

**6.3.4.** El trabajo de investigación elaborado por L. Riccio (2010), denominado, “Remoción de aceite y grasas de aguas residuales de la Universidad Nacional del Centro del Perú, por electrocoagulación, a nivel de laboratorio”, se realizó con una celda electrolítica del tipo Batch, construida de un material termoplástico cuyas dimensiones y características:

- Altura : 15,00 (cm)



125

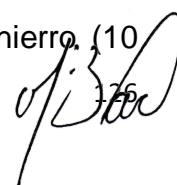


- Largo : 20,50 (cm)
- Ancho : 17,00 (cm)
- Espesor del termoplástico : 0,50 (cm)
- Volumen total de la celda : 5228 (mL)
- Volumen útil : 3360 (mL)
- Ánodos de Pb, Fe y C, : 8,5 x 12,0 cm
- Cátodos Al, : 8,5 x 12,0 cm

Consiguiéndose los mejores resultados, trabajando con el siguiente protocolo: número de placas 7 unidades, distancia de las placas 3,0 cm, Intensidad de corriente 2 Amp. y Densidad de corriente 20 A/m<sup>2</sup> (2,0 mA/cm<sup>2</sup>), para superficie total de contacto de 1008 cm<sup>2</sup>, y ánodos de Fe, tiempo de energizado de 60 minutos, siendo los resultados obtenidos siguientes: pH 7,64, remoción de AyG 93,90% (89,60 mg/L), remoción de ST 42,40% (2140 mg/L), remoción de DQO 53,5% (2061,60 mg/L), reducción de DBO<sub>5</sub> 55,80% (728 mg/L) y la remoción de Fe 4,6% (0,788 mg/L).

Mientras nuestros resultados para una intensidad de 20.84 A (densidad de corriente de 18,506 mA/cm<sup>2</sup>), 15 minutos de energización, sedimentación de 30 minutos, a flujo continuo de 1 L/minuto, ánodos y cátodos de aluminio y 7,6 de pH, fueron: 98,77% de reducción de AyG (< 0,50 gr/L); 89,77% de reducción de SST (25,00 mg/L); 93,10% de reducción de DQO (35,40 gr/L); y 94,52% de reducción de DBO<sub>5</sub> (14,20 gr/L); y 62,78 de reducción del Hierro (0,415 mg/L), significativamente nuestro resultados parecieran ser también muy significativos, si bien es cierto, Ricio trabajo con efluente de mucha mayor carga, el utilizo una hora de energización para lograr sus resultados a menor densidad de corriente.

**6.3.5.** (Guanoluiza LI., 2013), en su tesis, titulado: "Dimensionamiento de un sistema de electrocoagulación aplicado al tratamiento de aguas residuales domésticas, con y sin irradiación de electrones acelerados", se utilizó una celda para la electrocoagulación de (Altura de 17,2 cm x Longitud de 0,31 cm x Ancho de 13,8 cm), con volumen efectivo de 6,5 litros, se utilizaron ánodos de hierro. (10

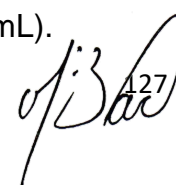


unidades) y cátodos de aluminio (10 unidades) con las dimensiones (ancho 13,8 cm x 10,0 cm y espesor de 3 mm), trabajando a un flujo de 18 L/h y una intensidad de corriente de 13 A (densidad de corriente de 9.42 mA/cm<sup>2</sup>), 16 Voltios, tiempo de energización de 30 minutos, sin irradiación previa, obteniendo los siguientes resultados: remoción de DQO de 100% (315 mg/L), remoción de AyG 75% (1,53 mg/L), remoción ST 55% (0,30 g/L), remoción del Ca<sup>+2</sup> 92% (2,80 mg/L), remoción de CT 99% (16500,00 UFC/100mL).

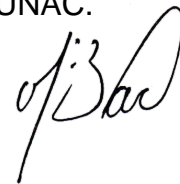
Nuestros resultados fueron mucho más significativos, porque el periodo de energizado fue de 15 minutos, densidad de corriente eléctrica de 18.506 mA/cm<sup>2</sup> y flujo equivalente a 60 L/h, obteniendo los siguientes resultados: remoción de DQO 93.10% (residual de 35,40 mg/L); remoción de AyG de 98,77% (residual <0,50 gr/L); 89,77% de reducción de SST (residual de 25,00 mg/L); 62,78 de reducción del Hierro (residual de 0,415 mg/L) y 99,99% de reducción de CT (residual de 70 NMP/100mL).

- 6.3.6.** (Roblez M. & López B., 2017), en su experimentación realizada a 18 A, 22 V y tiempo de energización entre 50 y 60 minutos, se obtuvieron eficiencias de remoción de Turbidez 97% (residual 10 NTU); remoción de DQO 83% (residual de 48 mg/L), remoción de DBO<sub>5</sub> 83,33% (residual de 200 mg/L), sólidos totales disueltos 54% (residual de 0,35 mg/L), Coliformes (99,9%) y Oxígeno disuelto 580% (incremento 5 mg/L), a pH de 8.2 unidades”

Mientras los resultados conseguidas en la presente investigación, realizadas en el prototipo del ECs y bajo las condiciones de operación (quinta prueba), densidad de corriente de 18.506 mA/cm<sup>2</sup> durante 15 minutos, de energización y sedimentación de 30 minutos, fuero muy significativas, lográndose los siguientes resultados: remoción de la Turbiedad 93,10% (residual de 10NTU), remoción de la DQO 93.10% (residual de 35,40 mg/L); reducción de la DBO<sub>5</sub> 94,52% (residual de 14,20 mg/L), remoción de A y G de 98,77% (residual <0,50 gr/L); 89,77% de reducción de SST (residual de 25,00 mg/L); 62,78 de reducción del Hierro (residual de 0,415 mg/L) y 99,99% de reducción de CT (residual de 70 NMP/100mL).



**6.4. 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°334-2021-R-Callao del 07 de junio de 2021, con periodo de ejecución del 1° de mayo al 31 de octubre. Responsabilizándome por el total del contenido del documento, el mismo que he 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.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'of: Ba' or similar, written in a cursive style.

## CONCLUSIONES

1. El Prototipo del Sistema de Tratamiento Secuencial por Electrocoagulación (PSTSEC), construido con planchas de Acrílico transparente, constituido de dos celdas, un sedimentador del tipo lamelar y fuente de poder con tablero eléctrico:

Las celdas cuentan de tres secciones, con las siguientes dimensiones:

- |    |  |             |
|----|--|-------------|
| a. | Volumen total de la celda:                   | 30 litros   |
| b. | Volumen de trabajo:                          | 15,6 litros |
| c. | Largo:                                       | 29,5 cm     |
| d. | Ancho:                                       | 29,5 cm     |
| e. | Profundidad:                                 | 30,0 cm     |
| f. | Profundidad útil:                            | 18,0 cm     |
| g. | Volumen de la zona de flotación de espumas:  | 8 litros    |
| h. | Altura de la zona de flotación de espumas:   | 16,5 cm     |
| i. | Volumen de la zona de reacción y sedimentos: | 15,6 litros |
| j. | Profundidad de la Zona de reacción:          | 15,0 cm     |
| K. | Profundidad de la zona de sedimentos:        | 03,0 cm     |

Mientras el sedimentador lamelar, tiene las siguientes dimensiones:

- |    |  |                 |
|----|--|-----------------|
| a. | Área de la sección superior:                 | 25 cm x 25 cm   |
| b. | Área de la sección superior en el ingreso:   | 7,5 cm x 25 cm  |
| c. | Profundidad vertical:                        | 10 cm           |
| d. | Área de la sección superior en la salida:    | 15,7 cm x 25 cm |
| e. | Profundidad vertical:                        | 10 cm           |
| f. | Angulo inclinación (zona de sedimentación):  | 60°             |
| g. | Profundidad vertical:                        | 20 cm           |
| h. | Área de la sección (zona de sedimentación):  | 7,5 cm x 25 cm  |
| i. | Angulo inclinación (zona de tolva de lodos): | 60°             |
| j. | Área de la sección (zona de tolva de lodos): | 25 cm x 25 cm   |
| k. | Profundidad vertical de la tolva:            | 23 cm           |
| l. | Sección de ascenso a través de las lamelas:  | 15,7 cm x 25 cm |
| m. | Profundidad vertical zona de las lamelas:    | 20 cm           |
| n. | Angulo inclinación de las lamelas:           | 60°             |
| o. | Numero de lamelas:                           | 6 unidades      |
| p. | Dimensiones de las lamelas:                  | 25 cm x 21,5 cm |

Fuente de poder:

- Ingreso de carga 220 V,
- Frecuencia 50/60 Hz
- Variación de Voltaje: de 0 a 50 V
- Amperaje: de 0 a 30 A



- Potencia: 1500 W
- Resolución en pantalla: +/- 100mV y 10 mA
- Tamaño del chasis: Largo 260mm, Ancho 380 y Altura 160 mm
- Peso: 5.5 kg.

2. Las condiciones de operación en la que se logran los mejores resultados, fueron:

a. Caudal:	60 L/hr.
b. Voltaje:	20,84 Volt.
c. Amperaje:	13 Amp.
d. Densidad de corriente eléctrica:	18,506 mA/cm <sup>2</sup>
e. Periodo de energizado:	15 min.
f. Periodo de sedimentación:	30 min.

3. Los resultados más significativos y que cumplen con los Límites Máximo Permisibles de la Categoría III de aguas para riego del Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM: Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias (7 de junio 2017), siendo los resultados más significativos los siguientes: reducción de Turbiedad 93,10% (valor final 10 NTU); 94,52% de DBO<sub>5</sub> (valor final 14,20 gr/L); 93,10% DQO (valor final 35,40 gr/L); 98,77% AyG (valor final < 0,50 gr/L); 89,77% SST (valor final 25,00 mg/L); 99,99% CT (valor final 70 NMP/100mL); 62,78% Hierro (valor final 0,415 mg/L).

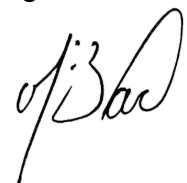
4. La reducción de grasas y aceites en el Prototipo del Sistema de Tratamiento Secuencial por Electrocoagulación (PSTSEC), se favorece debido a la gran cantidad de burbuja generada por la formación de hidrogeno.

5. Densidad de corriente: El suministro de corriente al sistema de electrocoagulación determina la cantidad de iones de aluminio Al<sup>+3</sup> 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

- El Prototipo del Sistema de Tratamiento Secuencial por Electrocoagulación (PSTSEC), es factible de ser patentado bajo la modalidad de Modelo de Utilidad.
- El Prototipo del Sistema de Tratamiento Secuencial por Electrocoagulación (PSTSEC), es una unidad que tal como está diseñada permite ser usada como instrumento de laboratorio para la enseñanza de la Electrocoagulación, permitiendo el cambio de electrodos, la separación, manipular diversas condiciones operación, y ensañar con otros efluentes del tipo industrial.
- Las espumas generadas durante el proceso de energización en las celdas del electrocoagulador producto de los gases de hidrogeno producidos en el cátodo ( $2H_2O_{(l)} + 2e^- \rightarrow 2OH^-_{(ac)} + H_{2(g)}$ ) por reducción de este, es muy probable que arrastre en las espumas hidróxido de aluminio que no llega a reaccionar, en consecuencia, estas espumas tienen acción de coagulante, por lo que se recomienda hacer la investigación respectiva con el fin de reciclar quizás previamente hacia el afluente antes de que ingrese a la celda de energización.
- Implementar al Prototipo del Sistema de Tratamiento Secuencial por Electrocoagulación (PSTSEC), de un Decantador con Manto de Lodos (Tipo Pulsator) a fin de evaluar su eficiencia como un sistema de tratamiento para potabilización de aguas, complementado con la unidad de filtración, lo que correspondería a un nuevo proyecto de investigación.



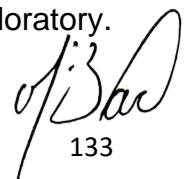


## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- APHA, AWWA & WPCF, (2005); Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater. 24 Edition USA.
- Aguilar Ascon, E. A. (2015). "Evaluación de la eficiencia de una celda de electrocoagulación a escala laboratorio para el tratamiento de agua [Universidad Nacional Mayor De San Marcos]. <https://bit.ly/3RZIGZV>
- Aquafondo. (2015). Lima, mega ciudad en el desierto. Disponible: [Http://Aquafondo.Org.Pe/Wp-Content/Uploads/2015/11/1.\\_Lima\\_-\\_Megaciudad\\_en\\_el\\_Desierto.Pdf](Http://Aquafondo.Org.Pe/Wp-Content/Uploads/2015/11/1._Lima_-_Megaciudad_en_el_Desierto.Pdf), Vol. 1(3), 4.
- Arango Ruiz, Á. (2005). La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales. Revista Lasallista de Investigación, 2(1), 49–56.
- Baca Neglia. M. (2018). "Evaluación de un sistema de tratamiento continuo por electrocoagulación para los efluentes domésticos y su reúso en el riego de jardines y áreas verdes." Univerdidad Nacional Del Callao, 1, 84. <http://hdl.handle.net/20.500.12952/5053>
- Barboza P, G. I. (2011). Reducción de la Carga de Contaminantes de las Aguas Residuales de la Planta de Tratamiento de Totorá –Ayacucho Empleando la Técnica de Electrocoagulación. (Vol. 01, Issue 22). EPG de la Universidad de Ingeniería.
- Barco R. Hector, Rojas C. Edilberto, Restrepo P. Elisabeth (2012). FÍSICA Principios de Electricidad y Magnetismo. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, pag. 171; <https://bit.ly/3RV4Mgb>
- Canto-Ríos, J. de J., Martín-Domínguez, A., Pérez-Castrejón, S., Alcocer-Yamanaka, V., & Tzatchkov-Velitchko, G. (2017). Modelación hidráulica de un reactor de electrocoagulación tubular de sección anular. Tecnología y Ciencias Del Agua, 08(3), 111–126. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-03-07>

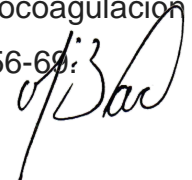


- Chen, G. (2004). Electrochemical technologies in wastewater treatment. *Separation and Purification Technology*, 38(1), 11–41. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2003.10.006>
- Cuba Tello, M. V., Alcocer Meneses, P., & Pacheco Ortíz, M. (2019). Tratamiento de agua residual procedente de lavadoras por el método de electrocoagulación para la reutilización en riego de vegetales – Ate Vitarte. *Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 22(44), 65–74. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v1i1.17287>
- Gilpavas, E. (2012). Aplicación de la electroquímica en el tratamiento de aguas residuales. *Cuadernos de Investigación*, 65, 85. <http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/cuadernos-investigacion/article/view/1279>
- Guanoluiza Llive, L. E. (2013). Dimensionamiento de un sistema de electrocoagulación aplicado al tratamiento de aguas residuales domésticas, con y sin irradiación de electrones acelerados. 250. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/7062>
- INEI. (2016). Perú: Formas De Acceso Al Agua Y Saneamiento Básico. Síntesis Estadística. Perú: Formas de Acceso Al Agua y Saneamiento Básico, 1–28. [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin\\_agua.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin_agua.pdf)
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2020). PERU Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI. In Inei (pp. 1–1). <https://cutt.ly/xNmXsT0>
- Lara Borrero, J. A. (1999). Depuración de Aguas Residuales Municipales con Humedales Artificiales (Issue January 1999) [Universidad Politecnica De Cataluña - Instituto Catalan De Tecnología]. <https://cutt.ly/rNmXIT2>
- María Camila García Vaca<sup>1</sup>, César Augusto García Ubaque<sup>2</sup>, J. S. de P. S. (2016). Estudio exploratorio del tratamiento de agua de lavado de tintas por método de electrocoagulación/electroflotación Exploratory. *Tecnura*, 20(47), 107–117. <https://bit.ly/3TrIWID>



133

- Mercado Martínez. (2010). En busca de la depuración de la materia orgánica : reactor fisicoquímico vs . reactor de electrocoagulación. September 2010. <https://www.researchgate.net/publication/280238632>
- Moscoso C., J. (2011). Estudio de opciones de tratamiento y reuso de aguas residuales en Lima Metropolitana. 90. <https://cutt.ly/HNmCQp3>
- Murillo Barraza, A. P. (2016). Propuesta de tratamiento para el agua residual industrial generada por procesos de cromado mediante electrocoagulación. [Facultad de Ingeniería Química -]. In Fundacion Universidad de America - Bogota. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/428>
- Riccio, L. F. (2010). “Remoción de aceites y grasas de aguas residuales de la Universidad Nacional del Centro del Perú, por electrocoagulación, a nivel de laboratorio.” Universidad Nacional de Trujillo. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/7727>
- Roblez Mendoza, L. K., & López Bueno, A. F. (2017). Diseño de un prototipo para el tratamiento de aguas residuales domésticas, basado en electrocoagulación. Universidad de La Salle. [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_civil/315](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil/315)
- Sampieri, R. H. (2018). Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. McGraw Hill México.
- Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima. (2022). Sedapal presentó registros de consumo de agua de los distritos de Lima y Callao. <https://cutt.ly/vNmBZNg>
- Cuicas, J. R. P., & Cuadra, R. L. A. (2017). Evaluación de la electrocoagulación en el tratamiento de agua potable. Química Viva, 16(1), 56-69.



## ANEXOS

- **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.**

## Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias

DECRETO SUPREMO  
N° 004-2017-MINAM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

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;

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;

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;

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;

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;

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;

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;

Que, asimismo, mediante Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM se modifican los ECA para Agua y se establecen disposiciones complementarias para su aplicación;

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;

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;

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,

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;

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;

DECRETA:

### Artículo 1.- Objeto de la norma

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.

### Artículo 2.- Aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Apruébase los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, que como Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo.

### Artículo 3.- Categorías de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Para la aplicación de los ECA para Agua se debe considerar las siguientes precisiones sobre sus categorías:

#### 3.1 Categoría 1: Poblacional y recreacional

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

Entiéndase como aquellas aguas que, previo tratamiento, son destinadas para el abastecimiento de agua para consumo humano:

##### - 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.

##### - A2. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional

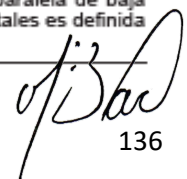
Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional, mediante dos o más de los siguientes procesos: Coagulación, floculación, decantación, sedimentación, y/o filtración o procesos equivalentes; incluyendo su desinfección, de conformidad con la normativa vigente.

##### - 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.

##### 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:





**- 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, palabritas, 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 Típacica, 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.

Precítese 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
<b>FÍSICOS-QUÍMICOS</b>				
Ácidos 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	( $\mu$ S/cm)	1 500	1 600	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	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 <sub>2</sub> ) (c)	mg/L	50	50	50
Nitritos (NO <sub>2</sub> ) (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	5,5 – 9,0	5,5 – 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	**
<b>INORGÁNICOS</b>				
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	**	**

*of: Bae*  
139

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
<b>ORGÁNICOS</b>				
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C <sub>6</sub> -C <sub>10</sub> )	mg/L	0,01	0,2	1,0
Trihalometanos (e)	(e)	1,0	1,0	1,0
Bromoformo	mg/L	0,1	**	**
Cloroformo	mg/L	0,3	**	**
Dibromoclorometano	mg/L	0,1	**	**
Bromodiclorometano	mg/L	0,06	**	**
<b>I. COMPUESTOS ORGANICOS VOLÁTILES</b>				
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	**
<b>BTEX</b>				
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	**
<b>Hidrocarburos Aromáticos</b>				
Benzo(a)pireno	mg/L	0,0007	0,0007	**
Periclorofenol (PCP)	mg/L	0,009	0,009	**
<b>Organofosforados</b>				
Malebión	mg/L	0,19	0,0001	**
<b>Organoclorados</b>				
Aldrin + Dieldrin	mg/L	0,00003	0,00003	**
Clordano	mg/L	0,0002	0,0002	**
Dicloro Difenil 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	**
<b>Carbamato</b>				
Aldicarb	mg/L	0,01	0,01	**
<b>II. CIANOTOXINAS</b>				
Microcistina-LR	mg/L	0,001	0,001	**
<b>III. BIFENILOS POLICLORADOS</b>				
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,0005	0,0005	**
<b>MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS</b>				
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, protozoos, copepodos, rotíferos, nemátodos, en todos sus estadios evolutivos) (f)	N° Organismo/L	0	<5x10 <sup>6</sup>	<5x10 <sup>6</sup>

(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 (NO<sub>3</sub>-N), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO<sub>3</sub>).

*of. Bar*  
140

(d) En el caso de 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 ( $\text{NO}_2$ ).

(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:

$$\frac{C_{\text{cloroformo}}}{ECA_{\text{cloroformo}}} + \frac{C_{\text{dibromoclorometano}}}{ECA_{\text{dibromoclorometano}}} + \frac{C_{\text{bromodichlorometano}}}{ECA_{\text{bromodichlorometano}}} + \frac{C_{\text{bromoformo}}}{ECA_{\text{bromoformo}}} \leq 1$$

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.

Δ 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
<b>FÍSICOS- QUÍMICOS</b>			
Aceites y Grasas	mg/L	Ausencia de película visible	**
Cianuro Libre	mg/L	0,022	0,022
Cianuro Wed	mg/L	0,08	**
Color	Color verdadero Escala Pt/Co	Sin cambio normal	Sin cambio normal
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	5	10
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	30	50
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,5	Ausencia de espuma persistente
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Nitritos ( $\text{NO}_2\text{-N}$ )	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	**
<b>INORGÁNICOS</b>			
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	**
Niquel	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	**
<b>MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO</b>			
Coliformes Tototolerantes	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
<b>FÍSICOS- QUÍMICOS</b>					
Aceites y Grasas	mg/L	1,0	1,0	2,0	1,0
Cianuro Wed	mg/L	0,004	0,004	**	0,0052
Color (después de filtración simple) (b)	Color verdadero Escala PTCo	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 <sub>5</sub> )	mg/L	**	10	10	10
Fósforo Total	mg/L	0,062	0,062	**	0,025
Nitratos (NO <sub>3</sub> ) (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 Suspendidos 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
<b>INORGÁNICOS</b>					
Amoníaco Total (NH <sub>3</sub> )	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
Taño	mg/L	**	**	**	0,0008
Zinc	mg/L	0,081	0,081	0,12	1,0
<b>ORGÁNICO</b>					
Hidrocarburos Totales de Petróleo (fracción aromática)	mg/L	0,007	0,007	0,01	**
<b>Bifenilos Policlorados</b>					
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,00003	0,00003	0,00003	0,000014
<b>ORGANOLÉPTICO</b>					
Hidrocarburos de Petróleo	mg/L	No visible	No visible	No visible	**
<b>MICROBIOLÓGICO</b>					
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 (NO<sub>3</sub>-N), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO<sub>3</sub>).

(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 NH<sub>3</sub>).

*of: Bae*  
142

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 NH<sub>3</sub>)

Temperatura (°C)	pH							
	6	6,5	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	3,26	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	0,256	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 (NH<sub>3</sub>-N), multiplicar el resultado por el factor 1,22 para expresarlo en las unidades de Amoníaco (NH<sub>3</sub>).

**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
<b>FÍSICOS- QUÍMICOS</b>				
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 <sub>5</sub> )	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 <sub>2</sub> -N) + Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L	100		100
Nitrosos (NO <sub>2</sub> -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
<b>INORGÁNICOS</b>				
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
Níquel	mg/L	0,2		1
Plomo	mg/L	0,05		0,05
Selenio	mg/L	0,02		0,05
Zinc	mg/L	2		24
<b>ORGÁNICO</b>				
<b>Bifenilos Policlorados</b>				
Bifenilos Policlorados (PCB)	µg/L	0,04		0,045
<b>PLAGUICIDAS</b>				
Paratión	µg/L	35		35
<b>Organoclorados</b>				
Aldrin	µg/L	0,004		0,7
Clordano	µg/L	0,006		7
Dicloro Difetil 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
<b>Carbamato</b>				
Aldicarb	µg/L	1		11
<b>MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO</b>				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	1 000
Escherichia coli	NMP/100 ml	1 000	**	**
Huevos de Helminthos	Huevo/L	1	1	**

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

(b): Después de filtración simple.

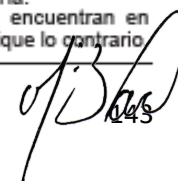
(c): Para el riego de parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales, sólo aplican los parámetros microbiológicos y parasitológicos del tipo de riego no restringido.

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.

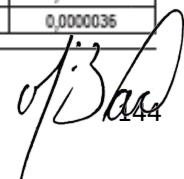
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.





## 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
<b>FÍSICOS-QUÍMICOS</b>						
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	(µS/cm)	1 000	1 000	1 000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	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 <sub>2</sub> ) (c)	mg/L	13	13	13	200	200
Amoníaco Total (NH <sub>3</sub> )	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
<b>INORGÁNICOS</b>						
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**	**
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
Talio	mg/L	0,0008	0,0008	0,0008	**	**
Zinc	mg/L	0,12	0,12	0,12	0,081	0,081
<b>ORGÁNICOS</b>						
<b>Compuestos Orgánicos Volátiles</b>						
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
<b>RTEK</b>						
Benceno	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
<b>Hidrocarburos Aromáticos</b>						
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
Fluorenteno	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
<b>Bifenilos Policlorados</b>						
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,000014	0,000014	0,000014	0,00003	0,00003
<b>PLAGUICIDAS</b>						
<b>Organofosforados</b>						
Malatión	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Paraatión	mg/L	0,000013	0,000013	0,000013	**	**
<b>Organoclorados</b>						
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'-DDD 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	0,000019	0,000019
Endosulfán	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,000087	0,000087
Endrin	mg/L	0,000036	0,000036	0,000036	0,000023	0,000023
Heptacloro	mg/L	0,000038	0,000038	0,000038	0,000036	0,000036



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
<b>Carbamato</b>						
Aldicarb	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,00015	0,00015
<b>MICROBIOLÓGICO</b>						
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 ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos ( $\text{NO}_3$ ).
- 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 Amoníaco Total en función del pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de  $\text{NH}_3$ ) 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 Amoníaco 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  $\text{NH}_3$ ).

**Tabla N° 2: Estándar de calidad de Amoníaco 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  $\text{NH}_3$ )**

pH	Temperatura (°C)							
	0	5	10	15	20	25	30	35
<b>Salinidad 10 g/kg</b>								
7,0	41,00	29,00	20,00	14,00	9,40	6,60	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
<b>Salinidad 20 g/kg</b>								
7,0	44,00	30,00	21,00	14,00	9,70	6,60	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
<b>Salinidad 30 g/kg</b>								
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 Amoníaco 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 Amoníaco-N ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ), multiplicar el resultado por el factor 1.22 para expresarlo en las unidades de Amoníaco ( $\text{NH}_3$ ).

**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

*of: Ba* 145

## APENDICE

**Matriz de Consistencia. -**

TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN						
EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO SECUENCIAL POR ELECTROCOAGULACION PARA LOS EFLUENTES DOMÉSTICOS Y SU REÚSO EN EL RIEGO DE JARDINES Y ÁREAS VERDES-SEGUNDA PARTE						
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><b>Objetivo General. -</b> Diseñar un sistema de tratamiento secuencial 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><b>Objetivos Específicos. -</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar, las características de los efluentes domésticos previos a su tratamiento.</li> <li>• Diseñar, construir el sistema de tratamiento secuencial por electrocoagulación para los efluentes domésticos, constituidos de dos electrocoaguladores montados de forma paralela.</li> <li>• Operar el sistema de tratamiento para evaluar su eficiencia.</li> <li>• Identificar las condiciones de operación del sistema de tratamiento secuencial por electrocoagulación para los efluentes domésticos</li> </ul>	“La calidad de los efluentes domésticos tratados para su reutilización, mediante un sistema de tratamiento secuencial por electrocoagulación cumplirán con los ECAs que permitan su reúso como agua de riego”.	<p><b>Independiente X:</b> Sistema de tratamiento secuencial por electrocoagulación.</p> <p><b>Dependiente Y:</b> Calidad de los efluentes domésticos tratados para su reutilización</p>	<p>X<sub>1</sub>: Caudal (M<sup>3</sup>/día) X<sub>2</sub>: Carga Superficial M<sup>3</sup>/M<sup>2</sup>. día X<sub>3</sub>: Tiempo de retención hidráulica Trh X<sub>4</sub>: Voltaje X<sub>5</sub>: Amperaje X<sub>6</sub>: Densidad de corriente eléctrica mA/cm<sup>2</sup></p> <p>Y<sub>1</sub>: Potencial hidrogeno (pH) Y<sub>2</sub>: Demanda Química de Oxígeno (DQO) Y<sub>3</sub>: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) Y<sub>4</sub>: Aceites y Grasas. (AyG) Y<sub>5</sub>: Coliformes Totales (CT) Y<sub>6</sub>: Turbiedad Y<sub>7</sub>: Metales (ME)</p>	<p>X<sub>1</sub>: 60 L/h X<sub>2</sub>: M<sup>3</sup>/M<sup>2</sup>.dia X<sub>3</sub>: hr X<sub>4</sub>: Volt. X<sub>5</sub>: Amperios X<sub>6</sub>: mA/cm<sup>2</sup></p> <p>Y<sub>1</sub>: 6–8.5 unid Y<sub>2</sub>: 40 mg/L Y<sub>3</sub>: 15 mg/L Y<sub>4</sub>: 5 mg/L Y<sub>5</sub>: 1000 NMP /100mL Y<sub>6</sub>: No registro Y<sub>7</sub>: ppm</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 ICPOES, SMWW</p> <p><b>Investigación:</b> Experimental <b>Tipo:</b> Aplicada <b>Diseño:</b> G 0<sub>1</sub> X 0<sub>2</sub></p>

**Nota:** En el que **G** representa el grupo de muestra de efluente doméstico, (**0<sub>1</sub>**), 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 (**0<sub>2</sub>**) el nivel que alcanzo luego del tratamiento.

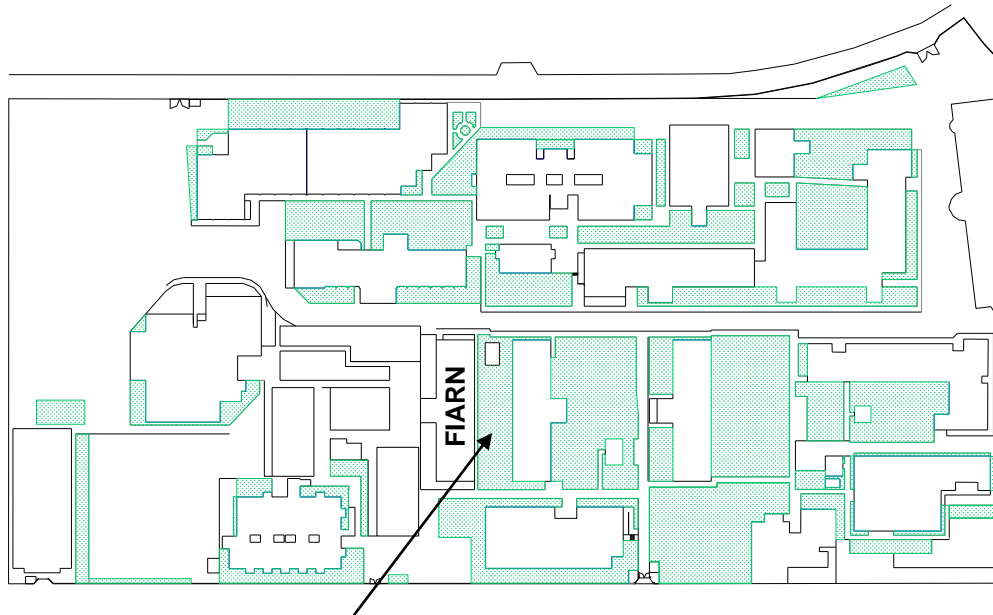
**Código Plan Nacional CTI: 0302.0006 (Tecnologías adecuadas para la disposición, tratamiento y reúso de aguas residuales domésticas),**

**Código UNESCO: 3308.06 (Regeneración del Agua).**

*of: Bao*<sup>147</sup>

**Figura 4.4.1**

*Jardín posterior de la FIARN, lugar donde se proyectó ubicar al Sistema de Tratamiento Secuencial de Electrocoagulación.*

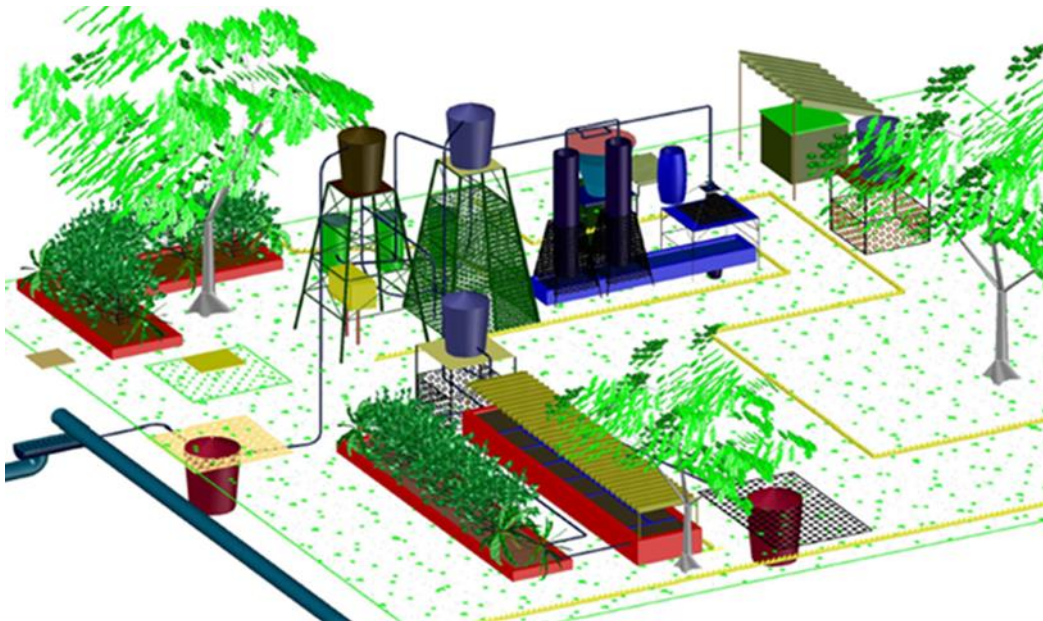


**Jardín posterior de la FIARN**

Fuente: Oficina de Infraestructura de la Universidad Nacional del Callao

**Figura 4.4.2**

*Lugar planeado para ubicar el prototipo del Sistema de Tratamiento Secuencial de Electrocoagulación.*



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



**Figura 4.4.3**

*Vista del Lado derecho del Electrocoagulador del proyecto previo*



**Figura 4.4.3**

*Vista del Lado izquierdo del Electrocoagulador del proyecto previo*





# Formato: Cadena de Custodia – Matriz Agua

ALAB		CADENA DE CUSTODIA - MATRIZ AGUA										I: E-0PE-1.4.2 R: 01 LV: 2020-Feb-10													
<b>Datos del cliente</b> Razón Social: <u>JHR Ingenieros Químicos SAC.</u> Persona de contacto: <u>Maximo Baca Neglia</u> Correo / Teléfono: <u>995 195 227</u> Nombre del proyecto: <u>Análisis de Agua</u>										Orden de servicio: <u>2286</u> Pág. ____ de ____ Plan de Monitoreo: Informe de ensayo: <u>16-22-7935 / CC-22-26696</u> Procedencia o lugar de muestreo: <u>San Isidro</u>															
<table border="1"> <tr> <td>Preservante</td> <td>M504</td> <td>M504</td> <td>M403</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>												Preservante	M504	M504	M403										
Preservante	M504	M504	M403																						
Item	Punto de muestreo / Estación	Código de laboratorio	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA		Ubicación	N° Frascos		PARAMETROS DE ENSAYO										PARAMETRO IN SITU			OBSERVACIONES				
			Grupo	Sub-grupo		Coordenadas (UTM)	V	P	A y B	D80	D90	55T	CT	MATERIAS SÓLIDAS	T° Mtra (°C)	pH (Unidad de pH)	CE (us/cm)	OD (mg/L)	Cloro Libre (mg/L)	Cloro Total (mg/L)					
1	MI-01	24837	F: 23/05/22 H: 9:45.m.	AR DOM	N:			✓	✓	✓	✓	✓									Muestra control				
2	MI-01	24838	F: 23/05/22 H: 10:40.m.	AR DOM	N:			✓	✓	✓	✓	✓									Muestra Tratada 1				
3	MI-02	24839	F: 23/05/22 H: 10:56.m.	AR DOM	N:			✓	✓	✓	✓	✓									Muestra Tratada 2				
4	MI-03	24840	F: 23/05/22 H: 1:00.p.m.	AR DOM	N:			✓	✓	✓	✓	✓									Muestra Tratada 3				
5	MI-04	24841	F: 23/05/22 H: 1:20.p.m.	AR DOM	N:			✓	✓	✓	✓	✓									Muestra Tratada 4				
6	MI-05	24842	F: 23/05/22 H: 3:00.p.m.	AR DOM	N:			✓	✓	✓	✓	✓									Muestra Tratada 5				
7			F:		N:																				
8			H:		E:																				
<b>Descripción de equipos utilizados:</b> Item: Código interno del equipo Nombre de equipo			<b>Leyenda</b> F: Fecha N: Norte V: Vidrio T° Mtra: Temperatura de Muestra CE: Conductividad Eléctrica H: Hora E: Este P: Plástico T° Amb: Temperatura ambiente OD: Oxígeno Disuelto			<b>Leyenda</b> Muestreado por: Cliente:			<b>Clasificación de la Matriz Agua, Ref: NTP 214.042</b>																
Nombre: <u>Evio Melendez Guizado</u> Fecha: <u>23/05/22</u> Firma: <u>[Firma]</u>			GRUPO SUB-GRUPO AN: Agua Natural SUBTERRANEA (Abundant - Frecu) AR: Agua Residual DOMESTICA - INDUSTRIAL - MUNICIPAL AH: Agua para Uso y Consumo Humano PISCINA Y LAGUNA ARTIFICIAL BEBIDA (PROMO, MESA, ENVASADO) AS: Agua Salada MAR - SALGADRES - SALMERA AGUA INYECCION Y REINYECCION AP: Agua de Proceso CIRCULACION O ENFRAMIENTO - AGUA DE CALDERAS ALIMENTACION DE CALDERAS - AGUA DE BOMBAO AGUA PURIFICADA - AGUA DE INYECCION Y REINYECCION			Muestreado por: <input type="checkbox"/> ALAB <input checked="" type="checkbox"/> Cliente																			
<b>Observaciones / Comentarios</b> [Espacio en blanco]																									

*[Firma manuscrita]*  
150

## Informe de laboratorio



LABORATORIO DE ENSAYO  
ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE  
ACREDITACION INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

### INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-7935

N° Id.: 0000051612

#### I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL : DR. MÁXIMO FIDEL BACA NEGLIA  
2.-DIRECCIÓN : Ca. LA HABANA 255 / 265 SAN ISIDRO - LIMA  
3.-PROYECTO : EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO SECUENCIAL POR ELECTROCOAGULACIÓN PARA LOS EFLUENTES DOMÉSTICOS Y SU REÚSO EN EL RIEGO DE JARDINES Y ÁREAS VERDES-SEGUNDA PARTE  
4.-PROCEDENCIA : SAN ISIDRO  
5.-SOLICITANTE : DR. MÁXIMO FIDEL BACA NEGLIA  
6.-ORDEN DE SERVICIO N° : 000002286-2022-0000  
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : NO APLICA  
8.-MUESTREADO POR : EL CLIENTE  
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME : 2022-06-01

#### II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO : Agua  
2.-NÚMERO DE MUESTRAS : 6  
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA : 2022-05-23  
4.-PERÍODO DE ENSAYO : 2022 05-23 al 2022-06-01

Liz Y. Quispe Quispe  
Jefe de Laboratorio  
CIP N° 211662

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados.  
No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R. L  
Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

151

**INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-7935**

N° Id.: 000051612

**III. MÉTODOS Y REFERENCIAS**

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Coliformes Totales (NMP) <sup>2</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 B, 23rd Ed. 2017.	Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique.
Demanda Bioquímica de Oxígeno <sup>1</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23 rd Ed. 2017	Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test
Aceites y Grasas <sup>1</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5520 B, 23 rd Ed 2017	Oil and Grease. Liquid-Liquid, Partition-Gravimetric Method
Sólidos Suspendidos Totales <sup>1</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 23 rd Ed. 2017	Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105°C
Demanda Química de Oxígeno <sup>1</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23 rd Ed. 2017	Chemical Oxygen Demand. Closed Reflux, Colorimetric Method
Metales Totales ICPOES <sup>2</sup>	EPA METHOD 200.7 Rev.4.4., 1994 /VALIDATED (Applied out of reach), 2018.	Dissolved Metals: Ag, Al, As, B, Ba, Be, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sb, Se, SiO <sub>2</sub> , Sn, Sr, Ti, Tl, V, Zn, Hg. Validated: U, Bi. Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry.

<sup>1</sup>EPA\*: U. S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemicals Analysis

<sup>1</sup>"SMEWW": Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

<sup>1</sup> Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

<sup>2</sup> Ensayo acreditado por el IAS

INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-7935

N° Id.: 0000051612

IV. RESULTADOS

ITEM	1	2	3	4			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-22-24837	M-22-24838	M-22-24839	M-22-24840			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	MC-01	MT-01	MT-02	MT-03			
COORDENADAS:	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA			
UTM WGS 84:	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA			
PRODUCTO:	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual			
SUB PRODUCTO:	Efluente Doméstico	Efluente Doméstico	Efluente Doméstico	Efluente Doméstico			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA						
FECHA y HORA DE MUESTREO :	23-05-2022 09:45	23-05-2022 10:44	23-05-2022 10:56	23-05-2022 13:00			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS			
Coliformes Totales (NMP) <sup>2</sup>	NMP/100mL	NA	1,8	540 000 000,0	2 400 000,0	920 000,0	16 000,0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg/L	0,4	2,0	259,1	151,8	117,3	69,3
Aceites y Grasas (*)	mg/L	0,30	0,50	40,50	3,80	2,90	1,70
Sólidos Suspendidos Totales (*)	mg/L	2,0	5,0	244,3	150,0	122,5	98,0
Demanda Química de Oxígeno (*)	mg/L	2,0	5,0	513,0	412,7	262,6	95,7
<b>Metales Totales ICPOES</b>							
Aluminio <sup>2</sup>	mg/L	0,005	0,020	1,108	16,125	14,086	12,117
Antimonio <sup>2</sup>	mg/L	0,002	0,006	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Arsénico <sup>2</sup>	mg/L	0,002	0,008	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Bario <sup>2</sup>	mg/L	0,0002	0,0010	0,0575	0,0365	0,0335	0,0288
Berilio <sup>2</sup>	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Bismuto <sup>2</sup>	mg/L	0,009	0,030	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009
Boro <sup>2</sup>	mg/L	0,002	0,008	0,395	0,403	0,362	0,400
Cadmio <sup>2</sup>	mg/L	0,0001	0,0004	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Calcio <sup>2</sup>	mg/L	0,002	0,006	115,475	98,088	95,952	91,659
Cerio <sup>2</sup>	mg/L	0,02	0,07	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Cobalto <sup>2</sup>	mg/L	0,002	0,007	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Cobre <sup>2</sup>	mg/L	0,003	0,010	0,0628	1,1156	0,8436	0,6336
Cromo <sup>2</sup>	mg/L	0,0002	0,0008	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002

<sup>1</sup> Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

<sup>2</sup> Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<=" Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<=" Menor que el L.D.M.

NA: No Aplica

INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-7935

N° Id.: 0000051612

ITEM				1	2	3	4
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-22-24837	M-22-24838	M-22-24839	M-22-24840
CÓDIGO DEL CLIENTE:				MC-01	MT-01	MT-02	MT-03
COORDENADAS:				NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
UTM WGS 84:				NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
PRODUCTO:				Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual
SUB PRODUCTO:				Efluente Doméstico	Efluente Doméstico	Efluente Doméstico	Efluente Doméstico
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				NO APLICA			
FECHA y HORA DE MUESTREO:				23-05-2022 09:45	23-05-2022 10:44	23-05-2022 10:56	23-05-2022 13:00
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS			
Estaño <sup>2</sup>	mg/L	0,001	0,003	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Estroncio <sup>2</sup>	mg/L	0,00004	0,00010	0,99330	0,88890	0,85810	0,83280
Fosforo <sup>2</sup>	mg/L	0,01	0,04	3,85	2,03	1,88	1,56
Hierro <sup>2</sup>	mg/L	0,001	0,004	1,115	0,991	0,858	0,733
Litio <sup>2</sup>	mg/L	0,0003	0,0009	0,1137	0,1064	0,1058	0,1060
Magnesio <sup>2</sup>	mg/L	0,005	0,020	11,058	9,164	9,063	8,009
Manganeso <sup>2</sup>	mg/L	0,0001	0,0002	0,0689	0,0352	0,0287	0,0240
Mercurio <sup>2</sup>	mg/L	0,0001	0,0002	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Molibdeno <sup>2</sup>	mg/L	0,0006	0,0020	<0,0006	<0,0006	<0,0006	<0,0006
Niquel <sup>2</sup>	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Plata <sup>2</sup>	mg/L	0,002	0,007	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Piomo <sup>2</sup>	mg/L	0,002	0,006	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Potasio <sup>2</sup>	mg/L	0,04	0,10	16,76	16,05	16,07	16,07
Selenio <sup>2</sup>	mg/L	0,001	0,005	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Silice <sup>2</sup>	mg/L	0,001	0,004	15,274	8,753	5,247	4,174
Sodio <sup>2</sup>	mg/L	0,004	0,010	65,397	65,331	65,606	64,855
Talio <sup>2</sup>	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Titanio <sup>2</sup>	mg/L	0,0007	0,0020	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007
Uranio <sup>2</sup>	mg/L	0,005	0,020	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005

<sup>2</sup> Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Limite de cuantificación del método, \*<= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Limite de detección del método, \*<= Menor que el L.D.M.

NA: No Aplica

**INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-7935**

N° Id.: 0000051612

ITEM	1	2	3	4
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-22-24837	M-22-24838	M-22-24839	M-22-24840
CÓDIGO DEL CLIENTE:	MC-01	MT-01	MT-02	MT-03
COORDENADAS:	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
UTM WGS 84:	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
PRODUCTO:	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual
SUB PRODUCTO:	Efluente Doméstico	Efluente Doméstico	Efluente Doméstico	Efluente Doméstico
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA			
FECHA y HORA DE MUESTREO:	23-05-2022 09:45	23-05-2022 10:44	23-05-2022 10:56	23-05-2022 13:00
<b>ENSAYO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>L.D.M.</b>	<b>L.C.M.</b>	<b>RESULTADOS</b>
Vanadio <sup>2</sup>	mg/L	0,0002	0,0007	<0,0002
Zinc <sup>2</sup>	mg/L	0,0001	0,0004	0,2791

<sup>2</sup> Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, " $\leq$ " Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, " $\leq$ " Menor que el L.D.M.  
NA: No Aplica





INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-7935

N° Id.: 0000051612

ITEM				5	6
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-22-24841	M-22-24842
CÓDIGO DEL CLIENTE:				MT-04	MT-05
COORDENADAS:				NO APLICA	NO APLICA
UTM WGS 84:				NO APLICA	NO APLICA
PRODUCTO:				Agua Residual	Agua Residual
SUB PRODUCTO:				Efluente Doméstico	Efluente Doméstico
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				NO APLICA	
FECHA y HORA DE MUESTREO :				23-05-2022 13:20	23-05-2022 15:00
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS	
Coliformes Totales (NMP) <sup>2</sup>	NMP/100mL	NA	1,8	710,0	79,0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg/L	0,4	2,0	19,7	14,2
Aceites y Grasas (*)	mg/L	0,30	0,50	<0,50	<0,50
Sólidos Suspendedos Totales (*)	mg/L	2,0	5,0	35,0	25,0
Demanda Química de Oxígeno (*)	mg/L	2,0	5,0	62,2	35,4
<b>Metales Totales ICPOES</b>					
Aluminio <sup>2</sup>	mg/L	0,005	0,020	8,017	4,504
Antimonio <sup>2</sup>	mg/L	0,002	0,006	<0,002	<0,002
Arsénico <sup>2</sup>	mg/L	0,002	0,008	<0,002	<0,002
Bario <sup>2</sup>	mg/L	0,002	0,0010	0,0220	0,0157
Berilio <sup>2</sup>	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0003	<0,0003
Bismuto <sup>2</sup>	mg/L	0,009	0,030	<0,009	<0,009
Boro <sup>2</sup>	mg/L	0,002	0,008	0,350	0,343
Cadmio <sup>2</sup>	mg/L	0,0001	0,0004	<0,0001	<0,0001
Calcio <sup>2</sup>	mg/L	0,002	0,006	83,493	65,686
Cerio <sup>2</sup>	mg/L	0,02	0,07	<0,02	<0,02
Cobalto <sup>2</sup>	mg/L	0,002	0,007	<0,002	<0,002
Cobre <sup>2</sup>	mg/L	0,0003	0,0010	0,2035	0,1169
Cromo <sup>2</sup>	mg/L	0,002	0,0008	<0,0002	<0,0002

<sup>1</sup> Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

<sup>2</sup> Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<=" Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<=" Menor que el L.D.M.

NA: No Aplica

**INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-7935**

N° Id.: 0000051612

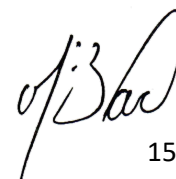
ITEM				5	6
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-22-24841	M-22-24842
CÓDIGO DEL CLIENTE:				MT-04	MT-05
COORDENADAS:				NO APLICA	NO APLICA
UTM WGS 84:				NO APLICA	NO APLICA
PRODUCTO:				Agua Residual	Agua Residual
SUB PRODUCTO:				Efluente Doméstico	Efluente Doméstico
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				NO APLICA	
FECHA y HORA DE MUESTREO:				23-05-2022 13:20	23-05-2022 15:00
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS	
Estaño <sup>2</sup>	mg/L	0,001	0,003	<0,001	<0,001
Estroncio <sup>2</sup>	mg/L	0,00004	0,00010	0,78180	0,69060
Fosforo <sup>2</sup>	mg/L	0,01	0,04	0,82	1,16
Hierro <sup>2</sup>	mg/L	0,001	0,004	0,554	0,415
Litio <sup>2</sup>	mg/L	0,0003	0,0009	0,1076	0,0926
Magnesio <sup>2</sup>	mg/L	0,005	0,020	6,095	2,993
Manganeso <sup>2</sup>	mg/L	0,0001	0,0002	0,0115	0,0066
Mercurio <sup>2</sup>	mg/L	0,0001	0,0002	<0,0001	<0,0001
Molibdeno <sup>2</sup>	mg/L	0,0006	0,0020	<0,0006	<0,0006
Niquel <sup>2</sup>	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0003	<0,0003
Plata <sup>2</sup>	mg/L	0,002	0,007	<0,002	<0,002
Plomo <sup>2</sup>	mg/L	0,002	0,006	<0,002	<0,002
Potasio <sup>2</sup>	mg/L	0,04	0,10	15,61	14,46
Selenio <sup>2</sup>	mg/L	0,001	0,005	<0,001	<0,001
Silice <sup>2</sup>	mg/L	0,001	0,004	1,375	0,553
Sodio <sup>2</sup>	mg/L	0,004	0,010	64,251	58,756
Talio <sup>2</sup>	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0003	<0,0003
Titanio <sup>2</sup>	mg/L	0,0007	0,0020	<0,0007	<0,0007
Uranio <sup>2</sup>	mg/L	0,005	0,020	<0,005	<0,005

<sup>2</sup> Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, " $\leq$ " Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, " $\leq$ " Menor que el L.D.M.

NA: No Aplica



**INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-7935**

N° Id.: 0000051612

ITEM				5	6
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-22-24841	M-22-24842
CÓDIGO DEL CLIENTE:				MT-04	MT-05
COORDENADAS:				NO APLICA	NO APLICA
UTM WGS 84:				NO APLICA	NO APLICA
PRODUCTO:				Agua Residual	Agua Residual
SUB PRODUCTO:				Efluente Doméstico	Efluente Doméstico
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				NO APLICA	
FECHA y HORA DE MUESTREO:				23-05-2022 13:20	23-05-2022 15:00
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS	
Vanadio <sup>2</sup>	mg/L	0,0002	0,0007	<0,0002	<0,0002
Zinc <sup>2</sup>	mg/L	0,0001	0,0004	<0,0001	<0,0001

<sup>2</sup> Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, " $\leq$ " Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, " $\leq$ " Menor que el L.D.M.

NA: No Aplica

**V. OBSERVACIONES**

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"



# Universidad Nacional del Callao

## Vicerrectorado de Investigación



### **RESOLUCIÓN VICERRECTORAL N° 089-2022-VRI-VIRTUAL, CALLAO, 01 DE DICIEMBRE DE 2022. EL VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO:**

Visto, el Oficio N°28-2022-DII-VRI-VIRTUAL presentado por la directora de la Dirección de Instituto de Investigación mediante el cual remite el Informe N°13-2022-UGI-DII-VRI de la Unidad de Gestión de la Investigación, en el cual indica que el expediente de Informe Final del Dr. MÁXIMO FIDEL BACA NEGLIA cumple con los requisitos establecidos en el Reglamento de Participación de los Docentes en Proyectos de Investigación vigente.

#### **CONSIDERANDO:**

Que, mediante Resolución N° 082-2019-CU de fecha 07 de marzo de 2019 se Aprueba el Reglamento de Participación de Docentes en Proyectos de Investigación de la Universidad Nacional del Callao;

Que, el artículo 25° del Reglamento de Participación de los Docentes en Proyectos de Investigación de la Universidad Nacional del Callao, aprobado con Resolución de Consejo Universitario N° 082-2019-CU, establece la obligación del docente responsable del proyecto de investigación de presentar el Informe Final de Investigación, así como, la documentación que forma parte del expediente remitido al Vicerrectorado de Investigación por el Decano de la Facultad;

Que, el artículo 30°. Los directores de las Unidades de Investigación de las Facultades tienen la responsabilidad de informar al Vicerrectorado de Investigación los casos de incumplimiento en la presentación de los informes finales de Investigación, dentro de los plazos establecidos en el presente Reglamento;

Que, mediante Resolución N° 334-2021-R. de fecha 07 de junio del 2021, fue aprobado el Proyecto de Investigación del docente DR. MÁXIMO FIDEL BACA NEGLIA, titulado "EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO SECUENCIAL POR ELECTROCOAGULACIÓN PARA LOS EFLUENTES DOMÉSTICOS Y SU REÚSO EN EL RIEGO DE JARDINES Y ÁREAS VERDES-SEGUNDA PARTE" con cronograma de 18 meses (del 1 de mayo de 2021 al 31 de octubre de 2022), y presupuesto s/10,500.00 (diez mil quinientos y 00/100 soles);

Que, el decano de la FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES mediante el OFICIO N° 806-2022-D-FIARN de fecha 8 de noviembre de 2022, remite el expediente del informe final de investigación titulado "EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO SECUENCIAL POR ELECTROCOAGULACIÓN PARA LOS EFLUENTES DOMÉSTICOS Y SU REÚSO EN EL RIEGO DE JARDINES Y ÁREAS VERDES-SEGUNDA PARTE" desarrollado por el docente Dr. MÁXIMO FIDEL BACA NEGLIA, que contiene la Resolución de aprobación del Comité Directivo de la Unidad de Investigación N° 004-2022-UI-FIARN de fecha 4 de noviembre de 2022, Resolución de Consejo de Facultad N° 183-2022-D-FIARN de fecha 7 de noviembre de 2022, solicitud de aprobación de Informe Final del docente Dr. MÁXIMO FIDEL BACA NEGLIA y demás documentación;

Que, mediante el Oficio del visto se remite el Informe N°13-2022-UGI-DII-VRI de la Unidad de Gestión de la Investigación, en el cual indica que el expediente de Informe Final del Dr. MÁXIMO FIDEL BACA NEGLIA cumple con los requisitos establecidos en el Reglamento de Participación de los Docentes en Proyectos de Investigación vigente;



# Universidad Nacional del Callao

## Vicerrectorado de Investigación



En uso de las atribuciones que le confiere la Resolución del Consejo Universitario N° 060-98-CU del 25 de mayo de 1998, el artículo 29° del Reglamento de Participación de Docentes en proyectos de Investigación y normativo estatutario.

### RESUELVE:

1. Dar conformidad a la presentación y cumplimiento del Informe Final de Investigación titulado "EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO SECUENCIAL POR ELECTROCOAGULACIÓN PARA LOS EFLUENTES DOMÉSTICOS Y SU REÚSO EN EL RIEGO DE JARDINES Y ÁREAS VERDES-SEGUNDA PARTE" conforme a las siguientes especificaciones:

FACULTAD	: INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES
JEFE DE PROYECTO	: Dr. MÁXIMO FIDEL BACA NEGLIA
PROYECTO	: "EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO SECUENCIAL POR ELECTROCOAGULACIÓN PARA LOS EFLUENTES DOMÉSTICOS Y SU REÚSO EN EL RIEGO DE JARDINES Y ÁREAS VERDES-SEGUNDA PARTE"
ADMINISTRATIVO DE APOYO	: ROSARIO LUNA RENGIFO (3025)
CRONOGRAMA	: 18 meses (del 1 de mayo de 2021 al 31 de octubre de 2022)
PRESUPUESTO	: S/10,500.00 (diez mil quinientos y 00/100 soles)
RESOLUCIÓN N°	: N° 334-2021-R

2. Transcribir la presente Resolución al Rector, Vicerrector Académico, Facultad, Unidad de Investigación, Dirección General de Administración, Oficina de Recursos Humanos, Instituto Central de Investigación de Ciencia y Tecnología, interesado, para conocimiento y fines consiguientes.

Regístrese, comuníquese y archívese.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

Dr. Juan Herber Grados Camarra  
Vicerrector de Investigación

c.c. Rector, VRA, FIARN, UIFIARN, DIGA  
c.c: ORH,DII, interesado  
c.c.: Archivo