

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Diseño de un sistema de tratamiento avanzado descentralizado de agua para fines de desalinización en la comunidad de Chanduy, zona semi-árida de la provincia de Santa Elena.

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Civil

Presentado por:

Espinoza Mora María Fernanda

Franco González Kevin Roberto

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2022- 2T

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a toda mi familia y amigos, especialmente a mis padres María y Roberto quienes han estado conmigo siempre de manera incondicional, siendo el motor principal para alcanzar y lograr mi objetivo. Mis hermanas Jacqueline, Evelyn, Sayda y Karen, mi compañera de vida Nathaly quienes con una palabra de aliento y un abrazo no dejaron que desierta en el camino. Mis amigos que han sabido orientarme y apoyarme en todo momento, siendo parte de todo este proceso académico.

Kevin Roberto Franco González

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico con todo mi corazón a mi familia en especial mis padres Janneth y Emiliano, por todo su apoyo, consejos, sacrificios y esfuerzos que han hecho para que yo pueda llegar a este momento. A mis hermanos Luis y Belén que con sus palabras de aliento me impulsaban a seguir. A mis amigos que han estado presente no sólo en mi trayectoria académica sino siendo un apoyo incondicional en los duros momentos.

María Fernanda Espinoza Mora

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por permitirme darme las fuerzas necesarias para no decaer. A mis padres por ser ejemplo de guía y de superación. Un agradecimiento especial y sincero a mis tutores que han sabido guiarme y buscar siempre sacar lo mejor de mí en todo este proceso de formación a la PhD. Priscila Valverde, al PhD. Tomas Vitvar y PhD. Leonardo Gutiérrez. A los Ing. Cristhian Aguilar, Jonathan Méndez y Cindy Goyburo quienes fueron guía durante toda esta investigación. A mi compañera de tesis María Fernanda por confiar en mí, para juntos emprender y realizar este proyecto.

Kevin Roberto Franco González

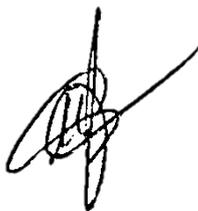
AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme la fortaleza de espíritu que necesitaba para seguir y lograr culminar una de mis grandes metas y sueños. Nuevamente a mis padres por ser un ejemplo de lucha y superación. A mi mami, la Sra. Janneth Mora por ser ese apoyo incondicional en cada momento crítico en esta etapa. Al Lcdo. José Luis Quezada por ser como un padre brindarme su apoyo en mi trayectoria académica. Asimismo, un sincero agradecimiento a nuestros tutores la PhD. Priscila Valverde y PhD. Tomas Vitvar por mostrarme lo hermoso de la investigación y guiarnos en pro de mejorar nuestras habilidades y conocimientos. A mi compañero de tesis, Kevin Franco, gracias por cada momento juntos en donde no hemos dado marcha atrás a pesar de las dificultades. Gracias a todas las personas que han compartido conmigo sus conocimientos durante esta etapa han sido guía y han permitido que ame más la investigación.

María Fernanda Espinoza Mora

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *María Fernanda Espinoza Mora* y *Kevin Roberto Franco González* y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



Espinoza Mora María
Fernanda



Franco González Kevin
Roberto

EVALUADORES

.....
MSc. Samantha Hidalgo

PROFESOR DE LA MATERIA

.....
PhD. Priscila Valverde

PROFESOR TUTOR

.....
PhD. Tomas Vitvar

PROFESOR COTUTOR

RESUMEN

La falta del recurso de red de agua pública en la parroquia de Chanduy produce una escasez de agua dulce, lo que conlleva a la búsqueda de alternativas que permitan aprovechar las aguas superficiales y subterráneas mediante tratamientos avanzados de desalinización, buscando soluciones para poder satisfacer las necesidades de los pobladores y permitir el desarrollo económico de la parroquia, contribuyendo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible como son: 'Agua Limpia y Saneamiento' y 'Ciudades y comunidades sostenibles'. Se tomaron muestras de diversas fuentes de agua, superficial y subterránea para caracterizar el agua de la parroquia, permitiendo conocer las concentraciones de los iones presentes en ella, además de medir parámetros como conductividad eléctrica, pH y turbiedad. Posteriormente, se plantearon tres métodos de tratamiento avanzado a experimentar en laboratorio con muestra sintética: electrocoagulación, ósmosis inversa y electrodiálisis, los cuales se evaluaron mediante criterios como la eficiencia de desalinización, consumo energético, porcentaje de recuperación e impacto ambiental. La tecnología implementada fue de electrodiálisis, debido a que permitía alcanzar parámetros de CE ($800 \mu\text{S}/\text{cm}$) con un menor precio y consumo energético. Con la aplicación de 6 V se desalinizó 500 ml de agua, en 80 minutos con un consumo energético de $0.094 \text{ kWh}/\text{m}^3$ a un precio de \$0.08 por m^3 . Se realizó diversas tasas de recuperación en la cual la óptima fue de 80% con un volumen tratado de 800 ml a 6 V y un consumo energético de $0.866 \text{ kWh}/\text{m}^3$ a un costo de \$0.08 por m^3 .

Palabras Clave: Electrodiálisis, desalinización, consumo energético.

ABSTRACT

The lack of public water supply in the parish of Chanduy produces a shortage of fresh water, which leads to the search for alternatives to take advantage of surface and groundwater through advanced desalination treatments, seeking solutions to meet the needs of the inhabitants and allow the economic development of the parish, contributing to the Sustainable Development Goals such as: 'Clean Water and Sanitation' and 'Sustainable Cities and Communities'. Samples were taken from various water sources, surface, and groundwater, to characterize the water of the parish, allowing to know the concentrations of ions present in it, in addition to measuring parameters such as electrical conductivity, pH and turbidity. Subsequently, three advanced treatment methods were proposed to be tested in the laboratory with a synthetic sample: electrocoagulation, reverse osmosis and electrodialysis, which were evaluated using criteria such as desalination efficiency, energy consumption, recovery percentage and environmental impact. The technology implemented was electrodialysis, because it allowed reaching EC parameters ($800 \mu\text{S}/\text{cm}$) with a lower price and energy consumption. With the application of 6 V, 500 ml of water was desalinated in 80 minutes with an energy consumption of $0.094 \text{ kWh}/\text{m}^3$ at a price of \$0.08 per m^3 . Various recovery rates were carried out in which the optimum was 80% with a treated volume of 800 ml at 6 V and an energy consumption of $0.866 \text{ kWh}/\text{m}^3$ at a cost of \$0.08 per m^3 .

Key words: electrodialysis, desalination, energy consumption.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT	II
ABREVIATURAS.....	VII
SIMBOLOGÍA.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
CAPÍTULO 1.....	14
1. Introducción	14
1.1 Antecedentes	17
1.2 Zona de estudio	20
1.2.1 Límites	21
1.2.2 Hidrología	21
1.2.3 Clima.....	23
1.3 Objetivos	24
1.3.1 Objetivo general.....	24
1.3.2 Objetivos específicos	24
1.4 Justificación del problema.....	25
CAPÍTULO 2.....	26
2. DESARROLLO DEL PROYECTO	26
2.1 Metodología	26
2.1.1 Salida de campo	27
2.1.2 Medición de iones	30
2.1.3 Análisis microbiológico.....	33
2.1.4 Metodología de interpretación de datos.....	34
2.2 Experimentación de tecnologías	35
2.2.1 Ósmosis inversa	35

2.2.2	Electrocoagulación.....	36
2.2.3	Configuración del stack (pila) de electrodiálisis	37
2.3	Análisis de alternativas	39
2.4	Selección de alternativa óptima	50
CAPÍTULO 3.....		51
3.	DISEÑO Y ESPECIFICACIONES.....	51
3.1	Caracterización del agua de la zona de estudio	51
3.2	Análisis en laboratorio.....	54
3.2.1	Iones mayoritarios.....	54
3.2.2	Error de balance iónico	57
3.3	Diseño del sistema de tratamiento avanzado de agua, electrodiálisis	58
3.3.1	Proyección poblacional parroquia Chanduy.....	58
3.3.2	Dotación de parroquia Chanduy	61
3.3.3	Determinación de caudal de diseño.....	62
3.3.4	Sistema avanzado de tratamiento de agua, electrodiálisis	63
3.3.5	Experimentación a nivel de laboratorio con el sistema de electrodiálisis	65
3.3.6	Variación de voltajes y recuperación para un volumen de agua tratada de 500 ml	73
3.3.7	Nutrientes obtenidos con caudal y voltaje constantes variando el porcentaje de recuperación.....	80
CAPÍTULO 4.....		82
4.	ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL	82
4.1	Objetivos	82
4.1.1	Objetivos específicos	82
4.2	Descripción del proyecto.....	82
4.3	Línea base ambiental.....	83
4.3.1	Clima.....	83

4.3.2	Precipitaciones.....	84
4.3.3	Hidrología, hidrografía e hidrogeología.....	85
4.3.4	Geomorfología.....	87
4.3.5	Calidad de suelo.....	88
4.3.6	Calidad de agua.....	90
4.3.7	Flora y fauna.....	91
4.3.8	Ecosistemas frágiles.....	91
4.4	Actividades ambientales del proyecto.....	92
4.4.1	Certificado de intersección de impacto ambiental.....	93
4.5	Actividades del proyecto.....	94
4.5.1	Construcción e instalación.....	95
4.5.2	Funcionamiento.....	95
4.5.3	Cierre.....	95
4.6	Factores ambientales.....	97
4.7	Identificación de impactos ambientales.....	98
4.8	Valoración de impactos ambientales.....	99
4.9	Medidas de prevención/mitigación.....	103
4.10	Formulario de registro ambiental.....	104
4.11	Conclusiones.....	111
5.	PRESUPUESTO REFERENCIAL.....	112
5.1	Estructura de desglose de trabajo (EDT).....	112
5.2	Descripción de rubros.....	113
5.2.1	Caracterización de agua del lugar de estudio.....	113
5.2.2	Desbroce y limpieza.....	113
5.2.3	Trazado y replanteo para caseta.....	113
5.2.4	Construcción del sistema tratamiento hidráulico y sanitario.....	114
5.2.5	Desalojo de escombros.....	114

5.3	Análisis de costos unitarios.....	114
5.4	Descripción de cantidades de obra.....	115
5.5	Valoración integral del costo del proyecto incluyendo las medidas de prevención y mitigación del impacto ambiental	115
5.6	Cronograma de Actividades.....	117
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	118
6.1	Conclusiones	118
6.2	Recomendaciones	120
	BIBLIOGRAFÍA.....	121

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ASTM	American Society for Testing and Materials
NACE	National Association of Corrosion Engineer
SSC	Electrodo de Plata Cloruro de Plata
CSE	Electrodo de Cobre Sulfato de Cobre
HWL	High Water Level
LWL	Low Water Level
CIS	Inspección pasó a paso, medición de potenciales de encendido
MPY	Milésimas de pulgadas por año
CE	Conductividad Eléctrica
SDT	Sólidos Disueltos Totales
OMS	Organización Mundial de la Salud
ODS	Objetivos de Desarrollo
DIC	Datación por radiocarbono de agua subterránea
AMS	Espectrometría de masas con aceleradores

SIMBOLOGÍA

Mil	Milésima de pulgada
Mg	Miligramo
pH	Potencial de Hidrógeno
m	Metro
mV	Milivoltio
Cu	Cobre
Ni	Níquel
C	Carbono
Mn	Manganeso
P	Fósforo
μS	Microsiemens
SO_4^{2-}	Sulfatos
NO_3^{2-}	Nitratos
NO_2^{2-}	Nitritos

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Esquema del proceso de electrodiálisis [Fuente: Publication Energy Consumption of Brackish Water Desalination: Identifying the Sweet Spots for Electrodialysis and Reverse Osmosis].	16
Figura 1.2. Proceso ósmosis inversa [Fuente: Sefiltra, guía sobre ósmosis inversa].	16
Figura 1.3. Mapa de CE durante primera campaña de muestreo en 2019 [Fuente: Anexo 1 del Informe de situación 2020]	18
Figura 1.4. Diagrama de Piper de muestras tomadas en el 2019 [Fuente: Anexo 1 del Informe de situación 2020]	19
Figura 1.5. Mapa de ubicación de puntos muestreados en la parroquia de Chanduy-Cuenca Zapotal [Espinoza & Franco,2022]	20
Figura 1.6. Mapa de límites de la parroquia Chanduy [Plan de ordenamiento territorial Chanduy 2020]	21
Figura 1.7. Mapa hidrológico de la provincia de Santa Elena [Plan de ordenamiento territorial, 2020].	22
Figura 1.8. Mapa climático de la parroquia Chanduy [Plan de ordenamiento territorial, 2020].	23
Figura 2.1. Toma de muestra en campo para los respectivos análisis en laboratorio [Espinoza & Franco,2022].	29
Figura 2.2. Medición de parámetros fisicoquímicos in situ [Espinoza & Franco,2022]	30
Figura 2.3. Análisis volumétrico en laboratorio Sanitaria ESPOL [Espinoza & Franco,2022].	31
Figura 2.4. Muestra de análisis microbiológico del punto SAYA.	34
Figura 2.5. Importación de datos al software “Diagrammes” para la realización de diagramas [Espinoza & Franco,2022].	35
Figura 2.6. Manipulación de planta ósmosis inversa [Espinoza & Franco, 2022].	36
Figura 2.8. Esquema de arreglo de membranas de Stack electrodiálisis con 3 pares de membranas [Espinoza & Franco,2022].	37
Figura 2.9. Prueba de funcionamiento de stack de electrodiálisis [Espinoza & Franco, 2022].	38

Figura 2.10. Desalinización mediante tecnología avanzada de Electrocoagulación [Espinoza & Franco, 2022].	44
Figura 2.11 . Intensidad aplicada durante el experimento con tecnología avanzada de electrodiálisis en 1.5 h [Espinoza & Franco,2022].	48
Figura 3.1. Mapa de conductividad eléctrica de puntos muestreados [Espinoza & Franco,2022].	52
Figura 3.2. Monitoreo de turbidez en sitio de estudio [Espinoza & Franco,2022].	53
Figura 3.3. Monitoreo de pH en sitio de estudio [Espinoza & Franco,2022].	53
Figura 3.4. Diagrama de Stiff de agua superficial muestreada (canales) [Espinoza & Franco,2022].	54
Figura 3.5. Diagrama de Stiff de puntos de agua muestreados [Espinoza & Franco,2022].	55
Figura 3.6. Diagrama de Piper de muestras de campaña septiembre 2022 [Espinoza & Franco,2022].	56
Figura 3.7. Diagrama de Schoeller Berkaloff [Espinoza & Franco,2022].	57
Figura 3.8. Comparación de métodos empleados en la proyección poblacional de la parroquia Chanduy al año 2048 [Espinoza & Franco, 2022].	61
Figura 3.9. a) Bosquejo de funcionamiento de electrodiálisis. b) Conexión de pinzas de cocodrilos en ánodo y cátodo. [Espinoza & Franco, 2022].	63
Figura 4.1. Clima de la provincia de Santa Elena [Plan de desarrollo territorial, 2020].	84
Figura 4.2. Mapa de precipitaciones de Santa Elena. [Instituto Espacial Ecuatoriano]	85
Figura 4.3 Red hidrográfica de la parroquia de Chanduy [Plan de desarrollo territorial, 2020].	86
Figura 4.4. Mapa de captación de la parroquia de Chanduy [Plan de ordenamiento territorial, 2020].	86
Figura 4.5. Morfología de la provincia de Santa Elena [Plan de ordenamiento territorial, 2020].	87
Figura 4.6. Formaciones rocosas de la parroquia de Chanduy [Plan de ordenamiento territorial, 2020].	88
Figura 4.7. Mapa de Calidad de Suelo en Parroquia Chanduy [Plan de ordenamiento territorial, 2020].	89

Figura 4.8. Mapa de uso de suelo en la parroquia de Chanduy [Plan de ordenamiento territorial, 2020].....	89
Figura 4.9. Mapa de ecosistemas frágiles en la parroquia Chanduy [Plan de ordenamiento territorial, 2020].....	92
Figura 4.10. Evidencia de nivel de impacto obtenido por el proyecto [Espinoza & Franco,2022].	93
Figura 4.11. Certificado de intersección del proyecto: Tratamiento avanzado de desalinización [Espinoza & Franco,2022].....	94
Figura 5.1. Estructura de desglose de trabajo (EDT) [Espinoza & Franco, 2022] ...	112

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Plan de muestreo utilizado para salida de campo [Espinoza & Franco,2022].	27
Tabla 2.2. Coordenadas de puntos muestreados durante salida de campo [Espinoza & Franco,2022].	28
Tabla 2.3. Rangos de puntuación para cada tecnología avanzada de desalinización [Espinoza & Franco,2022].	40
Tabla 2.4. Criterios de evaluación de las alternativas [Espinoza & Franco, 2022]. ...	40
Tabla 2.5. Escala de Likert para evaluación de criterios.	40
Tabla 2.6. Datos obtenidos del experimento con tecnología avanzada de ósmosis inversa [Espinoza & Franco, 2022].	41
Tabla 2.7. Evaluación de los criterios seleccionados para la tecnología avanzada de ósmosis inversa [Espinoza & Franco,2022].	43
Tabla 2.8. Evaluación de los criterios seleccionados para la tecnología avanzada de electrocoagulación [Espinoza & Franco,2022].	46
Tabla 2.9. Parámetros usados para experimentación mediante electrodiálisis [Espinoza & Franco,2022].	47
Tabla 2.10. Resultados de monitoreo de experimentación con tecnología de electrodiálisis [Espinoza & Franco,2022].	47
Tabla 2.11. Evaluación de los criterios seleccionados para la tecnología avanzada de electrodiálisis. [Espinoza & Franco,2022].	49
Tabla 2.12. Selección de alternativa óptima [Espinoza & Franco,2022].	50
Tabla 3.1. Error de balance iónico de muestras [Espinoza & Franco,2022].	58
Tabla 3.2. Datos censales de parroquia Chanduy [INEC, 2022].	58
Tabla 3.3. Población futura de la parroquia Chanduy mediante el método aritmético [Espinoza & Franco, 2022].	59
Tabla 3.4. Población futura de la parroquia Chanduy mediante el método exponencial [Espinoza & Franco, 2022].	59
Tabla 3.5. Población futura de la parroquia Chanduy mediante el método geométrico [Espinoza & Franco, 2022].	60
Tabla 3.6. Proyección poblacional de la parroquia Chanduy por los diferentes métodos al año 2048 [Espinoza & Franco, 2022].	60
Tabla 3.7 Dotaciones recomendadas [Norma CPE INEN 5].	62

Tabla 3.8 Consumo energético para experimentación con variación de voltaje y volumen-caudal de agua constante [Espinoza & Franco,2022].	67
Tabla 3.9 Consumo energético para experimentación Q=50 ml/min con variación de voltaje y volumen-caudal de agua constante [Espinoza & Franco,2022].	70
Tabla 3.10. Consumo energético para experimentación Q=100 ml/min con variación de voltaje y volumen-caudal de agua constante [Espinoza & Franco,2022].	73
Tabla 3.11 Consumo energético [Espinoza & Franco,2022].	77
Tabla 3.12 Consumo energético de las distintas recuperaciones con 6 V [Espinoza & Franco,2022].	79
Tabla 4.1. Parámetros fisicoquímicos del sector Adela in situ [Espinoza & Franco,2022].	83
Tabla 4.2. Tipos de permisos ambientales propuestos por Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. [Espinoza & Franco,2022].	92
Tabla 4.3. Resumen actividades del proyecto acorde a cada fase [Espinoza & Franco,2022].	96
Tabla 4.4. Identificación de impactos ambientales [Espinoza & Franco,2022].	98
Tabla 4.5. Criterios y clase de impacto generado.	100
Tabla 4.6. Labores con rango medio de riesgo	100

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso esencial que permite que las poblaciones puedan desarrollarse en sus actividades cotidianas, sin embargo, el 71 % del área superficial de la Tierra está conformada por agua, en la cual el mayor porcentaje 97,5 % corresponde a mares, por lo que presenta altas concentraciones de salinidad, que provoca un consumo inviable. Solo el 2.5% corresponde a agua dulce en la cual se puede aprovechar el 0.8 % que está descongelada. (Grueso-Domínguez et al., 2019).

El acceso al agua potable es esencial para la salud pública, sea para uso doméstico producir alimentos, fines recreativos. La mejora continua del servicio de abastecimiento y saneamiento impulsa el crecimiento económico de los países, por lo que en el 2010 la Asamblea General de Naciones Unidas explícitamente reconoció el derecho humano al abastecimiento y saneamiento del agua, y lo estableció como meta de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS N°6 agua limpia y saneamiento). La deficiencia de saneamiento del agua en pueblos produce enfermedades tales como: cólera, diarrea, hepatitis, fiebre tifoidea. Se estima que 829.000 personas mueren anualmente a causa de diarreas como consecuencia de la insalubridad del agua y saneamiento. (Organización Mundial de la Salud, 2022)

No obstante, la poca disponibilidad de agua dulce y el crecimiento poblacional generan una escasez de este recurso, por lo que se deben buscar alternativas que permitan la utilización de las aguas marinas, mediante un proceso de desalinización. La desalinización consiste en obtener agua pura a partir de aguas residuales o muy salinas, eliminando las sales minerales disueltas en el agua, este proceso requiere esencialmente el uso de energía, lo que conlleva a buscar las mejores alternativas con bajo consumo de energía. (Morad et al., 2017).

La calidad del agua es relativa y se la evalúa en base a la función que se le dará, por lo tanto, un agua se considera contaminada cuando sufre cambios que alteran su uso real o potencial. La finalidad de las operaciones de tratamientos es obtener aguas con

características específicas, y sus procesos se adecuan acorde a las propiedades de partida y su destino final de utilización. (Tan N, 2022)

Acorde a (Grueso-Domínguez et al., 2019) debido al constante avance de la ciencia y tecnología conjunto al uso de energía renovable, la desalinización se ha convertido en una de las alternativas para la obtención y aprovechamiento de agua potable para las ciudades costeras, siendo una fuente rentable, económica, sostenible y ambientalmente segura. En la actualidad existen varias tecnologías de desalinización, las más utilizadas son: métodos de evaporación-condensación, destilación en etapas múltiples, métodos de separación de membranas, nanofiltración, ósmosis inversa, electrocoagulación y electrodiálisis.

Sin embargo, los efluentes generados por los procesos de desalinización siguen siendo una interrogante y un problema técnico-económico, debido que durante el procedimiento de desalinización se generan 2 corrientes: agua dulce (permeado) y corriente de residuos concentrados. Donde la salinidad del concentrado dependerá del agua de alimentación. El índice de recuperación de una planta desalinizadora se evalúa mediante su eficiencia la cual es determinada en relación con la proporción de agua de entrada que se convierte en agua de baja salinidad. (Jones et al., 2019)

En la actualidad los procesos de desalinización que dominan el mercado mundial son la Ósmosis Inversa (OI) y la Electrodiálisis (ED), la primera con el 80% del agua desalinizada y ED con el 8% del agua salobre. A pesar de que sus procedimientos de separación agua-sal sean distintos, se obtienen excelentes resultados y hacen que sus tecnologías sean energéticamente ventajosas. El funcionamiento de la electrodiálisis como se muestra en la Figura 1.1, consiste en pares de células, en la cual constan de una membrana de intercambio de aniones (AEM) y una membrana de intercambio de cationes (CEM), un canal concentrado y uno diluido. En esta se aplica un voltaje externo en las pilas, a medida que un flujo de agua salina pasa a través de los canales de flujo, internamente se genera un campo eléctrico que origina que los iones de los canales migren hacia el electrodo de opuesta carga. (Patel et al., 2021)

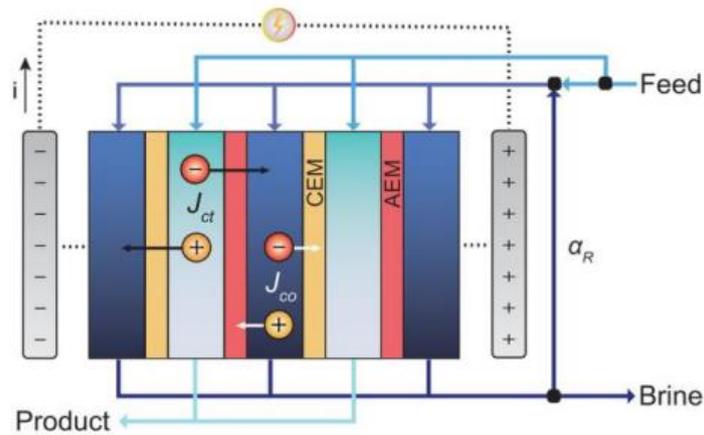


Figura 1.1. Esquema del proceso de electrodiálisis [Fuente: Publication Energy Consumption of Brackish Water Desalination: Identifying the Sweet Spots for Electrodialysis and Reverse Osmosis].

En contraste la ósmosis inversa, consiste en un proceso impulsado por presión y hace uso de una membrana semipermeable, la cual permite la penetración de moléculas de agua mientras rechaza los solutos, debido a una fuerza de empuje mayor a la presión osmótica como se evidencia en la Figura 1.2, a medida que el agua salina circula por el módulo de membrana se generan 2 corrientes: el permeado y el rechazo. La función de la planta de desalinización OI no solo permite desalinizar agua de mar o salobre, sino que también remueve materia orgánica. (Greenlee et al., 2009)

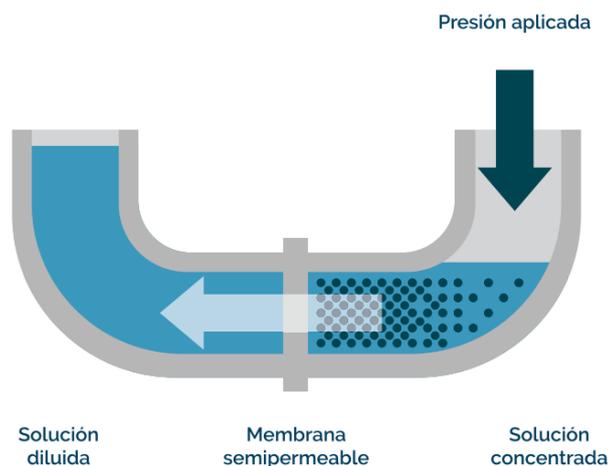


Figura 1.2. Proceso ósmosis inversa [Fuente: Sefiltra, guía sobre ósmosis inversa].

1.1 Antecedentes

La zona del centro y sur de la Península Santa Elena presenta escasez de agua dulce debido a las bajas precipitaciones, las cuales son menores a los 250 mm/año; altas temperaturas que permiten generar un clima semi-árido (García-Garizábal et al., 2017) y el aumento en la demanda de agua dulce de la zona costera producto tanto del crecimiento poblacional como de su actividad turística. Además, que el agua de la cuenca tiene una tendencia hidro-química salina por los sedimentos marinos. Esto ha hecho que a la zona se transfiera agua dulce desde la cuenca del río Daule mediante el canal de riego San Vicente Chongón – Colonche para promover así la actividad agrícola del sector. Sin embargo, algunas fuentes de agua del sector poseen salinidad por una posible intrusión salina de aguas marinas o de las lagunas de camaroneras cercanas a los poblados.

Debido a la escasez de agua mencionada anteriormente, se debe plantear diseños que puedan no solo proveer de agua dulce a la comunidad sino también perpetuar o conservar el agua ya existente. Los diseños deben tener una capacidad alta de recuperación, ser descentralizado para que así se disminuyan los costos por consumos de agua potable y tener una buena eficiencia energética que no eleven costos de las planillas eléctricas.

Previos estudios de agua realizados por la ESPOL, en la Península de Santa Elena buscaban evaluar la dinámica de la recarga de aguas subterráneas y el balance hídrico de la zona de riego semi-árida de la cuenca Zapotal, donde pertenece la comunidad de Chanduy. En esta cuenca se realizaron 3 campañas de muestreo durante los años 2019, 2020 y 2021 en época seca y lluviosa. Durante las campañas de muestreo del 2020 y 2021 se dificultó la medición de parámetros químicos por la situación de pandemia que atravesó el país. Sin embargo, parámetros fisicoquímicos básicos se encuentran completos y nos permiten identificar puntos claves para el presente estudio.

En la primera campaña, fueron seleccionados 25 puntos de la cuenca del Zapotal y sus alrededores, en ella se consideran 19 pozos de agua subterránea y los 6 puntos restantes corresponden a canales de riego y ríos. Cabe recalcar que las aguas subterráneas pertenecen a una clasificación dada por 3 formaciones geológicas que son de origen sedimentario, las cuales son Tablazo, Ancón y Progreso (Mauricio Rodríguez Ayala, 2014). El río Zapotal es de tipo efímero, llevando agua exclusivamente durante las épocas húmedas.

Los puntos muestreados y sus conductividades eléctricas durante la primera campaña los podemos observar en la Figura 1.3. Los puntos que poseen la letra G corresponden a pozos subterráneos, aquellos con la letra R corresponden a ríos, mientras que los que tienen una S son puntos tomados en fuentes de agua superficial. Para las campañas de muestreo de 2020 y 2021 se tomaron sólo parte de estos puntos por las dificultades ocasionadas por la emergencia sanitaria mundial.

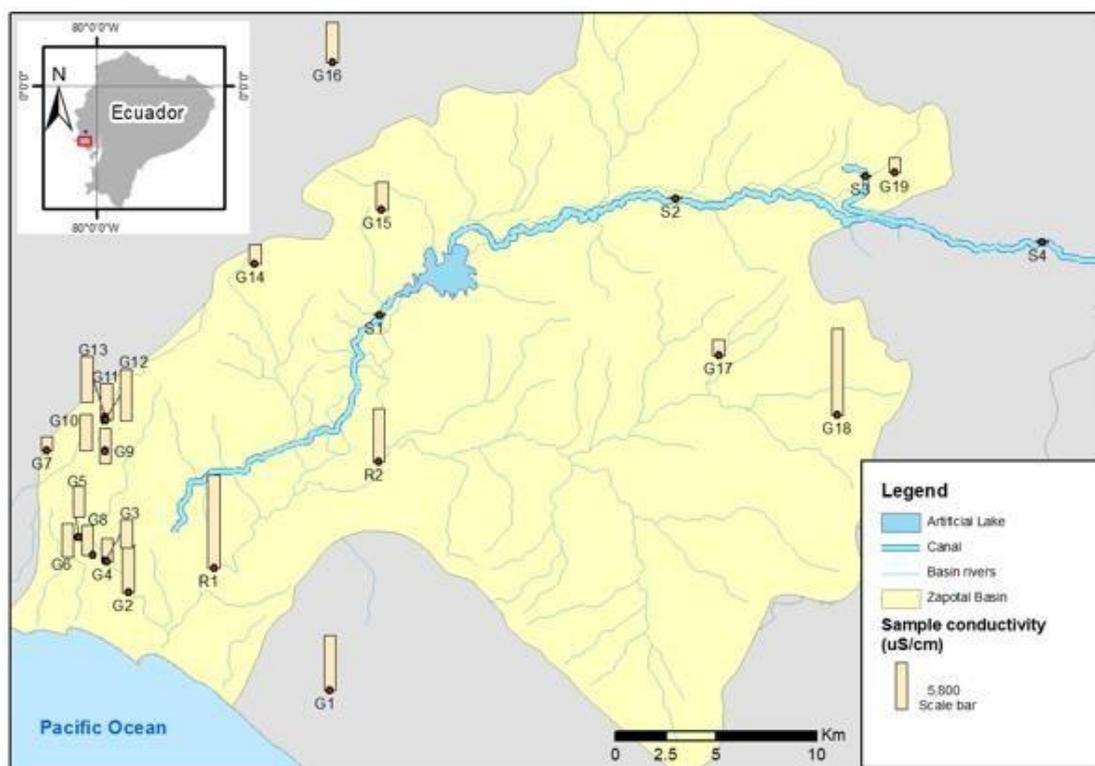


Figura 1.3. Mapa de CE durante primera campaña de muestreo en 2019 [Fuente: Anexo 1 del Informe de situación 2020]

Los resultados indican que las muestras de las aguas subterráneas de la cuenca incluyendo las de interés que se encuentran en la comuna de Chanduy poseen altas conductividades eléctricas con valores que van de 1178 hasta 11510 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Los ríos por encontrarse cerca del mar poseen altas conductividades que van de 6632 a 11510 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Sin embargo, las muestras tomadas de los canales muestran conductividades menores a 260 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Estas conductividades, a excepción de los canales presentan gran salinidad en la zona de estudio con respecto al límite permisible de conductividad eléctrica para el consumo de agua de 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ establecido por la OMS.

En las muestras tomadas en el 2019, Figura 1.4 las aguas que se presentan en las zonas de estudio tanto para ríos, canales, reservorios y aguas subterráneas son de tipo cloruradas cálcicas o magnésicas y clorurada/sulfatada sódica.

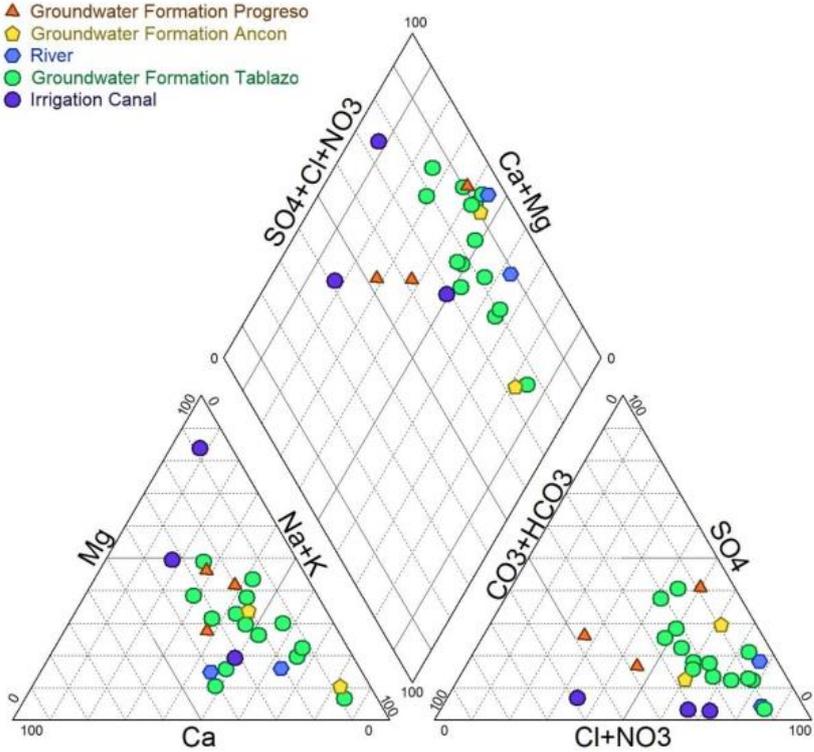


Figura 1.4. Diagrama de Piper de muestras tomadas en el 2019 [Fuente: Anexo 1 del Informe de situación 2020]

1.2 Zona de estudio

La zona de estudio del presente trabajo es la parroquia Chanduy que forma una parte de la cuenca zapotal, en la provincia de Santa Elena. La parroquia, posee una superficie de 769 km² y una población de 16 363 habitantes acorde al Censo realizado en el 2010. Su principal actividad económica es la agricultura y la ganadería. En la Figura 1.5 se observa un mapa con la localización de los puntos muestreados, los cuales corresponden a los lugares de: Reservorio, Buena Fuente, Puente Zapotal, Adela, Saya, Canal Azúcar, CEDEGE y Canal Y.

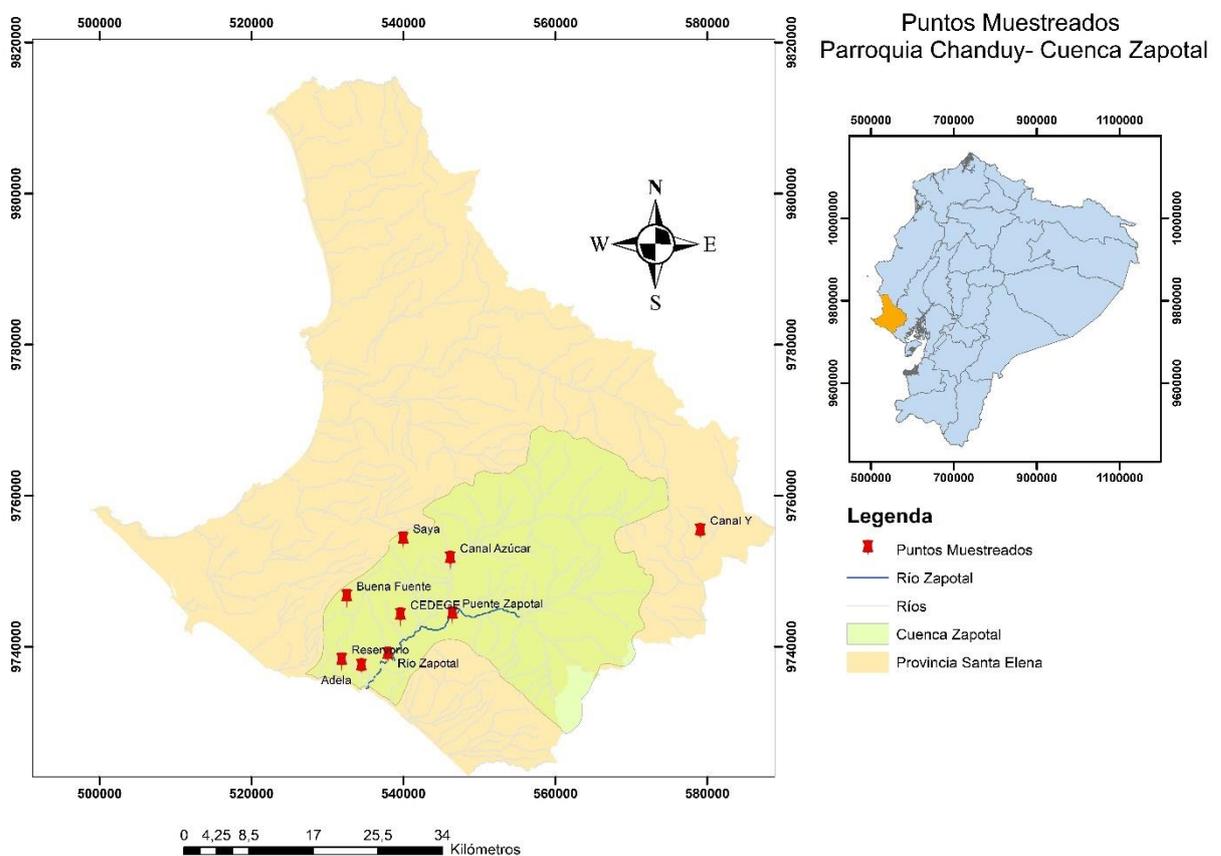


Figura 1.5. Mapa de ubicación de puntos muestreados en la parroquia de Chanduy- Cuenca Zapotal [Espinoza & Franco,2022]

1.2.1 Límites

En la Figura 1.6 podemos observar los límites geográficos de la parroquia Chanduy, siendo estos: (*PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA PARROQUIA CHANDUY, 2020*)

- **Este:** Los cantones Guayaquil y General Villamil Playas que pertenecen a la provincia del Guayas.
- **Oeste:** El océano Pacífico
- **Norte:** El Cantón Santa Elena
- **Sur:** Provincia del Guayas

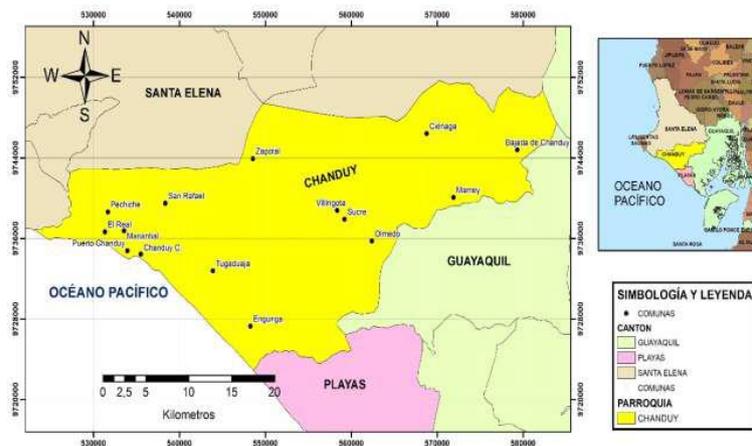


Figura 1.6. Mapa de límites de la parroquia Chanduy [Plan de ordenamiento territorial Chanduy 2020]

1.2.2 Hidrología

En la parroquia Chanduy, los ríos pueden ser de tipo perenne e intermitentes, los de este último, son aquellos que permanecen con un flujo de agua sólo durante la época húmeda. Una característica de los ríos de la parroquia es que no todos se pueden establecer en una categoría de perenne o intermitente ya que hay tramos de un río que dependiendo de la longitud u otras características como el caudal pueden ser mixtos. (*PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA PARROQUIA CHANDUY, 2020*). Los recursos hídricos subterráneos son aguas dulces localizadas bajo la superficie terrestre, estas se almacenan en acuíferos que alimentan pozos y manantiales, por lo que se prioriza el cuidado de su calidad por su alto uso como fuente de agua potable.

La cobertura de servicios básicos, a nivel parroquial corresponde al 24.4% de agua potable, mientras que los demás sectores que no presentan el servicio de agua captada desde la red pública dependen de su abastecimiento a tanqueros con un 28.4%. Sin embargo, el servicio de alcantarillado de aguas servidas y lluvias solo presenta una cobertura de 0.7%. La mayor parte de la población, 47.2% consumen aguas de pozos subterráneos que usualmente por las características hidrogeológicas del lugar donde se encuentren hace que estas aguas sean salobres, perjudicando su salud y causando enfermedades. Debido a que estas aguas no solo son usadas para el consumo sino para sus actividades diarias.

La zona de estudio presenta un alto déficit hídrico que se encuentra entre los 900-925 mm anuales, como se puede apreciar en Figura 1.7. Posee ríos intermitentes y perennes, con mayor predominancia de intermitentes, debido a que el lugar posee una precipitación media que oscila de 400 a 500 mm/anuales. Esto se debe a que además posee una alta evapotranspiración anual que va de 1200 a 1250 mm, motivo por el cual es importante cuidar las fuentes de agua. (Vitvar, 2019)

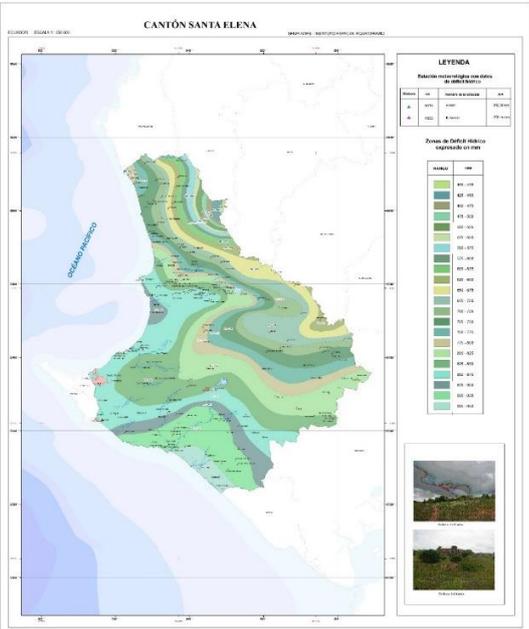


Figura 1.7. Mapa hidrológico de la provincia de Santa Elena [Plan de ordenamiento territorial, 2020].

Las fuentes de agua subterránea del sector poseen altas conductividades eléctricas, lo que nos indica una gran cantidad de iones disueltos. De igual forma, el lugar de estudio es una zona semi árida en donde el agua superficial se evapora o almacena en el suelo en la época seca y que la recarga y esorrentía superficial del sector se genera en el mes más lluvioso, es decir, los pozos se recargan sólo durante épocas de precipitaciones fuertes como la estación lluviosa del Niño que llega cada 2 o 7 años.

Los pobladores al tener un agua tan salobre tienen que recurrir a la compra de agua potable o transporte de agua desde otras cuencas para el desarrollo agrícola y económico del sector. Por ende, se pretende diseñar un sistema de tratamiento avanzado de agua potable que sea aplicado en una fuente subterránea de agua para poder disminuir las concentraciones de NaCl presentes.

1.2.3 Clima

En la parroquia se puede apreciar la existencia de 3 clases de clima, que se muestran en la Figura 1.8. En donde de color rojo encontramos un clima seco, sin exceso de agua y cálido. En azul tenemos predominancia de clima árido sin exceso de agua, de tipo mega térmico o cálido. Finalmente, en amarillo se tiene un clima subhúmedo con una gran deficiencia hídrica durante la época seca y de régimen cálido.

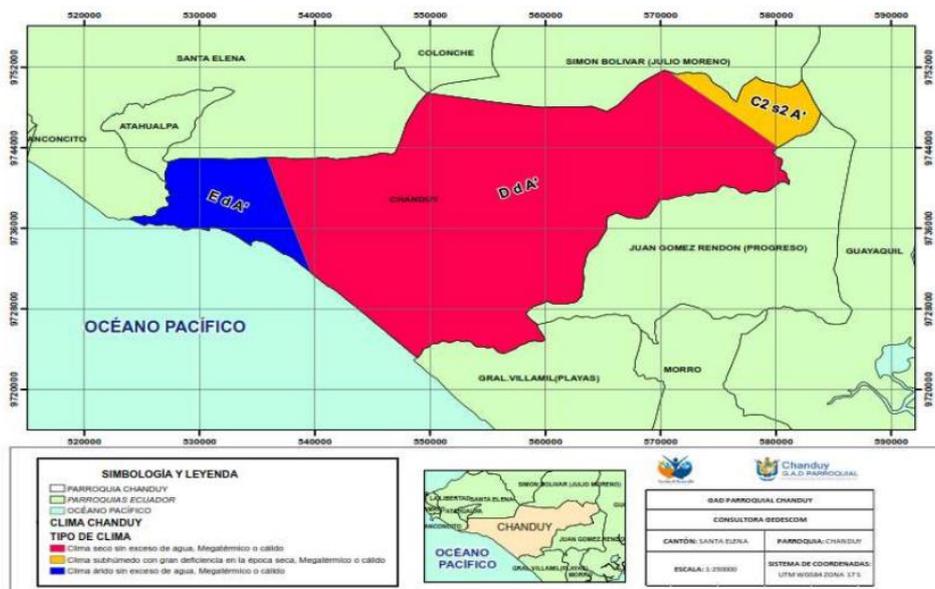


Figura 1.8. Mapa climático de la parroquia Chanduy [Plan de ordenamiento territorial, 2020].

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

El objetivo general de este trabajo es diseñar un sistema de tratamiento avanzado de agua para fines de desalinización en base a la conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales de puntos muestreados en la zona de estudio, para cumplir con parámetros establecidos en la normativa vigente de la calidad de agua y su posterior uso en actividades domésticas.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Determinar un rango de conductividad eléctrica que sea representativo del lugar de estudio para su posterior uso en experimentaciones.
2. Caracterizar el agua de la zona mediante los parámetros fisicoquímicos de campo y concentraciones de iones mayoritarios.
3. Experimentar con muestras sintéticas de agua con la conductividad eléctrica representativa del lugar usando los métodos de ósmosis inversa, electrocoagulación y electrodiálisis para desalinización.
4. Escoger un sistema de tratamiento para fines de desalinización siguiendo criterios técnicos, económicos y ambientales.
5. Bosquejar el sistema experimental escogido en AutoCAD con cada elemento utilizado.
6. Diseñar los parámetros para el sistema de tratamiento avanzado mediante variación de caudal, voltaje aplicado y volumen tratado con la finalidad de desalinizar el agua del lugar de estudio para el consumo.

1.4 Justificación del problema

El proyecto cumple con el Objetivo de Desarrollo Sostenible específicamente el numeral 6 'Agua Limpia y Saneamiento' satisfaciendo las metas 6.1 debido a que mediante la experimentación se obtendrá el tratamiento óptimo avanzado de desalinización que permitirá alcanzar agua potable a un precio asequible, debido a que se utilizarán voltajes bajos con los cuales se buscará disminuir el consumo energético de estas tecnologías. Conjuntamente el numeral 6b, involucra a la comunidad para mejorar su gestión del agua, desalinizando un pozo de la comunidad para aumentar la eficiencia en el uso del recurso hídrico con el fin de lograr abastecer de agua dulce para disminuir la escasez de agua del sector. El objetivo número 11 'Ciudades y comunidades sostenibles' también forman parte de la inclusión del proyecto debido a que se trata de dotar a las viviendas del sector un servicio básico elemental para la realización de sus actividades cotidianas mejorando su calidad de vida.

La OMS indicó que más de 2000 millones de personas habitan en países con problemas de escasez de agua y usan una fuente de agua para consumo contaminada. La escasez de agua podría empeorar debido al crecimiento poblacional y el cambio climático. (Organización Mundial de la Salud, 2022)

Contar con una fuente que suministre agua apta para el consumo, no sólo va a mejorar la salud sino también la calidad de vida de los habitantes, al impulsar el desarrollo económico de la parroquia. Es así como se pretende encontrar un sistema de tratamiento avanzado de agua que responda esta necesidad en la comunidad de Chanduy, con el propósito de aportar una solución que permita la implementación futura de un sistema descentralizado que garantice la calidad, cantidad y bajo costo del agua tratada, para el abastecimiento de agua para el consumo de la comunidad.

CAPÍTULO 2

2. DESARROLLO DEL PROYECTO

2.1 Metodología

La metodología del presente proyecto parte de la recopilación y análisis de información de estudios previos realizados en la zona de estudio por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) por medio de ESPOL. En él, se da a conocer la problemática del sector por lo cual fue necesario realizar la visita de campo, empleando un plan de muestreo de los puntos previamente identificados, tomando en cuenta el tipo de análisis y método de conservación necesario. Se tomaron parámetros inestables in situ y posteriormente se realizaron análisis de laboratorio: microbiológicos e iones mayoritarios. Para identificar las fases hidro químicas del agua muestreada se emplearon gráficas como la de Stiff, Piper y Schoeller Berkaloff.

Con la caracterización del agua del lugar de estudio, se preparó muestras sintéticas similar en conductividad al sitio, y se iniciaron las experimentaciones con los métodos de tratamiento avanzado de agua. Estos son: electrocoagulación, ósmosis inversa y electrodiálisis. Para estimar el método óptimo, se analizaron los resultados experimentales obtenidos mediante la evaluación de criterios como: eficiencia de desalinización, consumo energético, porcentaje de recuperación e impacto ambiental.

Los rangos de puntuación usados para valorar los criterios variaron dependiendo de la tecnología de tratamiento empleado, además se asignó un porcentaje para cada criterio. Esta variación fue importante, debido a que se quiso que en criterios como: eficiencia de desalinización y porcentaje de recuperación lo óptimo era obtener una mayor ponderación, mientras que en criterios como consumo energético o impacto ambiental fueran bajos. Finalmente, para escoger el sistema de tratamiento avanzado se ponderó a cada método mediante la escala de Likert, en donde el que tuvo mayor valor fue escogido como el sistema óptimo.

2.1.1 Salida de campo

2.1.1.1 Plan de muestreo

Se elaboró el plan de muestreo que se observa detalladamente en la Tabla 2.1. en donde se determinó el tipo de material y volumen necesario de los envases dependiendo del tipo de análisis a realizarse acorde a la normativa INEN 2169, además del método de conservación necesario.

Tabla 2.1. Plan de muestreo utilizado para salida de campo [Espinoza & Franco,2022].

#	Detalles de la muestra	Tipo de recipiente			Medidas de Conservación			
		Plástico	Vidrio (Borosilicato)	Obs.	Refr	Cong	Filt	Obs.
1	Contaminantes emergentes CEC'S		x	Envases de 250 mL				Llenar hasta la mitad
Iones Mayoritarios								
2	Sulfato (SO_4^{2-})	x	x	Se necesitará 2L por punto.	✓			Llenar al tope de la botella
3	Sodio (Na^+)	x	x		✓			
4	Potasio (K^+)	x			✓			
5	Cloruros (Cl^-)	x	x		✓			
6	Calcio (Ca^{2+})	x			✓			
7	Magnesio (Mg^{2+})	x			✓			
8	Bicarbonato (HCO_3^-)				✓			
Isótopos								
9	Isótopo ($18O+2H$)	x		Se necesitará mínimo envase 30 mL	✓			Llenar al tope de la botella
10	Isótopo ($15N+18O-NO_3$)	HDP Ex				x(-4°C)	✓	No utilizar hielo seco, congelar antes posible
11	Isótopo ($13C-DIC +14C-AMS$)*	x			✓		✓	

*DIC se refiere a la datación por radiocarbono de agua subterránea (DIC) y AMS a la técnica utilizada conocida como espectrometría de masas con aceleradores (AMS)

2.1.1.2 Visita de campo y mediciones iniciales

Durante los días 19 y 20 de septiembre del 2022 se realizó la visita de campo a la cuenca hidrográfica de Zapotal, corroborando que la población se abastece tanto de agua subterránea como superficial y en la mayoría de los casos, sin previo tratamiento para el consumo.

La visita de campo se dio en época seca y se midieron parámetros fisicoquímicos como: pH, temperatura, conductividad eléctrica, sólidos y oxígenos disueltos. Se recolectaron muestras para análisis de iones mayoritarios, análisis microbiológicos, contaminantes emergentes (CEC's) e isótopos en agua superficial (ríos y canales) y agua subterránea (pozos profundos).

Para ello, se tomaron muestras para cada uno de los análisis en cada punto muestreado como se evidencia en la Figura 2.1, en la cual fueron 2 reservorios, 2 ríos, 3 canales y 2 aguas subterráneas cuyas coordenadas se muestran en la Tabla 2.2 y se procedió a conservarlas siguiendo los lineamientos establecidos en la norma INEN 2169 con la finalidad de realizar la caracterización del agua y determinar el grado de salinidad presente.

Tabla 2.2. Coordenadas de puntos muestreados durante salida de campo [Espinoza & Franco,2022].

Punto	Lugares de Muestreo	Fuente de agua	Latitud	Longitud
1	Reservorio	Reservorios	-2,3705185	-80,7132177
2	Canal Y	Canales	-2,2155688	-80,2888612
3	Río Zapotal	Ríos	-2,3636150	-80,6587017
4	Adela	Aguas Subterráneas	-2,3776097	-80,6900801
5	Buena Fuente	Reservorios	-2,2944998	-80,7073773
6	Puente Zapotal	Ríos	-2,3151799	-80,5822717
7	CEDEGE	Canales	-2,3168056	-80,6436442
8	Canal Azúcar	Canales	-2,2488985	-80,5847914
9	Saya	Aguas Subterráneas	-2,2255817	-80,6404626



Figura 2.1. Toma de muestra en campo para los respectivos análisis en laboratorio [Espinoza & Franco,2022].

2.1.1.3 Recolección y transporte de muestras durante la visita de campo

Determinado los puntos de muestreo y con el equipo calibrado de turbidez y la multiparamétrica, se recolectaron las muestras acordes con el tipo de análisis que se desea realizar. Es decir, para análisis de iones mayoritarios se llenan dos botellas de plástico de alta densidad de 1L, la cual se llenan hasta el tope colocando tapón y llevándolas a una temperatura de refrigeración de 5 °C en las hileras como método de conservación para su posterior análisis en el laboratorio de Sanitaria de ESPOL.

Para el análisis microbiológico es necesario tener envases estériles, para la recolección de las muestras el envase se abre solo al momento de su uso y se llena sin endulzar o enjuagar dejando un espacio vacío, de esta manera nos aseguramos de que los microorganismos existentes permanezcan con vida.

2.1.1.4 Medición de parámetros fisicoquímicos de campo

La Figura 2.2 muestra la medición en campo de los parámetros inestables como conductividad eléctrica (CE), pH, temperatura, sólidos disueltos totales (SDT) mediante el uso de sondas conectadas a la multiparamétrica de marca HACH con previa calibración. La CE en el agua es importante para determinar el grado de salinidad en la fuente. Para la medición de turbidez se hizo uso del turbidímetro 2100Q HACH calibrándolo previamente con los estándares de formazina de 20, 100 y 800 NTU y la comprobación de 10 NTU para asegurar una correcta lectura de la turbiedad de la muestra.



Figura 2.2. Medición de parámetros fisicoquímicos in situ [Espinoza & Franco,2022]

2.1.2 Medición de iones

El análisis de iones mayoritarios de las muestras conservadas se realizó en el laboratorio de Sanitaria de ESPOL, se analizaron cationes como: Calcio (Ca^{2+}), Magnesio (Mg^{2+}), Sodio (Na^+), Potasio (K^+) y aniones como: Cloruros (Cl^-), Sulfatos (SO_4^{2-}) y Bicarbonatos (HCO_3^-). Otros de los aniones medidos fueron Nitratos (NO_3^-), Nitritos (NO_2^-). Para el análisis de Bicarbonato, dureza total y dureza de calcio se emplearon el método de titulación volumétrica, mientras que para los demás análisis se realizaron espectrofotometría de luz visible calibrando el equipo espectrofotómetro UV-Viscon con el estándar correspondiente. A continuación, se describe cada uno de los métodos utilizados para obtener las concentraciones de los iones.

2.1.2.1 Método volumétrico

Este análisis como se evidencia en la Figura 2.3 es utilizado para la obtención de las concentraciones de bicarbonato, calcio y magnesio. Consiste en tomar un volumen de la muestra preferiblemente medido en probeta y llevarlo a un matraz Erlenmeyer. Dependiendo del análisis se prepara previamente la muestra con reactivos que reaccionan al titularse con la solución estándar correspondiente, hasta llegar al viraje el cual se aprecia con el cambio de color. Es importante anotar el volumen inicial antes de empezar a titular y posteriormente el volumen final para obtener el volumen consumido.



Figura 2.3. Análisis volumétrico en laboratorio Sanitaria ESPOL [Espinoza & Franco,2022].

Para la medición de alcalinidad por bicarbonato se realizó mediante el uso de ácido sulfúrico de 0.02 N como solución estándar titulante junto con los indicadores de fenolftaleína y Bromcresol Green-Methyl. La determinación de la concentración de alcalinidad total se la determina mediante la ecuación (2.1):

$$Al_{HCO_3^-} = \frac{V_{consumido} * 50000 * 0.02N}{V_{muestra}} \quad (2.1)$$

Para el análisis de dureza total se usó como sustancia estándar titulante el ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) siguiendo la metodología HACH la cual nos indica que se debe tomar una alícuota de 50 mL de la muestra o una disolución de 25 mL de muestra llevada a 50 mL con agua desionizada, la misma que se le debe agregar 1 mL de dureza solución tapón, agitándola para homogenizar para posteriormente colocar una almohadilla de indicador de Magnesio ManVer 2.

Para obtener la concentración de calcio se usa la misma solución estándar como titulante EDTA, se toma una alícuota de 50 mL o una disolución de la muestra a la cual se le añade 1 mL de hidróxido de potasio solución 8 N, se homogeniza la mezcla para posteriormente colocar una almohadilla de indicador de calcio Cal Ver 2.

2.1.2.2 Potenciometría con sonda HACH y multiparamétrica

Este procedimiento se utilizó para determinar la cantidad de sodio que se encontraban en las muestras para lo cual se utilizó 25 mL de esta en un vaso precipitado de 50 mL con un sobre de contenido de Sodium ISA Powder Pillow y con la ayuda de una barra magnética se agitó la muestra en el agitador magnético para posteriormente con la ayuda de la Sonda de Sodio HACH registrar las medidas. El sensor de Na^+ se limpió con la solución de ajuste de fuerza iónica y calibró previamente con el estándar de sodio en concentraciones de 1 mg/L, 10 mg/L y 100 mg/L, asegurando así la correcta medición de las concentraciones de Na^+ en cada una de las muestras.

2.1.2.3 Espectrofotometría de luz visible

Para analizar las concentraciones de nitratos, nitritos, sulfatos, cloruros, potasio se utilizó el espectrofotómetro DR 3900 marca HACH y celdas de vidrio de 10 mL. Dependiendo del análisis iónico a realizar debe calibrarse el equipo con su respectivo estándar, es así como para el análisis de sulfatos se usa el método HACH 8051 se estandariza con una solución de Sulfato 70 mg/L. Para esto se debe tomar un alícuota de 7mg/L de la solución estándar de sulfato de 1000 mg/L con la pipeta, esta alícuota se coloca en el matraz volumétrico y lo aforamos hasta llegar a la marca con agua desionizada, al llegar a la marca se alcanza los 100 mg/L.

Se procede a mezclar bien y esperamos a que se estabilice. En el equipo escogemos el programa 680 Sulfate y calibramos tomando una alícuota de 10 mL del estándar preparado y le colocamos una almohadilla de Sulfaver 4, agitamos y dejamos que reaccione, para esta calibración también es necesario un blanco que para la calibración será una alícuota de 10 mL de la solución estándar preparada.

Una vez calibrado el equipo se procede a tomar alícuotas de 10 mL de cada muestra en celdas, una como blanco y otra con el reactivo Sulfaver 4, se agita y se deja reaccionar. Si pasado el tiempo de reacción la muestra se pone blanquecina es un indicador de presencia de sulfatos en el agua. Mientras más blanca sea la muestra con el reactivo, más concentración de sulfato habrá por lo que podría ser necesario realizar diluciones.

Para los demás análisis de iones el procedimiento es similar, es decir, se debe estandarizar y luego tomar las mediciones. Es así como para medir nitratos se usa el método HACH 8039 con el programa 355 N NITRATE HR PP; para nitritos el método HACH 8507/371 N NITRITE LR PP; para cloruros el método HACH 8113/70 Chloride y para medir las concentraciones de potasio se usó el método HACH 8049/905 Potassium.

2.1.3 Análisis microbiológico

Este análisis fue realizado en el laboratorio de Sanitaria de ESPOL con la finalidad de identificar presencia de microorganismos como coliformes fecales y totales en 9 muestras de las obtenidas en campo una de ellas se evidencia en la Figura 2.4, se usan placas Petrifilm 3M. Se inicia recolectando las muestras en recipientes estériles que fueron llenados en campo hasta $\frac{3}{4}$ de su capacidad y refrigerados como método de conservación aplicado. Se realiza la inoculación 1 mL de muestra en la placa Petrifilm y se cubre bajando lentamente la película superior, evitando formar burbujas de aire.

Una vez lista las muestras en el área de análisis de las placas, son llevadas a la incubadora en donde son sometidas a una temperatura de 37 °C para incubación de coliformes totales y se prepara otra incubadora a 44 °C para analizar coliformes fecales, todas las muestras deben someterse a las respectivas temperaturas durante 24 horas.

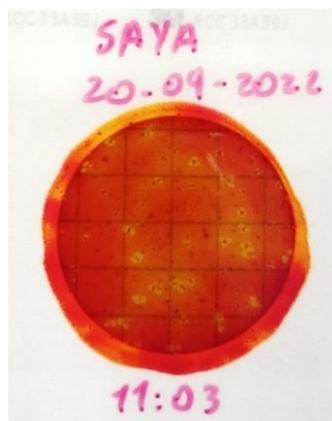


Figura 2.4. Muestra de análisis microbiológico del punto SAYA.

2.1.4 Metodología de interpretación de datos

2.1.4.1 Determinación del error del balance iónico

Para determinar la calidad del agua en primera instancia se realizó una evaluación del análisis químico, con el objetivo de verificar la consistencia de los datos determinados en laboratorio. Por lo tanto, se empleó la ecuación (2.2) para el error de balance iónico en la cual mide la diferencia entre el total de aniones y cationes expresados en miliequivalentes sobre litro (mEq/L). Los rangos aceptables son aquellos menores al $\pm 10\%$.

$$\%Error = \frac{\sum \text{cationes} - \sum \text{aniones}}{\sum \text{cationes} + \sum \text{aniones}} * 100 \quad (2.2)$$

2.1.4.2 Diagramas para representación de muestras de agua

Para representar la calidad del agua de los puntos muestreados, se empleó diferentes diagramas como:

- **Diagrama de Piper:** Consiste en la representación de un rombo que recoge información de 2 triángulos donde se representa los cationes y aniones respectivamente de la muestra determinada.
- **Diagrama de Stiff:** Representación gráfica en la que se muestra los iones mayoritarios, contiene una forma de polígono que se crea en base a las concentraciones sobre los 3 ejes horizontales, en el lado derecho constan los aniones e izquierda cationes.

- **Diagrama de Schoeller Berkaloff:** Emplea un diagrama en escala semilogarítmica que permite analizar los picos máximos y mínimos de las concentraciones de iones de las muestras.

2.1.4.3 Software empleado para diagramas

Para la implementación de los diagramas se utilizó el software “Diagrammes”, el cual es de uso libre y fue elaborado por la Universidad de Avignon (Simler C. R., 2013), permite realizar gráficas de Piper, Stiff, Schoeller Berkaloff y simulaciones estadísticas. En la Figura 2.5 se muestra la importación de datos al programa para la ejecución de los diagramas.



Figura 2.5. Importación de datos al software “Diagrammes” para la realización de diagramas [Espinoza & Franco,2022].

2.2 Experimentación de tecnologías

2.2.1 Ósmosis inversa

Para realizar la comparación de alternativas de tecnologías avanzadas de tratamiento de agua, se utilizó la planta de ósmosis inversa que se muestra en la Figura 2.6. Se ensayó con la muestra sintética de 3000 µS/cm para que la concentración de conductividad sea comparable. La muestra de agua sintética se almacena en el tanque de 250 L, la cual es succionada por una bomba centrífuga y pasa al filtro multimedia formado por grava, zeolita, carbón activado y espacio libre con la finalidad de disminuir la turbidez. El efluente es desinfectado con una lámpara UV, posteriormente el agua es filtrada en dos filtros de polipropileno y es inyectada con una bomba multietapas hacia la membrana de ósmosis inversa.

Los parámetros que se midieron fueron la conductividad eléctrica (CE) inicial en el tanque de almacenamiento, la final obtenida para el permeado y rechazo, además sólidos disueltos totales (SDT).



Figura 2.6. Manipulación de planta ósmosis inversa [Espinoza & Franco, 2022].

2.2.2 Electrocoagulación

Para realizar la experimentación de esta alternativa, se debe tener en cuenta que se recurre al principio de electroquímica. Este permite eliminar contaminantes presentes en el agua, sean estos suspendidos o disueltos mediante un potencial eléctrico. Dicho potencial es aplicado al agua que se desea tratar mediante electrodos metálicos usando el equipo estación electroquímica CorrTest. Los electrodos son ubicados paralelamente entre sí, tal como se observa en la Figura 2.7, estos pueden ser de aluminio o hierro. La desalinización del agua se produce dentro de un medio electrolítico, para esto, la celda electrolítica conformada ánodos y cátodos entra en funcionamiento.



Figura 2.7. Celda electrolítica usada para experimentación de tratamiento de agua mediante electrocoagulación [Espinoza & Franco, 2022].

2.2.3 Configuración del stack (pila) de electrodiálisis

Para la ejecución del experimento es necesario configurar el stack de electrodiálisis, el cual contiene membranas de intercambio catiónico (CEM) y membranas de intercambio aniónico (AEM), como se muestra en la Figura 2.8. Acorde a los orificios por donde se desea que pase el flujo se debe dejar espaciadores que permitan o no el paso del agua. Para armar el stack iniciamos con un separador que se encuentre totalmente sellado en su contorno para que la solución electrolítica no se mezcle con la muestra sintética a desalinizarse. El arreglo finalmente es una alternancia entre membranas catiónicas, aniónicas y separadores, en donde se inicia y finaliza cada par de membranas con una membrana catiónica. Se sella el stack mediante el uso de tornillos con sus respectivas tuercas.

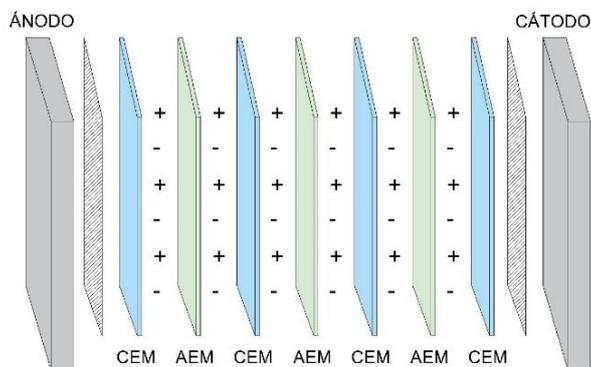


Figura 2.7. Esquema de arreglo de membranas de Stack electrodiálisis con 3 pares de membranas [Espinoza & Franco,2022].

Se preparan tanto la muestra sintética como la electrolítica con conductividades eléctricas de 3000 y 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente. La muestra sintética utiliza el reactivo de NaCl mientras que el electrolito fue Na_2SO_4 . Posteriormente se determinan variables como el volumen de agua a tratar, el voltaje, el caudal de entrada para ambos flujos mediante el uso de una bomba peristáltica. Una vez escogido los valores de nuestras variables se procede a cebar las mangueras, eliminando las burbujas del sistema. Para la solución electrolítica es necesario usar una bomba sumergible, de esta forma, esta recircula yendo desde el recipiente al stack y viceversa. Debemos asegurarnos de que los flujos que entran vuelvan al recipiente, para esto hay que tener en cuenta que, en el stack, si el flujo ingreso por la parte del cátodo la salida del misma la encontraremos en la parte aniónica y viceversa.

La calibración se da una vez que ya se haya cebado las mangueras, es decir el sistema no contenga aire. Para esto debemos comprobar que el flujo proporcionado por la bomba peristáltica sea el mismo para ambos en sus salidas. Tomamos dos probetas graduadas y medimos el volumen durante 1 min. Revisamos las mediciones de ambas probetas, si son las mismas que hemos seleccionado en la bomba, el sistema esta calibrado. Para poner en marcha la desalinización se conecta tanto el ánodo como el cátodo al potencióstato mediante las pinzas de cocodrilo, el potencióstato nos dará un potencial eléctrico constante que hará que las membranas selectivas empiecen su trabajo. En la Figura 2.9 se evidencia el uso y manejo del stack de electrodiálisis.

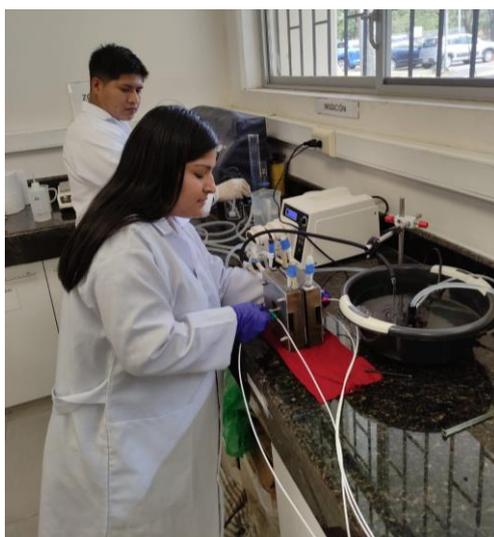


Figura 2.8. Prueba de funcionamiento de stack de electrodiálisis [Espinoza & Franco, 2022].

2.3 Análisis de alternativas

En este trabajo se proponen tres tecnologías avanzadas de tratamiento de agua con el objetivo de desalinizar el agua para producir agua potable (en términos de conductividad y sólidos disueltos totales). El valor de conductividad en agua para consumo es 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ acorde a la OMS, mientras que para sólidos disueltos totales es de 500 mg/L. Las alternativas propuestas son:

1. **Ósmosis Inversa**
2. **Electrocoagulación**
3. **Electrodialisis**

Los criterios que se utilizarán para la evaluación de las diferentes alternativas son: consumo energético, eficiencia de desalinización, porcentaje de recuperación e impacto ambiental:

- **Eficiencia de desalinización:** Este criterio será el porcentaje de remoción de sales (conductividad) mediante la aplicación de las diversas tecnologías de tratamiento avanzado consideradas.
- **Consumo energético:** Este criterio se basa en el costo de la electricidad para tratar 1 m^3 de agua.
- **Porcentaje de recuperación:** Este criterio se basa en la cantidad de agua que se puede producir con cada tecnología.
- **Impacto ambiental:** Este criterio se basa en la generación de desechos producto de la implementación de la tecnología.

La Tabla 2.3 muestra los rangos bajo los cuales se puntuará cada criterio, de acuerdo con los alcances del proyecto final. Es así como, por ejemplo, se desea dar mayor puntaje al que posea una eficiencia de remoción mayor al 90%, debido a que esto nos garantiza que la tecnología avanzada remueve CE hasta alcanzar niveles que permitan potabilizar el agua. En contraste, el criterio de consumo energético pide la optimización para evitar elevar el costo por consumo eléctrico, por lo que para dar la mayor puntuación este debe ser menor a 1 kWh/m^3 .

Tabla 2.3. Rangos de puntuación para cada tecnología avanzada de desalinización [Espinoza & Franco,2022].

Criterio	No Satisface	Poco Satisfactorio	Medianamente Satisfactorio	Muy Satisfactorio	Totalmente Satisface
Eficiencia de desalinización	Menor a 10%	Mayor a 25%	Mayor a 50%	Mayor a 70%	Mayor a 90%
Consumo energético	Mayor a 4 kWh/m ³	Menor a 3 kWh/m ³	Menor a 2.5 kWh/m ³	Menor a 2 kWh/m ³	Menor a 1 kWh/m ³
Porcentaje de recuperación	Menor a 10%	Mayor a 10%	Mayor a 30%	Mayor a 50%	Mayor a 70%
Impacto ambiental	Muy Alto	Alto	Intermedio	Bajo	Muy bajo

Para la evaluación de los criterios, además se asignaron diferentes porcentajes acorde a la importancia del desarrollo e implementación de la tecnología de tratamiento avanzado de agua.

Tabla 2.4. Criterios de evaluación de las alternativas [Espinoza & Franco, 2022].

CRITERIO	PESO	Justificación
Eficiencia de desalinización	30%	El principal objetivo de este trabajo es producir agua potable (conductividad) es decir la eliminación de sales.
Consumo energético	30%	Las tecnologías deben ser energético-costo-efectivas para que puedan implementarse en la práctica.
Porcentaje de recuperación	20%	Porque establece cuánta agua se puede producir.
Impacto Ambiental	20%	Porque todo proyecto debe considerar los efectos positivos y negativos producto de las actividades, en este caso de las tecnologías de tratamiento avanzado de agua.

Para la ponderación de cada criterio se utilizará una escala de Likert que se observa en la Tabla 2.5, la cual permitirá obtener datos cuantitativos en la evaluación de cada indicador. La misma estará compuesta de 5 valores.

Tabla 2.5. Escala de Likert para evaluación de criterios.

Criterio	No Satisface	Poco Satisfactorio	Medianamente Satisfactorio	Muy Satisfactorio	Totalmente Satisface
Peso %	1 punto	2 puntos	3 puntos	4 puntos	5 puntos

2.3.1.1 Alternativa 1: Ósmosis inversa

A continuación, se realizará el análisis de la alternativa de tratamiento avanzado de agua llamado ósmosis inversa.

Eficiencia de desalinización: Para la tecnología de tratamiento de agua con ósmosis inversa se calculó experimentalmente la eficiencia de desalinización. En donde se trató una muestra sintética de 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ previamente preparada en el tanque de almacenamiento de 250 L. La planta permite tratar 1.5 gal/min lo que correspondería a 340.8 L/h y permitió que el tanque se vaciara en 4 minutos. Una vez finalizado el proceso de tratamiento se monitoreó los siguientes parámetros para el producto de permeado y rechazo que se muestran en la Tabla 2.6.

Tabla 2.6. Datos obtenidos del experimento con tecnología avanzada de ósmosis inversa [Espinoza & Franco, 2022].

N° Experimento	Agua por tratar				Permeado				Rechazo			
	$\mu\text{S}/\text{cm}$		mg/L	°C	$\mu\text{S}/\text{cm}$		mg/L	°C	$\mu\text{S}/\text{cm}$		mg/L	°C
	CE ₁	pH ₁	SDT ₁	T	CE _{f1}	pH _{f1}	SDT _{f1}	T	CE _{f2}	pH _{f2}	SDT _{f2}	T
1	3026	6.44	1513	26.71	23	7.55	12	27.08	3520	5.8	1771	27.2
2	3065	6.55	1532	26.77	19	7.9	10	26.94	3991	5.97	1999	27.22
3	3072	6.65	1538	26.84	25	7.93	12	26.95	4055	6.12	2028	27.19
4	3034	6.74	1524	26.82	18	8.26	9	27.11	4057	6.37	2027	27.1
5	3010	6.76	1505	26.87	16	8.17	8	27.02	3978	6.29	1989	27.21
6	3050	6.72	1526	26.86	16	8.03	8	26.96	4014	6.28	1992	27.34
7	3008	6.69	1505	26.87	15	8.15	7	27.19	3953	6.32	1979	27.26
8	3060	6.36	1530	26.7	16	7.99	8	27.07	3942	6.29	1971	27.2
9	3008	6.71	1501	26.8	15	7.66	8	26.8	3887	6.26	1947	26.89
10	3010	6.74	1504	26.83	22	6.66	11	27.07	3803	6.45	1906	27.2
11	3068	6.75	1536	26.87	25	8.98	12	27.11	3960	6.85	1981	27.14
12	3012	6.17	1505	26.72	29	7.65	15	27.29	3790	6.05	1898	27.03
13	3015	6.41	1507	26.77	33	7.86	16	27.07	3873	6.12	1905	27.09
14	3014	6.47	1509	26.82	23	8.09	11	27.24	3945	6.42	1932	27.36
15	3020	6.67	1508	26.87	25	9.06	12	27.27	3922	6.85	1962	27.34
16	3016	6.85	1512	26.9	35	9.23	17	27.25	3782	7.01	1892	27.54

Se obtuvo un valor promedio de conductividad eléctrica con los ensayos realizados, siendo de 3031 $\mu\text{S/cm}$, mientras que la conductividad del permeado fue de 22 $\mu\text{S/cm}$. Estos valores permiten calcular la eficiencia de desalinización mediante la ecuación (2.3) la cual fue de 99.9%

$$\%ED = \frac{CE_0 - CE_f}{CE_0} * 100 \quad (2.3)$$

$$\%ED = \frac{3031 - 22}{3031} * 100 = 99.92\%$$

Consumo energético: El consumo energético para la tecnología de ósmosis inversa se lo obtuvo a través de la simulación por software libre (WAVE versión 1.77). A continuación, se detalla cómo se obtuvo la energía específica del tratamiento para obtener 1 m^3 de agua tratada: En el software ingresamos los valores de las mediciones de parámetros fisicoquímicos obtenidos en tanto de la visita de campo como de los análisis de laboratorio realizados, estos parámetros a ingresar son los siguientes:

- Turbidez, NTU
- Concentraciones de iones mayoritarios
- Carbono orgánico total (TOC), mg/L
- pH
- Temperatura, $^{\circ}\text{C}$
- Sólidos Suspendidos Totales (SST), mg/L
- Tipo y subtipo de efluente

Además de estos valores, la planta tiene capacidad para tratar 340.8 L/h. El software WAVE mediante todos los parámetros ingresados nos da un consumo energético del sistema de 2.36 kWh/m^3 . La planta de ósmosis inversa trabaja con una fuente de alimentación de voltaje de 220 V. El costo del kWh en Ecuador es de \$0.092, por lo cual se estima que el costo para tratar 1 m^3 de agua es de \$0.22 utilizando la tecnología de tratamiento de ósmosis inversa.

Porcentaje de recuperación: El porcentaje de recuperación en ósmosis inversa está establecido por el fabricante de la membrana. En este caso el porcentaje de recuperación es de 15-18% para una membrana del tipo Brackish Water (BW30-4040). (FilmTec TM Fiberglassed Elements for Light Industrial Systems Product Data Sheet, 2020)

Impacto ambiental: La tecnología de ósmosis inversa puede generar residuos como el rechazo de agua, el cual es un caudal rico o concentrado en sales el cual debe ser tratado adecuadamente. Una vez cumplido el tiempo de vida útil de la membrana (3 a 5 años), esta tiene que ser reemplazada.

A continuación, se muestra en la Tabla 2.7 la escala de Likert acorde los criterios seleccionados para la tecnología avanzada de ósmosis inversa. De tal forma que en términos de eficiencia de desalinización satisface totalmente al alcanzar un 99.92% de remoción de sales, a su vez esta tecnología es poco satisfactoria en términos de consumo energético alcanzado 2.36 kWh/m³ que representa el costo de \$0.22 por cada m³ de agua tratada. Asimismo, ocurre con el porcentaje de recuperación de agua tratada que se limita al 18% según la especificación técnica de la membrana comercial usada. Finalmente, en términos de impacto ambiental es medianamente satisfactorio al producir mayor cantidad de agua para rechazo con gran cantidad de sales y el cambio de membranas y el proceso de incineración al que deben someterse.

Tabla 2.7. Evaluación de los criterios seleccionados para la tecnología avanzada de ósmosis inversa [Espinoza & Franco,2022].

Criterio	No Satisface	Poco Satisfactorio	Medianamente Satisfactorio	Muy Satisfactorio	Totalmente Satisface
Eficiencia de desalinización	---	---	---	---	5
Consumo energético	---	---	3	---	---
Porcentaje de recuperación	---	2	---	---	---
Impacto ambiental	---	---	3	---	---

2.3.1.2 Alternativa 2: Electrocoagulación

El análisis de la alternativa avanzada de tratamiento conocida como electrocoagulación, se describe a continuación.

Eficiencia de desalinización: Para evaluar este criterio se monitoreó la CE versus el tiempo de operación de la experimentación con la muestra sometidas a un medio electrolítico producido por dos electrodos metálicos, de esta forma se inicia la desalinización mediante la disminución de CE como se aprecia en la Figura 2.10. La CE inicial de la muestra es de $3900 \mu\text{S}/\text{cm}$, para la cual se realizan experimentaciones en un medio básico con pH de 8.5.

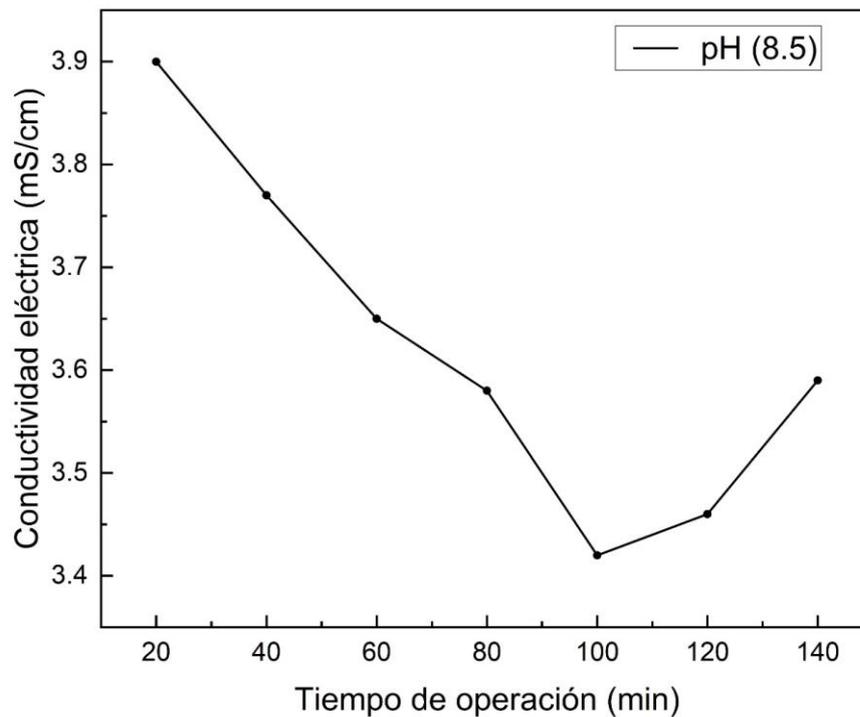


Figura 2.9. Desalinización mediante tecnología avanzada de Electrocoagulación [Espinoza & Franco, 2022].

Los resultados experimentales de la Figura 2.10 describe como la CE en medio básico, disminuye en $600 \mu\text{S}/\text{cm}$ en un tiempo de operación de 100 minutos y se mantiene hasta ir disminuyendo la tasa de remoción, mientras alcanza los 140 min de operación. Estos resultados indican que esta tecnología no ofrece una disminución de la CE a partir de un mayor tiempo de operación.

La eficiencia de desalinización fue de 12.82 % a los 100 min de operación como muestra la ecuación (2.4)

$$\%ED = \frac{CE_0 - CE_f}{CE_0} * 100 \quad (2.4)$$

$$\%ED = \frac{3.9 - 3.4}{3.9} * 100 = 12.82\%$$

Consumo energético: Se realizó pruebas experimentales aplicando un potencial eléctrico a dos electrodos metálicos (ánodo y cátodo), mismo que de -1.24 V a una corriente aplicada de -12 mA para tratar un volumen de 150 mL. Sin embargo, la eficiencia de desalinización fue de 12. 82% esto no permite alcanzar el objetivo de CE para agua potable de 800 $\mu S/cm$. El consumo energético fue calculado mediante la ecuación (2.5) obteniendo el valor de 0.1656 KWh/m³.

$$E = \frac{V * I * t}{\forall} \quad (2.5)$$

- E: Energía consumida para tratar el agua [KWh/m³]
- V: Voltaje [V]
- I: Corriente [A]
- T: Tiempo de experimentación [h]
- \forall : Volumen de agua (m³)

$$E = \frac{-1.24 * -0.012 * 1.67}{0.00015}$$

$$E = 0.1656 kWh/m^3$$

El valor del KWh en Ecuador es de \$0.092, por lo que el costo para desalinizar 1 m³ de agua es de \$0.02.

Porcentaje de recuperación: Se evalúa este criterio mediante el volumen tratado de la muestra, a la cual debe realizársele un proceso de filtración por el cual se pierde 10 mL de la muestra inicial de 150 mL de agua. Mediante la Ecuación (2.6) se obtuvo un porcentaje de recuperación de 93.33%,

$$\%RA = \frac{Vf}{Vf + Vp} * 100 \quad (2.6)$$

$$\%RA = \frac{140}{140 + 10} * 100 = 93.33\%$$

Impacto ambiental: En este proceso de tratamiento avanzado se evidenció la generación lodos como un subproducto, por lo tanto, la cantidad de lodos generadas necesita la implementación de un tratamiento que actualmente no se puede aplicar por limitaciones económicas. Este tratamiento consiste en la extracción, preparación, secado y transporte para su posterior uso.

A continuación, la Tabla 2.8 muestra la valoración recibida en la escala de Likert para la tecnología avanzada electrocoagulación donde su consumo energético es muy bajo y su porcentaje de recuperación es alto, lo que satisface totalmente estos criterios. Debido a que valor para desalinizar 1 m³ es de \$0.02 con un consumo de 0.1656 KWh/m³.

En contraste, presenta déficit para la desalinización, por lo que no se llega a valores establecidos por normativa, y su eficiencia de desalinización es de solo el 12.82%. Con respecto al impacto ambiental genera lodos por lo que se necesita un posterior tratamiento lo que resulta poco satisfactorio.

Tabla 2.8. Evaluación de los criterios seleccionados para la tecnología avanzada de electrocoagulación [Espinoza & Franco,2022].

Criterio	No Satisface	Poco Satisfactorio	Medianamente Satisfactorio	Muy Satisfactorio	Totalmente Satisface
Eficiencia de desalinización	1	---	---	---	---
Consumo energético	---	---	---	---	5
Porcentaje de recuperación	---	---	---	---	5
Impacto ambiental	---	2	---	---	---

2.3.1.3 Alternativa 3: Electrodiálisis

Eficiencia de desalinización: Mediante experimentación se determinó las mejores condiciones o parámetros para desalinizar mediante electrodiálisis los cuales se describen en la Tabla 2.9.

Tabla 2.9. Parámetros usados para experimentación mediante electrodiálisis [Espinoza & Franco,2022].

Parámetros	Valor
Membranas (pares)	6
Caudal (ml/min)	100
Tiempo (h)	1,5
Amperaje (A)	0,0207
Voltaje (V)	4
Volumen (m ³)	0.0001

Se monitoreó CE, pH, SDT en intervalos de 15 minutos durante un tiempo de 1.5 horas. Estos se pueden observar en la Tabla 2.10 donde la CE₁ corresponde al permeado de o producto desalinizado, mientras que CE₂ al concentrado.

Tabla 2.10. Resultados de monitoreo de experimentación con tecnología de electrodiálisis [Espinoza & Franco,2022].

t (min)	μS/cm	μS/cm			mg/L	mg/L	°C	μS/cm
	CE ₀₁	CE ₀₂	pH ₀₁	pH ₀₂	SDT ₀₁	SDT ₀₂	T ₀	CE _{Electrolito}
0	3010	3070	8,13	8,08	1581	1607	23,8	1504
15	2370	3320	8,18	8,09	1226	1742	24,1	1508
30	1855	3800	8,29	8,02	510	1933	24,1	1522
45	1379	3970	8,30	8,06	702	2105	24,1	1533
60	1004	4280	8,59	8,03	504	2280	24,2	1539
75	824	4710	8,39	8,01	410	2500	24,2	1560
90	511	4790	8,35	7,85	252	2550	24,2	1565

La eficiencia de desalinización se calculó utilizando la Ecuación 2.3 y las CE inicial y final de la columna correspondiente al permeado (CE₀₁) de la Tabla 2.10, obteniendo una eficiencia de desalinización del 83,02 %.

$$\%ED = \frac{3010 - 511}{3010} * 100$$

$$\%ED = 83,02 \%$$

Consumo energético: Se cuantifica el consumo energético de la tecnología de electrodiálisis utilizando los datos experimentales resumidas en la Tabla 2.9. En las Figuras 2.11 se visualiza la corriente aplicada durante la experimentación de electrodiálisis.

Se observa en la Figura 2.11 que la intensidad de corriente varía en 0.025-0.014 A durante los intervalos de 2000 a 14000 segundos, para efectos de cálculo de consumo energético se utilizó un promedio de la intensidad de corriente aplicada en ese tramo, siendo 0.0207 A.

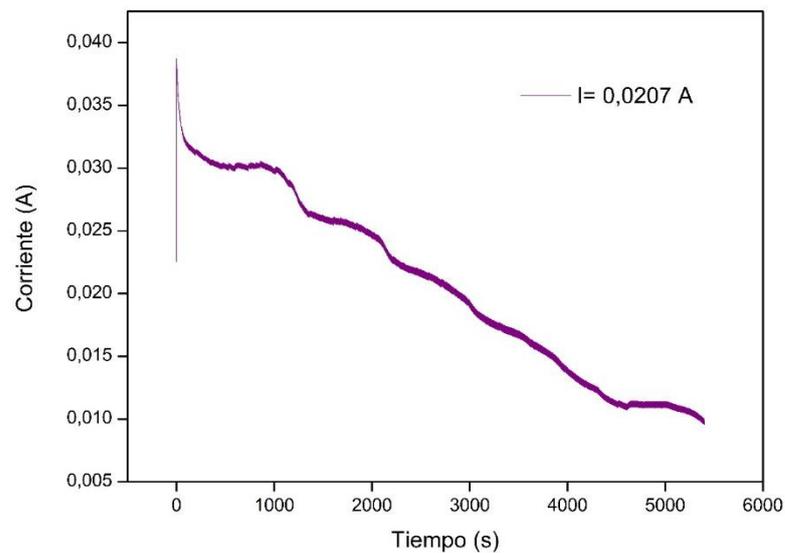


Figura 2.10 . Intensidad aplicada durante el experimento con tecnología avanzada de electrodiálisis en 1.5 h [Espinoza & Franco,2022].

Para calcular el consumo específico de energía se utilizará la Ecuación (2.5). Donde el costo para desalinizar 1 m³ de agua es de \$0.11, debido al valor del kWh en Ecuador de \$0.092 por kWh.

$$E = \frac{4V \cdot 0.0207 A \cdot 1.5h}{0.0001 m^3}$$

$$E = 1.242 \frac{KWh}{m^3}$$

Porcentaje de recuperación: Este criterio toma en cuenta el inicio de la experimentación con un mismo volumen tanto para la muestra a concentrar como para la muestra a permear o desalinizar, en este caso 250 mL. Lo mismo ocurre con el caudal de entrada y salida (permeado, concentrado y agua en tuberías debido a que es un sistema pequeño de tratamiento), siendo este de 250 mL/min. La recuperación de agua en esta tecnología de tratamiento se determina mediante la Ecuación (2.6).

El valor de recuperación cuando el volumen inicial tanto de permeado como concentrado es el mismo es del 50 %.

$$RA = \frac{10}{10 + 10} * 100$$

$$RA = 50\%$$

Impacto ambiental: Este criterio se ve influenciado por el reemplazo de las membranas por taponamiento o el cumplimiento de su vida útil la cual oscila entre los 5 a 7 años.(Lenntech, n.d.). El concentrado de sales puede ser llevado a una piscina para su evaporación, quedando solo las sales, mientras que las membranas pueden ser incineradas.

La Tabla 2.11 muestra la valoración en la escala de Likert para la tecnología avanzada electrodiálisis donde su consumo energético es bajo con $1.242 \frac{KWh}{m^3}$ y un precio de \$0.11 por 1 m³ de agua desalinizada, por lo cual es muy satisfactorio. Su porcentaje de recuperación es del 50% lo que hace a esta alternativa viable y con respecto al impacto ambiental su concentrado que libera puede ser tratado posteriormente.

Tabla 2.11. Evaluación de los criterios seleccionados para la tecnología avanzada de electrodiálisis. [Espinoza & Franco,2022].

Criterio	No Satisface	Poco Satisfactorio	Medianamente Satisfactorio	Muy Satisfactorio	Totalmente Satisface
Eficiencia de desalinización	---	---	---	4	---
Consumo energético	---	---	---	4	---
Porcentaje de recuperación	---	---	---	4	---
Impacto ambiental	---	---	---	4	---

2.4 Selección de alternativa óptima

Finalmente, la Tabla 2.12 muestra los resultados en base a los criterios y evaluación, donde la alternativa óptima corresponde a la tecnología avanzada de Electrodiálisis donde se pudo alcanzar los parámetros de calidad de agua potable establecidos por la OMS debido al cumplimiento muy satisfactorio de todos los criterios, tanto de eficiencia de desalinización con el 72.2 %, consumo energético de $1.46 \frac{kWh}{m^3}$, porcentaje de recuperación del 50% y un bajo impacto ambiental con respecto a sus residuos.

Tabla 2.12. Selección de alternativa óptima [Espinoza & Franco,2022].

Criterio		Eficiencia de desalinización	Consumo energético	Porcentaje de recuperación	Impacto ambiental	Total
Peso %		30%	30%	20%	20%	100%
1	Ósmosis Inversa	1,5	0,9	0,4	0,6	3,4
2	Electrocoagulación	0,3	1,5	1,0	0,4	3,2
3	Electrodiálisis	1,2	1,2	0,8	0,8	4

CAPÍTULO 3

3. DISEÑO Y ESPECIFICACIONES

Para el diseño de tratamiento avanzado de electrodiálisis es necesario determinar los valores fisicoquímicos iniciales y caracterizar el agua del sector con el objetivo de realizar las distintas experimentaciones en laboratorio para optimizar parámetros empleados en el sistema como: voltaje, caudal y tiempo de electrodiálisis. Con el propósito de implementar el sistema de desalinización se monitoreó el voltaje, debido a que se requiere optimizar el costo de energía para la ejecución del tratamiento, lo que implica utilizar un caudal adecuado que pase por el stack para desalinizar el proceso en el menor tiempo posible.

Por lo consiguiente, para el estudio se tomó los datos de conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales del sector, debido a que se requiere conocer que rangos de salinidad presenta la zona, de igual forma se monitoreó el pH y turbidez del agua debido a que al implementar el sistema, este no remueve partículas en suspensión. De manera similar se realizó un análisis de iones mayoritarios para caracterizar el agua con el fin de seleccionar un punto de muestra representativo para las experimentaciones de electrodiálisis.

3.1 Caracterización del agua de la zona de estudio

La Figura 3.1 muestra los resultados de CE in situ de los puntos muestreados en la zona de estudio. Las CE varían entre 109 a 3250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y los SDT entre 49,4 a 1709 mg/l. Acorde a la OMS el límite permitido para el agua de consumo doméstico es de 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para CE y 600 mg/l para SDT.(Guías para la calidad del agua de consumo humano,2018). Por lo consiguiente, hay puntos del sector que no son aptas para el consumo y uso doméstico por lo cual se evidencia la necesidad de realizar un tratamiento avanzado de desalinización para disminuir la concentración de iones en el agua.

Los puntos con menor CE y SDT son los cuerpos de aguas superficiales como: los canales y reservorios con [109-2010] $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que los puntos críticos son: Río Zapotal y Adela, cuerpos subterráneos que poseen una mayor cantidad de CE y SDT con un rango de [3070-3250] $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Mapa de Conductividad Eléctrica

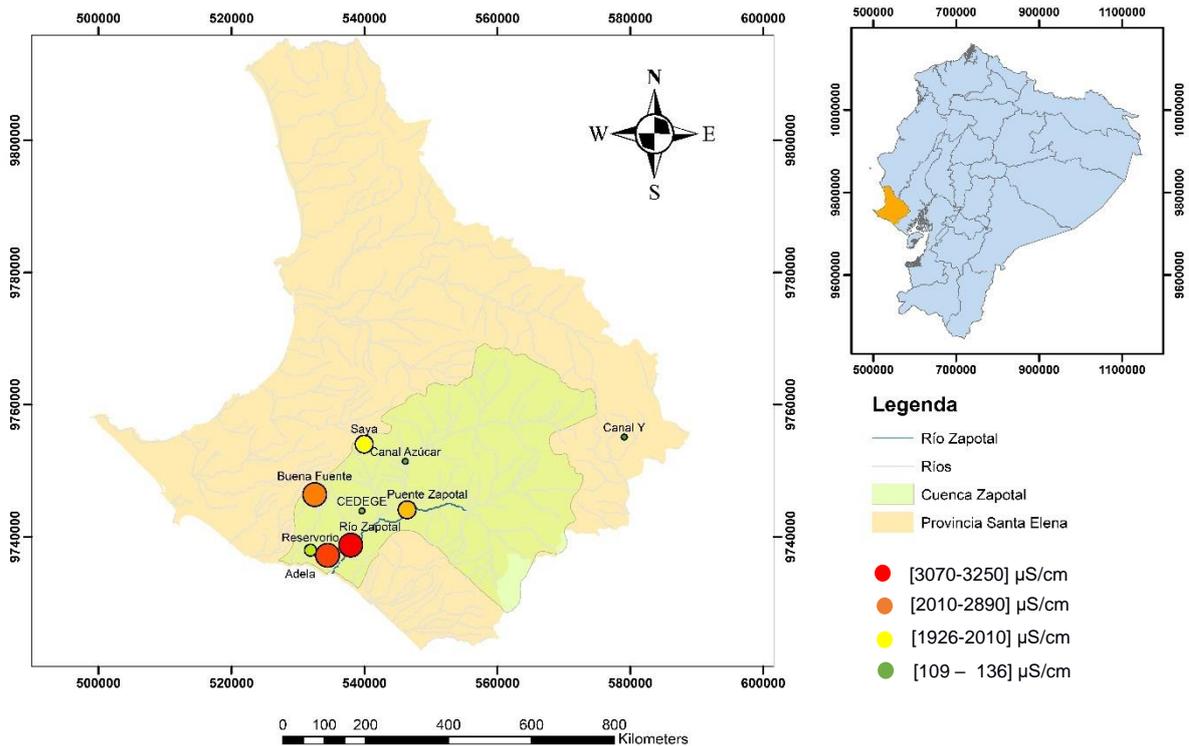


Figura 3.1. Mapa de conductividad eléctrica de puntos muestreados [Espinoza & Franco,2022].

En la Figura 3.2. se muestran los resultados obtenidos de la medición de turbidez en los puntos monitoreados de la zona de estudio, donde se determinó que todas las muestras de cuerpo de agua subterráneas poseen una turbidez menor de 5 NTU, valor límite permitido por la OMS para uso de agua potable, a diferencia de los cuerpos de agua superficiales como los canales, los cuales poseen una turbidez mayor de 5 NTU debido a la abundante vegetación y diversas actividades antropogénicas del sector.

La finalidad del monitoreo de la turbidez es que, para experimentar con el agua del sector, se debe tener una turbidez razonable menor a 10 NTU, debido a que puede ocasionar un taponamiento en las membranas de intercambio iónico del stack de electrodiálisis lo que ocasionaría un incorrecto funcionamiento en la experimentación. Fuentes de agua superficial como los canales 'Y' y Azúcar presentan los valores más altos de turbidez, lo cual se debe a las suspensiones de arcillas o por presencia de microplancton. En cambio, las aguas subterráneas no muestran estos impactos.

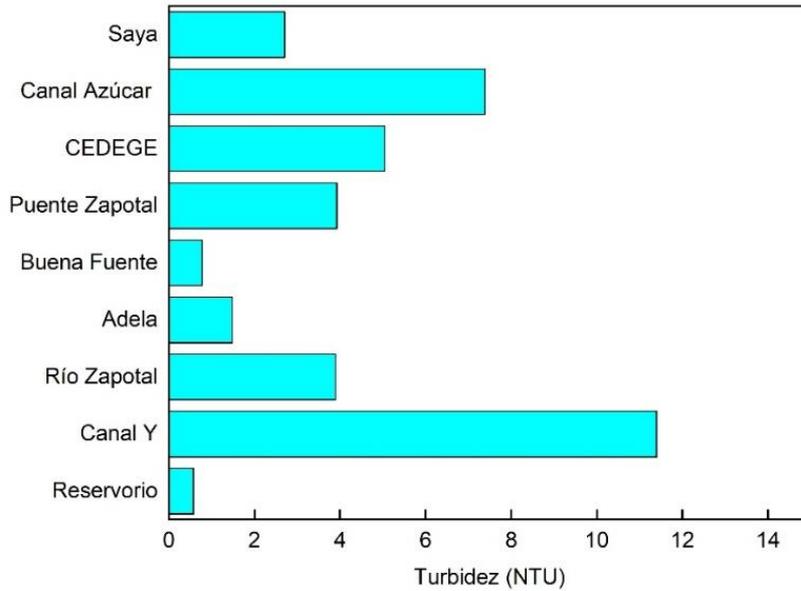


Figura 3.2. Monitoreo de turbidez en sitio de estudio [Espinoza & Franco,2022].

La Figura 3.3. detalla el pH monitoreado en la zona de estudio, la cual presenta valores entre 7,29 a 8,51 de pH, donde acorde a la INEN 1108 el valor para agua potable es de 6,5 a 8,0 pH (AGUA PARA CONSUMO HUMANO REQUISITOS 1. OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN, 2020.) . Por lo cual el punto Saya no cumple con el límite permitido, esto puede darse que es un pozo abandonado, por tal razón las personas del sector no usan esta fuente de agua.

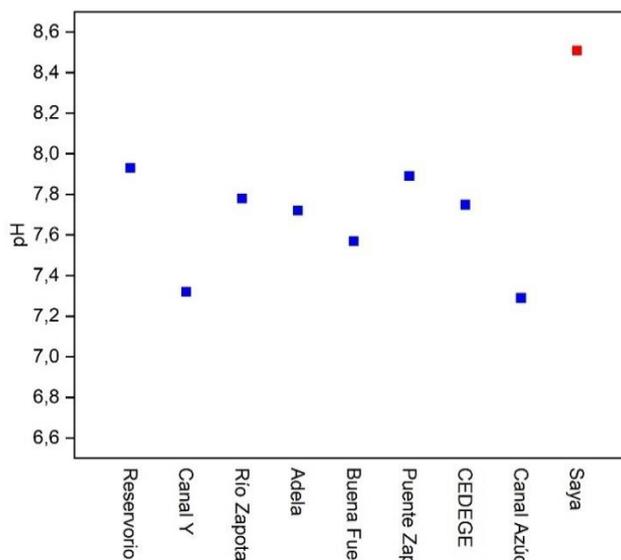


Figura 3.3. Monitoreo de pH en sitio de estudio [Espinoza & Franco,2022].

3.2 Análisis en laboratorio

3.2.1 Iones mayoritarios

Para investigar cuáles son los iones que contribuyen a la CE del agua del sector, se realizó el análisis de iones mayoritarios para determinar las concentraciones y de esta manera clasificar las fases hidro químicas de cada punto muestreado.

La Figura 3.4 representa el diagrama de Stiff de agua superficial (canales) muestreados en la cual se puede observar un comportamiento similar en ellos, es decir una proporción equivalente de los minerales encontrados en este tipo de cuerpo de agua. Poseen aproximadamente 3 mEq/L de bicarbonato y 1 mEq/L de calcio, las concentraciones de iones son bajas por lo cual se puede determinar que estas aguas son frescas. Por lo consiguiente, los canales muestreados son de tipo bicarbonatadas cálcicas.

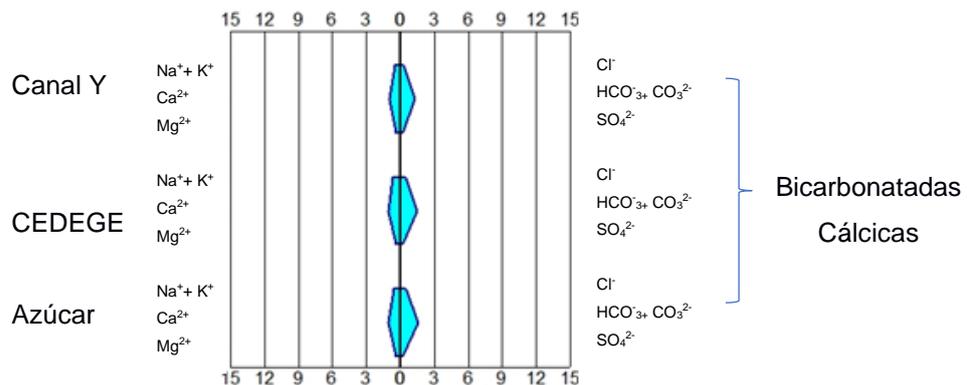


Figura 3.4. Diagrama de Stiff de agua superficial muestreada (canales) [Espinoza & Franco,2022].

La representación de Stiff de aguas subterráneas mostrada en la Figura 3.5 se realizó con una proporción de 5 veces con respecto a la del agua superficial para una mejor visualización e interpretación de los datos obtenidos. Por lo cual representa una mayor dimensión en el ancho del diagrama lo que corresponde a que estas aguas poseen una mayor cantidad o concentración de minerales. Para el Río Zapotal el diagrama nos muestra que presenta elevadas concentraciones de aniones de Cl⁻ (60 mEq/L aproximadamente), mientras que en similitud con el agua de Adela contiene una cantidad aproximada en concentración de cationes de Na⁺ y aniones de Cl⁻ y SO₄²⁻, por lo consiguiente son de tipo cloruradas, sulfatadas-sódicas. De igual forma Buena fuente presenta alta concentración Cl⁻, Na⁺ y SO₄²⁻, Mg²⁺ por lo que son de tipo cloruradas

sulfatada, sódicas y magnésica, mientras que Reservorio, Puente Zapotal y Saya son de tipo cloruradas sódicas, con ciertas variaciones de concentración de Cl⁻ y Na⁺.

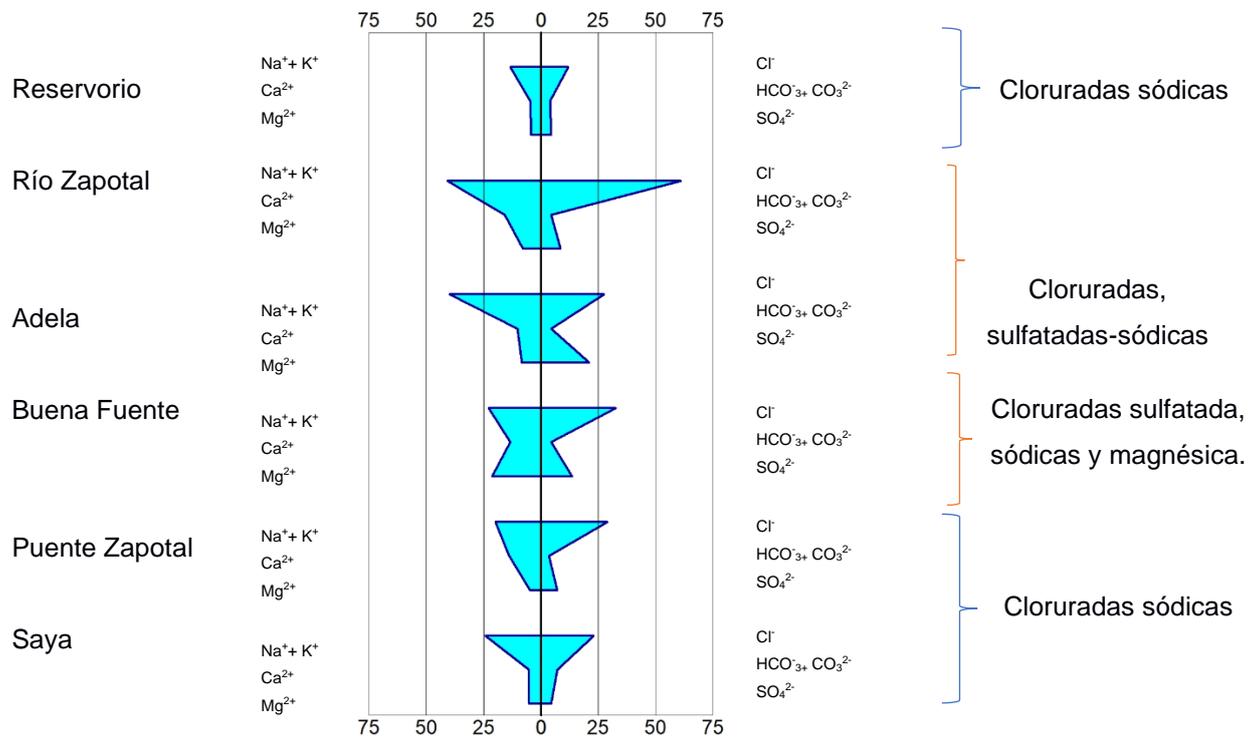


Figura 3.5. Diagrama de Stiff de puntos de agua muestreados [Espinoza & Franco,2022].

Acorde a la Figura 3.6 se puede observar la composición de las aguas muestreadas acorde a sus cationes y aniones mayoritarios, donde se puede interpretar que las aguas subterráneas estudiadas presentan bajas concentraciones de Ca²⁺, esto debido a la escasez de calizas en la zona. Sin embargo, un alto grado de Na⁺ y K⁺. Otra razón podría ser el intercambio iónico entre iones de Ca²⁺ y Na⁺ debido a la reacción agua-roca. En esta campaña el agua no muestra altas concentraciones de Mg²⁺, sin embargo, los ríos, aguas superficiales y subterráneas contienen alto contenido de Cl⁻.

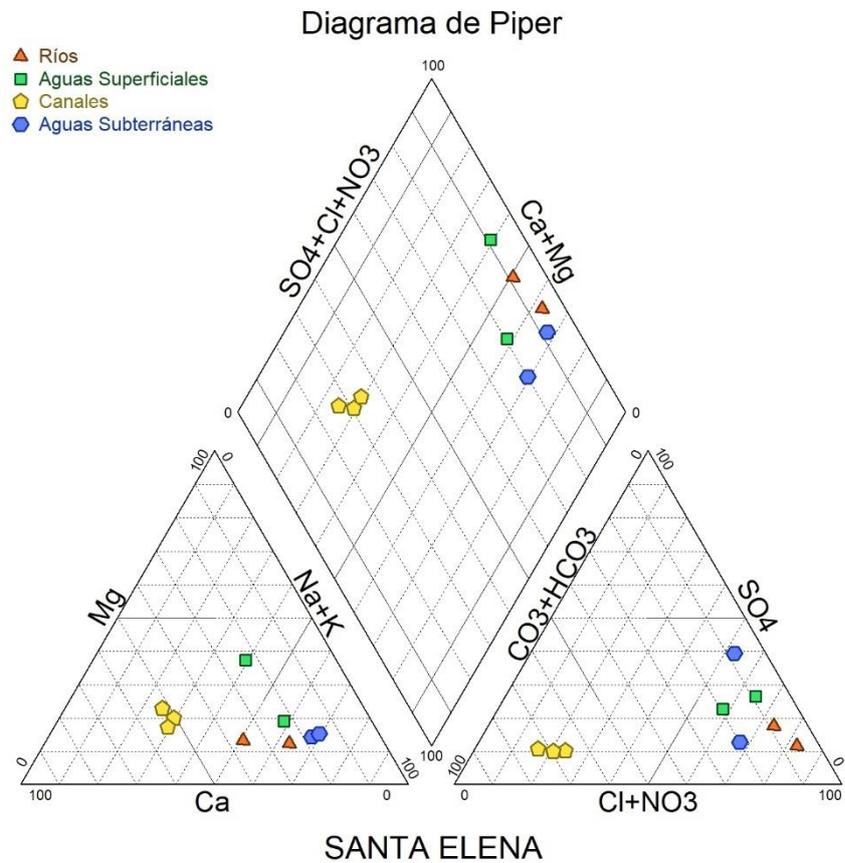


Figura 3.6. Diagrama de Piper de muestras de campaña septiembre 2022 [Espinoza & Franco,2022].

Mediante la Figura 3.7 se puede apreciar una aproximación de las características químicas de las aguas donde se observa su contenido de iones y se representa el tipo o fase hidro química de cada cuerpo de esta. De modo similar los ríos y aguas subterráneas poseen concentraciones de iones similares ya que se encuentran en constante interacción hidráulica ríos-acuíferos. En cambio, los canales analizados contienen un menor contenido de Cl^- debido a que poseen grandes partes impermeabilizadas con hormigón, por lo tanto, presentan menos influencia a la intrusión salina.

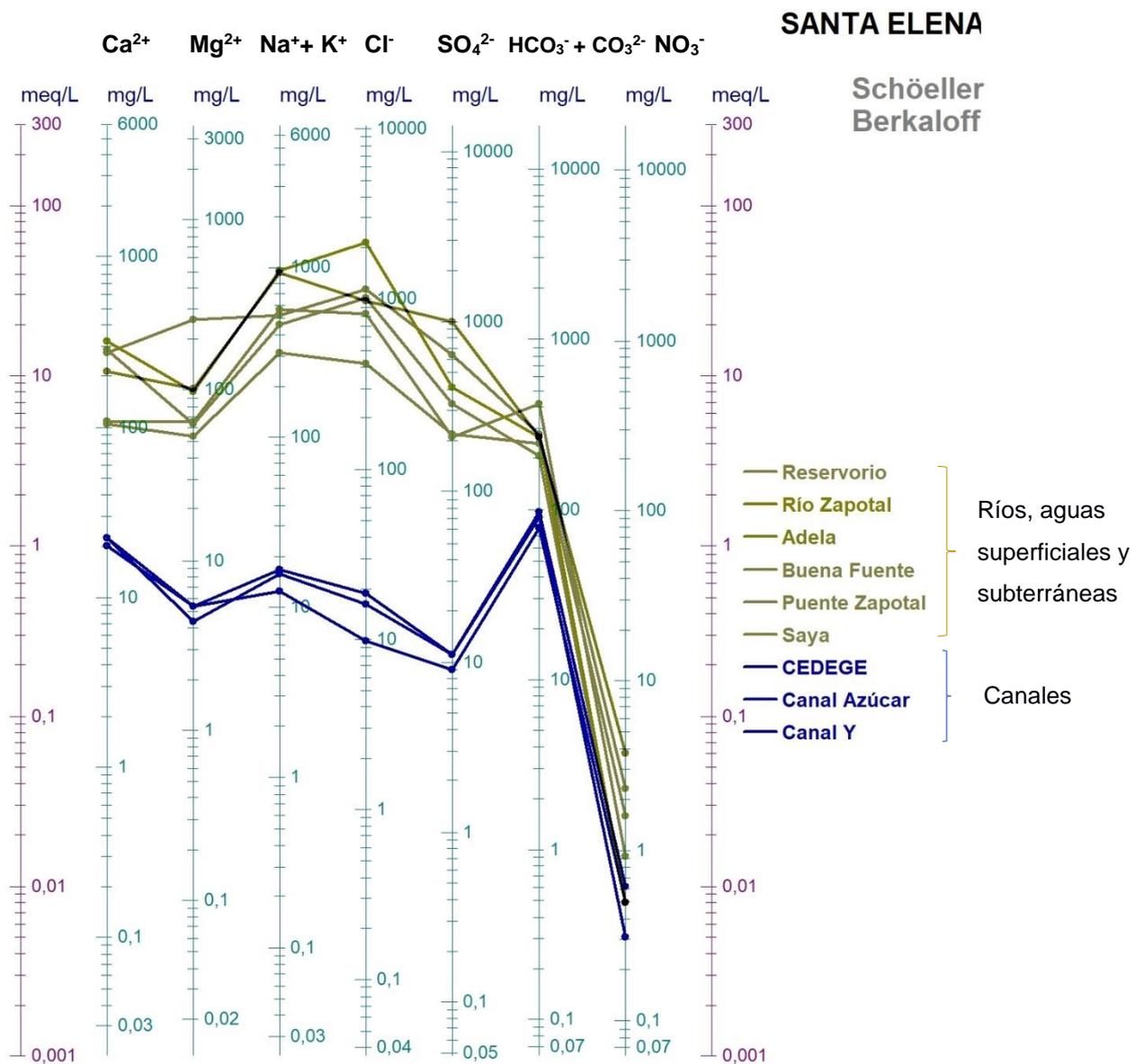


Figura 3.7. Diagrama de Schoeller Berkaloff [Espinoza & Franco,2022].

3.2.2 Error de balance iónico

En la Tabla 3.1 se resumen los porcentajes de errores del balance iónico calculados en las 9 muestras analizadas en el presente estudio. El rango de error varía entre 6.50 a 7%. Los errores negativos se deben a que la muestra presenta una mayor concentración de aniones que de cationes. Estos porcentajes de error aseguran la validez analítica de los análisis realizados debido a que son < 8%.

Tabla 3.1. Error de balance iónico de muestras [Espinoza & Franco,2022].

Lugares de muestreo	Error de balance iónico
RESERVORIO	6,40%
CANAL Y	4,70%
RÍO ZAPOTAL	-6,50%
ADELA	5,60%
BUENA FUENTE	7,00%
PUENTE ZAPOTAL	6,40%
CEDEJE	-0,50%
CANAL AZÚCAR	-4,00%
SAYA	1,30%

3.3 Diseño del sistema de tratamiento avanzado de agua, electrodiálisis

3.3.1 Proyección poblacional parroquia Chanduy

Es importante proyectar a la población del lugar de estudio, debido a que nos permite aproximar de acuerdo con la tendencia de crecimiento la población para los años de operación del sistema de tratamiento, esto junto con la dotación nos permite determinar el caudal de diseño que se necesita para abastecer las necesidades de los usuarios sin llegar al colapso o sobredimensionamiento. Es así como mediante los datos de los censos realizados por el INEC, en la Tabla 3.2 se conocen la población de la parroquia Chanduy durante los años 1990, 2001 y 2010. Con estos datos iniciales se realiza una proyección al presente año y además se debe proyectar para un periodo mínimo de diseño; 25 años.

Tabla 3.2. Datos censales de parroquia Chanduy [INEC, 2022].

	Años censados		
	1990	2001	2010
Habitantes Parroquia Chanduy	11 291	14 940	16 363

Para estimar la población futura o de diseño se emplearon proyecciones poblacionales por tres métodos: Aritmético, exponencial y geométrico.

3.3.1.1 Proyección poblacional por método aritmético

Los datos obtenidos para la población de diseño por esta metodología se observan en la Tabla 3.3. con una estimación de 18833 habitantes para el año 2022.

Tabla 3.3. Población futura de la parroquia Chanduy mediante el método aritmético [Espinoza & Franco, 2022].

Método Aritmético	
Años	Número de Habitantes
2022	18833
2023	19039
2028	20069
2033	21098
2038	22127
2043	23157
2048	24186

3.3.1.2 Proyección poblacional por método exponencial

La población futura estimada por este método se observa en la Tabla 3.4, en ella podemos ver que para el presente año se tiene una población de 20635 habitantes mientras que para el año 2048 se tendría 32765 habitantes en la parroquia.

Tabla 3.4. Población futura de la parroquia Chanduy mediante el método exponencial [Espinoza & Franco, 2022].

Método Exponencial	
Años	Número de Habitantes
2022	20635
2023	21006
2028	22959
2033	25094
2038	27427
2043	29978
2048	32765

3.3.1.3 Proyección poblacional por método geométrico

La población estimada mediante este método se muestra en la Tabla 3.5. Encontramos que para el año 2022 se tiene una población futura de 19458 habitantes mientras que para el año 2048 la parroquia presenta una población futura 28571 habitantes.

Tabla 3.5. Población futura de la parroquia Chanduy mediante el método geométrico [Espinoza & Franco, 2022].

Método Geométrico	
Años	Número de Habitantes
2022	19458
2023	19744
2028	21240
2033	22859
2038	24612
2043	26512
2048	28571

3.3.1.4 Análisis de métodos usado para la proyección de la población futura de la parroquia Chanduy

Las proyecciones de población futura para los 25 años de vida útil para el sistema de tratamiento avanzado se encuentran en la Tabla 3.6, se debe realizar un análisis de cada uno de los métodos empleados y determinar cuál es el que se ajusta de mejor manera a la proyección de los datos, estas tendencias las podemos encontrar en la Figura 3.8.

Tabla 3.6. Proyección poblacional de la parroquia Chanduy por los diferentes métodos al año 2048 [Espinoza & Franco, 2022].

Año	Método		
	Aritmético	Exponencial	Geométrico
2048	24186	32765	28571

Analizando los datos obtenidos en las proyecciones en base a los datos censales del INEC para la parroquia Chanduy, se debe determinar cuál de los métodos estadísticos empleados en la proyección poblacional se alinea mejor a la línea de tendencia de los datos proyectados.

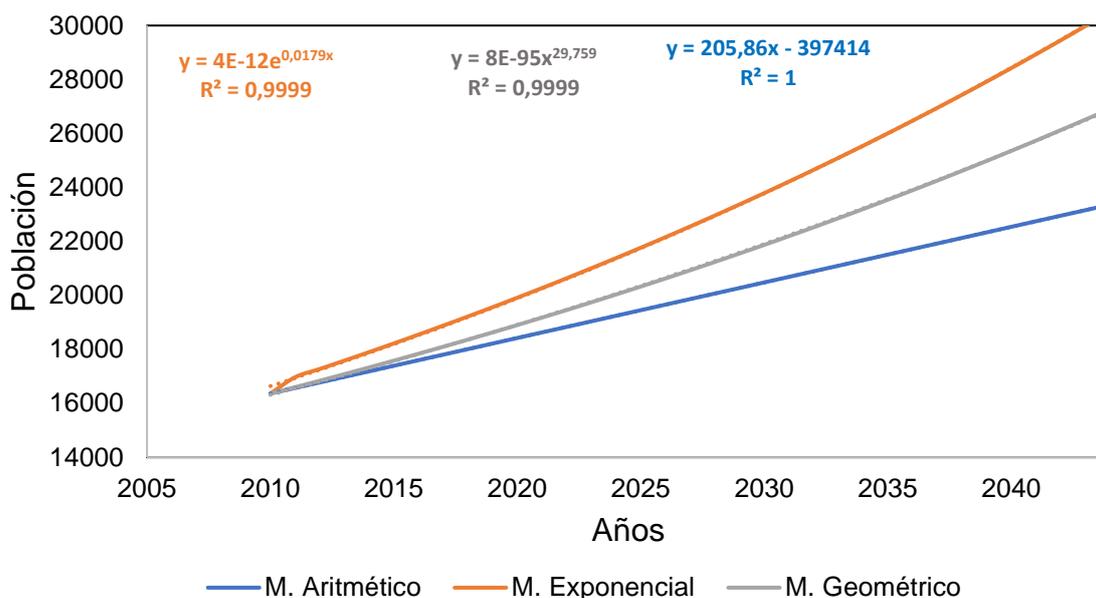


Figura 3.8. Comparación de métodos empleados en la proyección poblacional de la parroquia Chanduy al año 2048 [Espinoza & Franco, 2022].

Se conoce la población por los censos realizados en los años 1990, 2001 y 2010 para la parroquia Chanduy. La proyección de la población se hace primero al año en curso y luego hasta el año 2048 que es el periodo de vida útil proyectado mediante los métodos aritméticos, exponencial y geométrico; todo partiendo de los datos censales del INEC. Luego, mediante la comparación de índice de correlación y la recomendación del método estadístico recomendado según el tamaño de la población, se determina que el método aritmético es aquel que mejor se ajusta con una población de 24186 habitantes proyectados.

3.3.2 Dotación de parroquia Chanduy

En vista de que el presente proyecto no cuenta con suficientes datos que permitan determinar cuantitativamente los hábitos de consumo de los habitantes de la Parroquia Chanduy, se hace uso de las dotaciones establecidas en la Norma CPE INEN 5 que se muestran en la Tabla 3.7. la dotación media respectiva es de (200- 230) l/Hab/día, el cual corresponde a poblaciones de 5000 a 50000 habitantes y para un tipo de clima cálido. Finalmente, teniendo las consideraciones respectivas, se tiene 225 l/Hab/día como la dotación estimada para la parroquia.

Tabla 3.7 Dotaciones recomendadas [Norma CPE INEN 5].

POBLACIÓN (habitantes)	CLIMA	DOTACIÓN MEDIA FUTURA (l/hab/día)
Hasta 5000	Frío	120 – 150
	Templado	130 – 160
	Cálido	170 – 200
5000 a 50000	Frío	180 – 200
	Templado	190 – 220
	Cálido	200 – 230
Más de 50000	Frío	> 200
	Templado	> 220
	Cálido	> 230

3.3.3 Determinación de caudal de diseño

Se debe tener en cuenta la dotación seleccionada de 225 l/Hab/día como la inicial, con una tasa de crecimiento del 1% y mediante de la aplicación de la Norma INEN 1108 para agua potable, se estiman los caudales: medio, máximo diario y horario respectivamente, estos los podemos ver resumidos en la Tabla 3.8

Tabla 3.8. Resumen de los caudales medio, máximo diario y horario obtenidos [Espinoza & Franco, 2022]

Año	Población (hab)	Dotación (l/hab*día)	Q_{medio} (l/s)	Q_{max-diario} (l/s)	Q_{max-horario} (l/s)
2048	24186	288.55	80.77	113.08	169.62

3.3.4 Sistema avanzado de tratamiento de agua, electrodiálisis

El sistema de electrodiálisis se compacta en una pila o stack como se observa en la Figura 3.9. Los componentes principales del sistema avanzado de tratamiento de agua se muestran en el bosquejo siendo los componentes principales: potencióstato, bomba peristáltica, stack de electrodiálisis y agua a tratar.

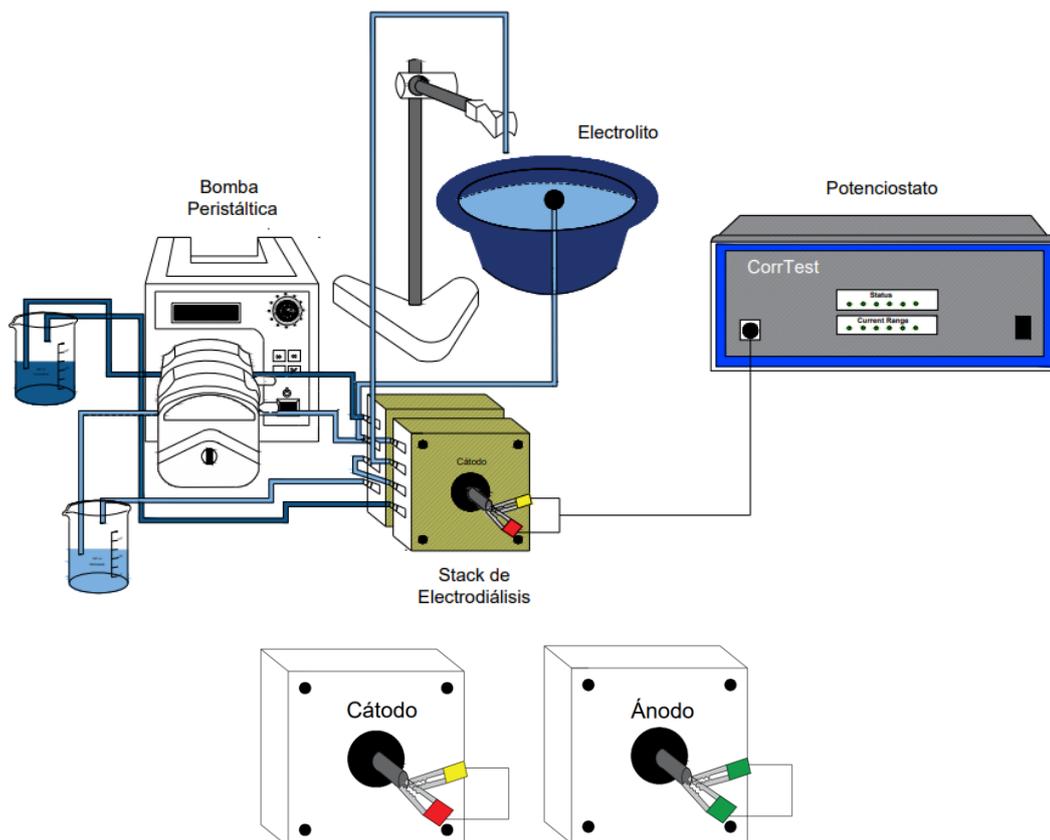


Figura 3.9. a) Bosquejo de funcionamiento de electrodiálisis. b) Conexión de pinzas de cocodrilos en ánodo y cátodo. [Espinoza & Franco, 2022]

Donde se deben tener las siguientes consideraciones:

- La bomba peristáltica controla el caudal con el que circula el agua dentro del stack.
- Las mangueras transportan el agua a tratar desde el contenedor hacia el stack de electrodiálisis, tienen un diámetro de #17.
- Los pernos permiten sellar el stack, con un $\varnothing = \frac{3}{8}$ "
- La configuración que se utilizó es de dos electrodos como se muestra en la figura 3.9 b.
- El working electrode (Verde) debe ir conectado al ánodo.
- En este estudio, el electrolito tiene una conductividad eléctrica de 1.5 mS/cm
- Para la circulación, la entrada de una manguera; su salida será de forma cruzada.

3.3.4.1 Composición interna del stack de electrodiálisis

La Figura 3.10 muestra la composición interna del stack de electrodiálisis en la cual consta de 6 pares de membrana (3 membranas catiónicas y 3 membranas aniónicas) de intercambio iónico con separadores entre ellas. Cada par de membranas inicia con una membrana de intercambio catiónica (CEM) seguida del respectivo separador y membrana de intercambio aniónica (AEM), es importante que al finalizar la configuración se termine con una membrana de intercambio catiónica. Las membranas mediante el intercambio iónico lo que hacen es producir dos sustancias, una diluida y otra concentrada de iones de NaCl. Por otro lado, cada electrodo (ánodo y cátodo) debe estar cubierto por una sustancia electrolítica de $1500 \mu\text{S}/\text{cm}$, esta va a actuar como conductor eléctrico.

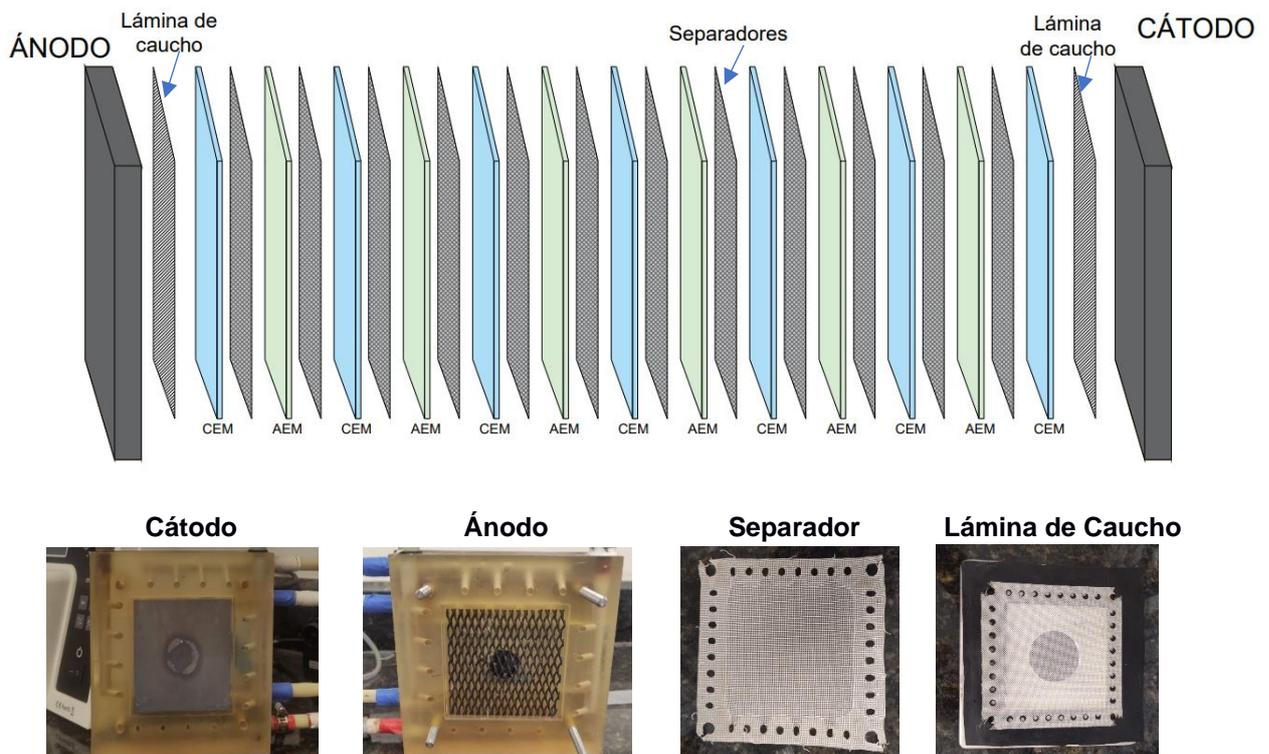


Figura 3.10 a) Bosquejo de la composición interna de stack de electrodiálisis. b) Parte interna del stack de electrodiálisis [Espinoza & Franco, 2022].

Donde se tiene la siguiente simbología para las membranas y separadores.



Las observaciones generales que se deben seguir para el armado interno del stack son:

- Los separadores se deben colocar de manera alterna, es decir, uno cerrado seguido de uno abierto.
- El material del ánodo es de rutilo-iridio, $A=64 \text{ cm}^2$.
- El material del cátodo es de acero inoxidable, $A=64 \text{ cm}^2$.

3.3.5 Experimentación a nivel de laboratorio con el sistema de electrodiálisis

Estos rangos de CE que presenta la zona de estudio son recomendables para ejecutar el sistema de tratamiento de electrodiálisis, debido a que acorde a (Patel et al., 2021) demostró con experimentación que para rangos de SDT entre 1000 a 3000 mg/l tiene menor consumo de energía en comparación con otros sistemas de desalinización. Así mismo, si se trata de desalinizar aguas con mayor 5000 mg/l de SDT la eficiencia energética se deteriora fuera de su rango óptimo.

Para la experimentación a nivel de laboratorio se utilizó el agua del punto conocido como “Adela” porque posee una CE de 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ representativo de la zona de estudio y una turbidez de 1.49 NTU que no permite el taponamiento de las membranas por lo cual este punto es adecuado para que sea tratado con electrodiálisis, además es un punto característico debido a que se utiliza para consumo y actividades domésticas. Los parámetros que se experimentaron fueron voltaje, caudal y volumen de agua tratada para determinar la cinética de desalinización del sistema, gradiente y consumo energético.

3.3.5.1 Variación de voltajes y determinación de volumen, caudal de agua a tratar

Para los primeros experimentos se desconocía el volumen de agua que el stack podía desalinizar por lo cual se comenzó con un volumen de partida de 100 ml y un Q constante de 10 ml/min donde el voltaje aplicado durante los experimentos fue de 10, 8, 6, 4, 2 V con el objetivo de determinar la cinética y el gradiente de desalinización. Para el funcionamiento del stack se utilizaron 6 membranas y el porcentaje de recuperación del sistema era 50 %.

La Figura 3.11 muestra la variación de CE en función del tiempo de electrodiálisis, el cual permitió desalinizar hasta el valor de 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$, dato recomendado por la OMS para el consumo de agua potable. Se observó que mediante la aplicación de 2 V no se logró alcanzar los límites estipulados (800 $\mu\text{S}/\text{cm}$), la tasa de desalinización fue de -4.34 $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{min}$ siendo la más baja del set de experimentos. Aunque este valor representaría menor consumo energético este no es factible por su falta de cumplimiento con los parámetros finales establecidos; 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Se obtuvieron las tasas de desalinización de 6, 8, 10 V con tasas de desalinización que variaron entre -38.173, -42.89 $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{min}$. Estos resultados son indicativos de que aumentar el voltaje, no existe una diferencia sustancial entre las tasas de desalinización. Esto significa que, a pesar de utilizar más energía en el sistema, no se incrementa la tasa de desalinización. Como consecuencia de estas condiciones se puede establecer que el voltaje óptimo es de 4 V con una tasa de desalinización de -27.240 $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{min}$, logrando desalinizar hasta 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en un tiempo de electrodiálisis de 90 min, con un menor consumo energético que será discutido en la siguiente sección.

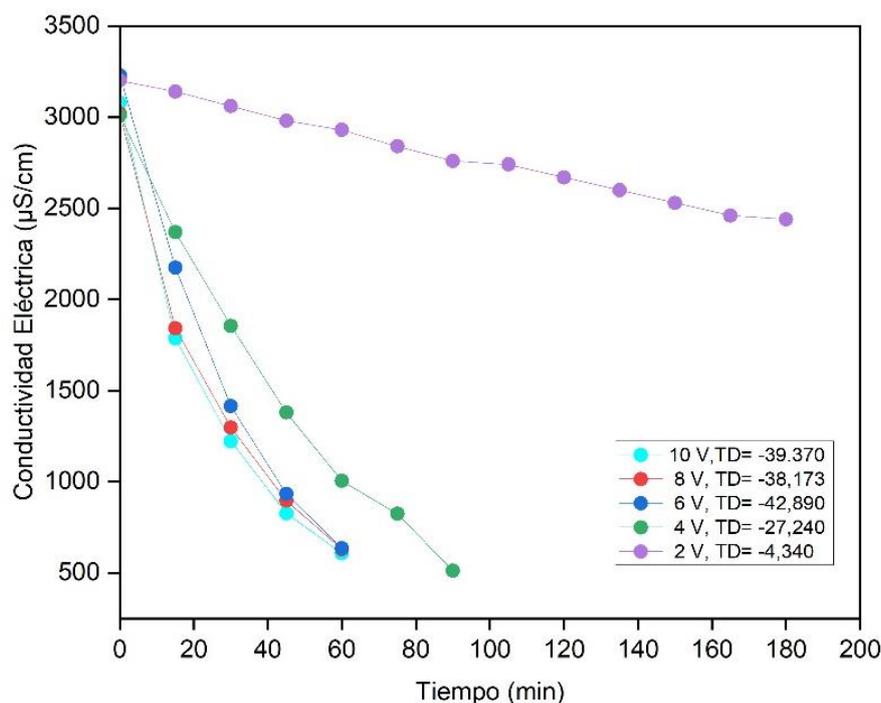


Figura 3.11. Tasa de desalinización variando voltajes y caudal-volumen constante [Espinoza & Franco,2022].

Se calculó la energía específica de cada experimentación variando su voltaje, por lo cual como se evidencia en la Tabla 3.8. La energía óptima es de 4 V con la cual se tiene 1.24 kWh/m³, con un precio de \$0,11 por m³ de agua tratada en Ecuador. Cuando se aplicó un voltaje de 10 V el tiempo de desalinización en comparación con los resultados de 4 V se redujo a 30 min. Sin embargo, el gasto energético fue mayor con un valor de 3.29. El consumo energético entre 6 y 8 V es similar debido a que tienen un valor de \$0.20 y \$0.23 para tratar 1 m³ de agua. El precio más bajo (\$0,02) con respecto a consumo energético se lo obtuvo con 2 V, sin embargo, no logró desalinizar hasta la CE necesaria; 800 µS/cm.

Tabla 3.8 Consumo energético para experimentación con variación de voltaje y volumen-caudal de agua constante [Espinoza & Franco,2022].

Voltaje (V)	Intensidad (A)	Permeado (m ³)	Power	tiempo (h)	Energía específica (kWh/m ³)	Costo
10	0,03	0,0001	0,33	1,00	3,29	0,30
8	0,03	0,0001	0,25	1,00	2,48	0,23
6	0,03	0,0001	0,20	1,00	2,01	0,19
4	0,02	0,0001	0,08	1,50	1,24	0,11
2	0,00	0,0001	0,01	3,00	0,22	0,02

Acorde a la Figura 3.12 la disminución de SDT se puede analizar que se obtiene el mismo comportamiento con los diferentes voltajes aplicados de 10, 8, 6, 4 y 2 V. Como se muestra, con 2 V no se logra desalinizar a 600 mg/l por lo que se requiere aumentar el voltaje. Los voltajes 10, 8 y 6 V mantienen una tendencia similar por lo que mayor voltaje tampoco asegura una mayor tasa de desalinización de SDT. Al igual que CE el voltaje óptimo para estas condiciones dadas es de 4 V la cual alcanza a desalinizar en los límites de SDT (600 mg/l) permitidos en 60 minutos.

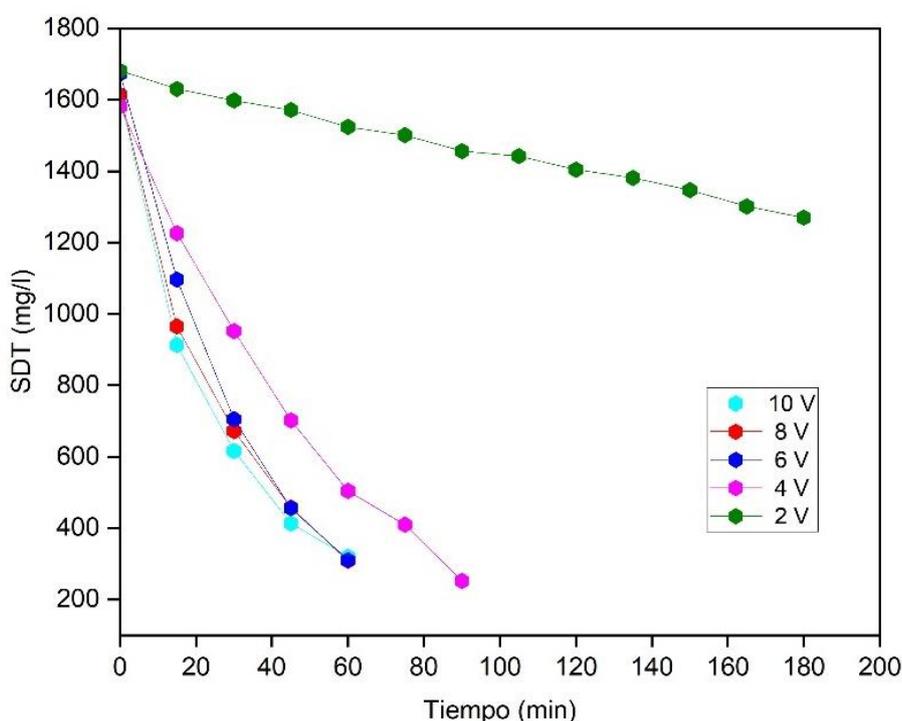


Figura 3.12. Tasa de disminución SDT con variaciones de voltajes y caudal-volumen constante [Espinoza & Franco,2022].

La Figura 3.13 muestra la tasa de desalinización variando el caudal a 50 ml/min, con el objetivo de observar la cinética y tasa de desalinización. Sin embargo, con este cambio de parámetro se notó que con el voltaje de 10 V la tasa de desalinización incrementó 4.57 veces, 8 V en 3.58 y 6 V en 2.23 mientras que para los voltajes bajos como 4, 2 V la tasa de desalinización aumento solamente en 1.1. Por lo cual, con el efecto de aumentar el caudal de 10 a 50 ml/min manteniendo el volumen de 100 ml a tratar en el sistema de electrodiálisis, el voltaje de 4 dejó de ser el óptimo debido a que los voltajes de 10, 8 y 6 lograron disminuir el tiempo de experimentación. Como el tiempo de desalinización se producía muy rápido el tiempo para la medición de parámetros se lo realizó cada 5 minutos.

Para estos experimentos con las condiciones dada el voltaje óptimo es de 6 debido a que logra desalinizar hasta los parámetros permisibles en 25 minutos reduciendo en 45 minutos el tiempo que tardo los 4 V en llegar al límite (800 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Como se muestra el voltaje de 2 no logra alcanzar nuevamente los parámetros establecidos en 120 minutos.

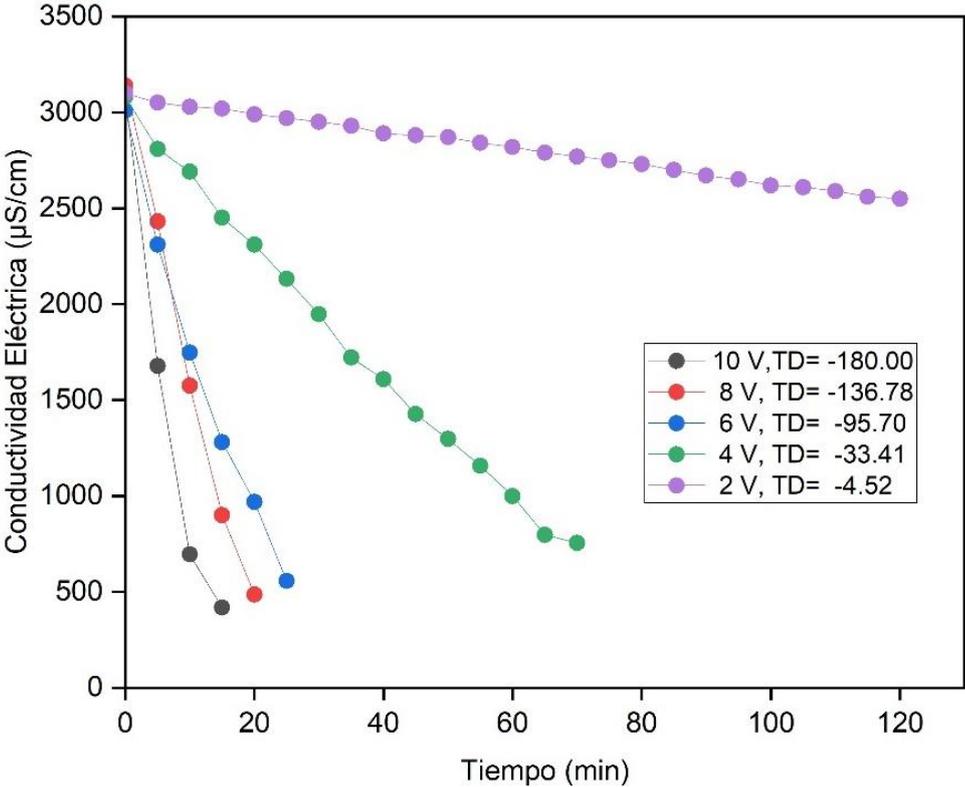


Figura 3.13. Tasa de desalinización con Q= 50 ml/min variando voltajes [Espinoza & Franco,2022].

La Figura 3.14 muestra la tasa de disminución de SDT con un caudal de 50 ml/min que circula por el stack en la cual el monitoreo se realizó en tiempos de 5 min, mediante el cual se obtuvo un comportamiento similar entre los voltajes 10, 8 y 6 logrando reducir los SDT en menos de 30 minutos optimizando el tiempo en contraste con 4 V la cual desaliniza hasta los límites permitidos, pero el tiempo de ejecución del experimento fue de 75 minutos es decir el doble.

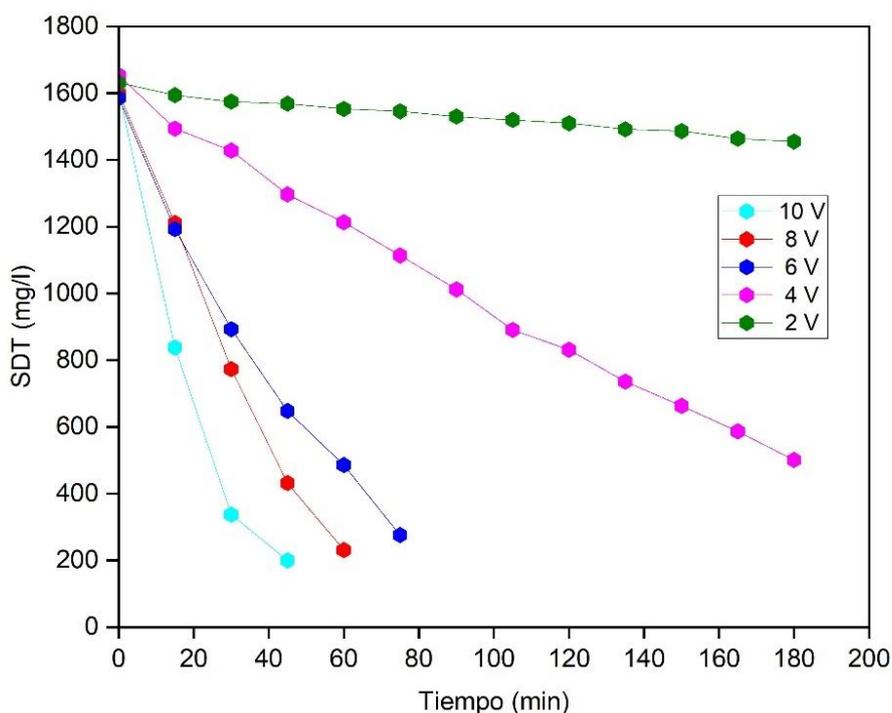


Figura 3.14. Tasa de disminución SDT con $Q= 50$ ml/min variando voltajes [Espinoza & Franco,2022].

La Tabla 3.9 muestra el consumo de energía específica con los parámetros establecidos en la cual se puede apreciar un mayor consumo $3,09$ kWh/m³ para el voltaje de 10 lo que representa un costo de \$0.28 para desalinizar 1 m³ de agua, mientras que para el voltaje de 2 V se tiene menor consumo, pero no logra desalinizar al parámetro establecido. En cuanto al voltaje óptimo para estas condiciones es de 6 V debido a que desaliniza en un tiempo de 25 minutos, su energía específica es de $1,61$ kWh/m³ con un costo en el Ecuador de \$0.15 para desalinizar 1 m³ de agua.

Tabla 3.9 Consumo energético para experimentación $Q=50$ ml/min con variación de voltaje y volumen-caudal de agua constante [Espinoza & Franco,2022].

Voltaje (V)	Intensidad (A)	Permeado (m ³)	Power	tiempo (h)	Energía específica (kWh/m ³)	Costo por consumo en Ecuador
10	0,1236	0,0001	1,23	0,25	3,09	0,28
8	0,0964	0,0001	0,77	0,33	2,54	0,23
6	0,0656	0,0001	0,39	0,41	1,61	0,15
4	0,0253	0,0001	0,10	1,16	1,17	0,11
2	0,0035	0,0001	0,007	2,00	0,14	0,01

Posteriormente, se modificó el caudal hasta 100 ml/min con el objetivo de acercarse un poco más a las condiciones del caudal requerido para el punto de estudio de Adela. La Figura 3.15 muestra la tasa de desalinización de 100 ml de agua a tratar con un caudal de 100 ml/min que pasa por el stack, la desalinización se produce en menor tiempo, sin embargo, estas tasas son muy grandes por lo que el volumen utilizado no es adecuado para el correcto funcionamiento del stack. Variando el caudal de 10 ml/min a 100 ml/min se notó que con el voltaje de 10 V la tasa de desalinización incremento 7.60 veces, 8 V en 4.72 y 6 V en 2.42 mientras que para el voltaje de 4 la tasa de desalinización aumento solamente en 1.43. Para la experimentación con estas condiciones no se utilizó 2 V debido a que en anteriores experimentos con ese voltaje no se llegaba a los parámetros límites establecidos. Con 100 ml a tratar y un Q de 100 ml/min el voltaje óptimo fue de 6 V debido a que logra desalinizar el agua en un tiempo acorde 25 minutos, sin utilizar mayor energía, su tasa de desalinización fue de $-103.9 \mu\text{S/cm/min}$, que nos indica que el volumen de agua que se trata es menor para lo que el stack de electrodiálisis funciona. A pesar de que se aplique mayor voltaje (10 V) este no representa una variación considerable en tasa de desalinización ($-299.40 \mu\text{S/cm/min}$) en comparación con 8 V que su TD es de $-180.42 \mu\text{S/cm/min}$.

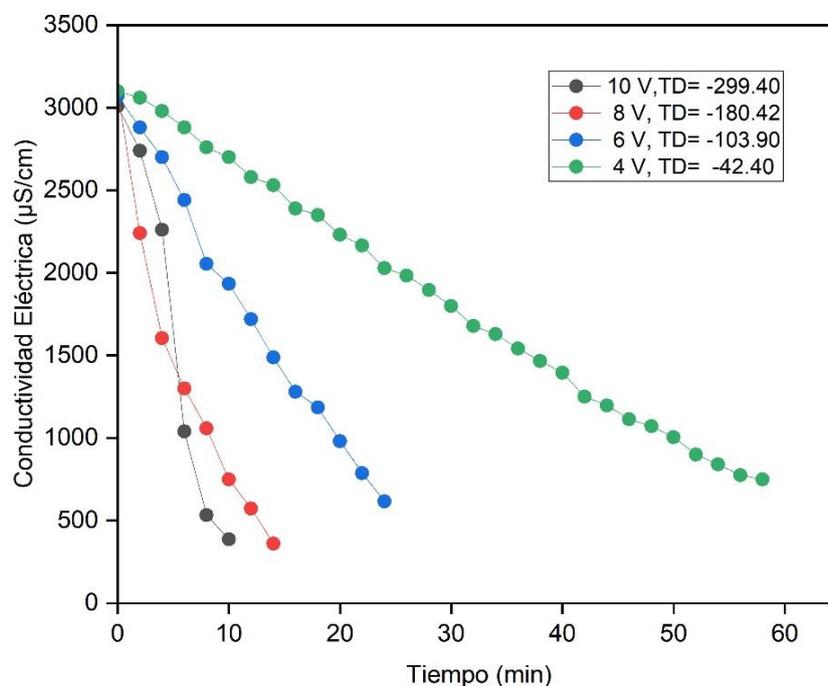


Figura 3.15. Tasa de desalinización con Q= 100 ml/min variando voltajes [Espinoza & Franco,2022].

La Figura 3.16 muestra la tasa de disminución de SDT en la cual se evidencia que los voltajes de 10 y 8 V alcanzan a disminuir los SDT en un tiempo de 15 minutos, sin embargo, al usar un mayor voltaje también se utilizaría una mayor cantidad de energía lo que representaría un gasto económico. Por lo cual para este experimento con Q de 100 ml/min y volumen de 100 ml el voltaje óptimo es de 6 V debido a que con 10 minutos más de experimentación se logra alcanzar los límites permitidos por la OMS con una disminución de energía.

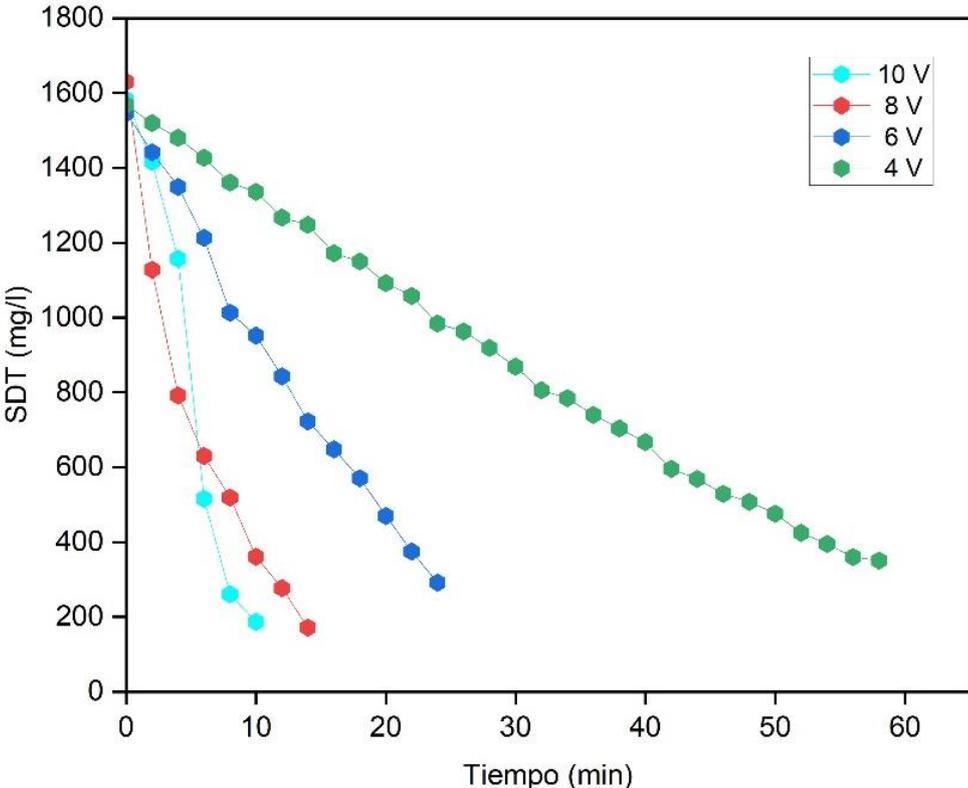


Figura 3.16. Tasa de disminución SDT con Q= 100 ml/min variando voltajes [Espinoza & Franco,2022].

La Tabla 3.10 muestra el consumo de energía específica y el precio para desalinización de 1 m³ de agua mediante la tecnología de electrodiálisis con los parámetros establecidos de Q 100 ml/min y volumen de 100 ml. Donde el mayor voltaje (10 V) consume 2.57 kWh/m³ que representa un costo de \$0.24. En comparación con el experimento anterior disminuyó el consumo de energía debido al tiempo de experimentación. El voltaje de 8 su energía específica es de 2.14 kWh/m³ con un costo

de \$0.20. El menor valor de consumo energético es de 4 V con 1.79 kWh/m³ sin embargo el tiempo de experimentación es el doble de los voltajes de 10 y 8 V.

Para este experimento el voltaje óptimo es de 6 V debido a que su consumo energético es de 1.79 kWh/m³ lo que representa un costo operativo de \$0.16 por desalinizar 1 m³ de agua.

Tabla 3.10. Consumo energético para experimentación Q=100 ml/min con variación de voltaje y volumen-caudal de agua constante [Espinoza & Franco,2022].

Voltaje (V)	Intensidad (A)	Permeado (m ³)	Power	Tiempo (h)	Energía específica (kWh/m ³)	Costo por consumo en Ecuador
10	0,16	0,0001	1,60	0,16	2,57	0,24
8	0,12	0,0001	0,93	0,23	2,14	0,20
6	0,07	0,0001	0,45	0,40	1,79	0,16
4	0,03	0,0001	0,12	0,96	1,12	0,10

3.3.6 Variación de voltajes y recuperación para un volumen de agua tratada de 500 ml

Para los siguientes experimentos se aumentó el volumen de agua a tratar a 500 ml para observar el comportamiento de la tasa de desalinización con los diferentes voltajes aplicados y con un caudal de 100 ml/min, con una recuperación del 50%. Todos los experimentos fueron ajustados al potencióstato con una duración de 3 horas, sin embargo, el tiempo de experimentación se detenía cuando estos lograban alcanzar los parámetros establecidos en CE y SDT.

La Figura 3.17 muestra la TD con la variación de voltaje de 8, 6 y 4 V donde presenta gradientes razonables con respecto al volumen de agua que se trata por lo cual es el adecuado para experimentar en el stack de electrodiálisis. La TD de 8 y 6 V no presenta tanta variación por lo que, aunque al sistema se le ingrese mayor voltaje no garantiza una mayor tasa de desalinización. Sin embargo, entre 6 y 4 V la proporción entre su TD es 1.9 y con respecto al tiempo 6 V disminuye la mitad de tiempo para alcanzar límites permitidos, es decir con 8 y 6 V se desaliniza en 80 minutos 500 ml de agua, en contraste con 4 V que lo hace en 160 minutos.

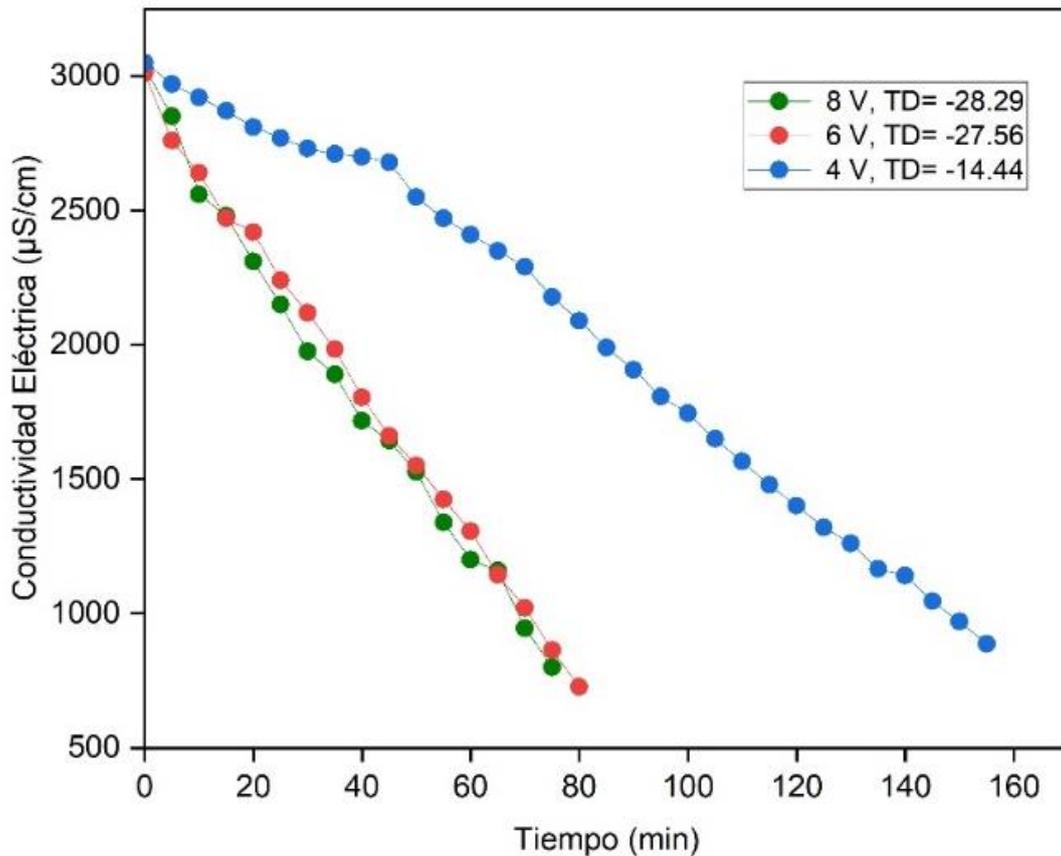


Figura 3.17. Tasa de desalinización con $Q= 100$ ml/min, $V= 500$ ml variando voltajes [Espinoza & Franco,2022].

Debido a que los SDT son directamente proporcional a la conductividad eléctrica esta presenta el mismo comportamiento en la tasa de disminución de SDT como se muestra en la Figura 3.18. Acorde a los límites permitidos en SDT (600 mg/l) se alcanza en un tiempo de 60 minutos para los voltajes de 8 y 6 mientras que con la aplicación de 4 V los alcanzo en 135 minutos. Acorde a estos parámetros utilizados Q 100 ml/min y 500 ml de volumen, el voltaje óptimo por disminución del tiempo es de 6 V, debido a que se comporta de igual forma que 8 V y disminuye en la mitad el tiempo de ejecución de 4 V.

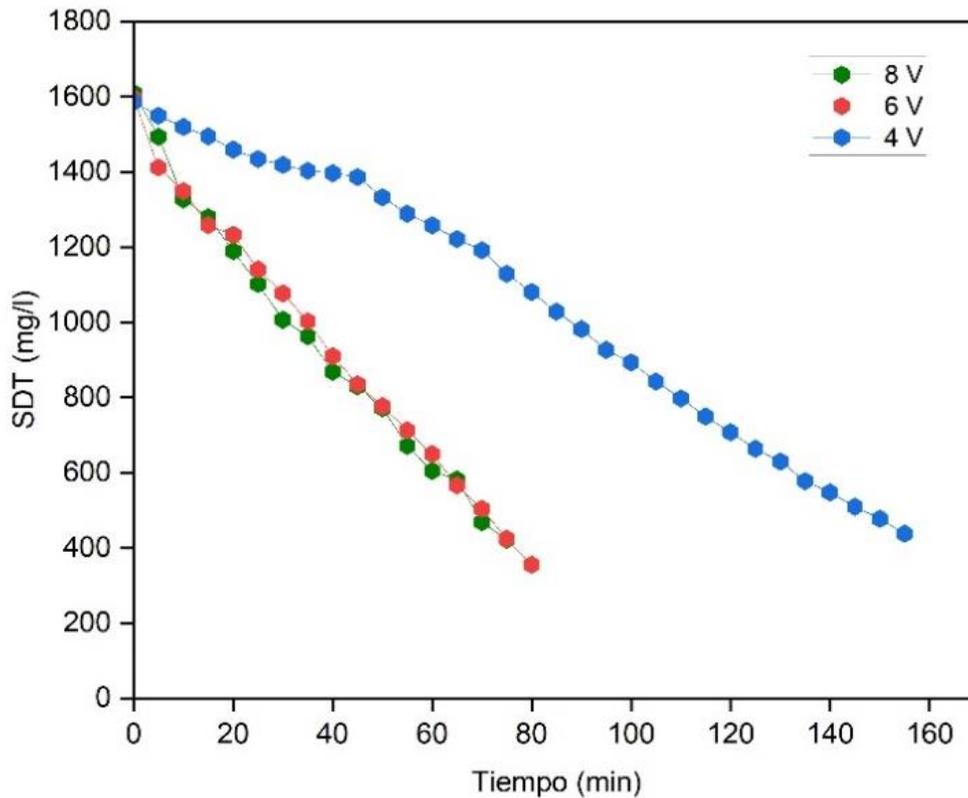


Figura 3.18. Tasa de disminución SDT con Q= 100 ml/min, V=500 ml variando voltajes [Espinoza & Franco,2022].

Para la experimentación, en el potencióstato se aplicó un tiempo de desalinización de 3 horas, sin embargo, se detuvo cuando estos alcanzaban los límites permitidos de CE y SDT, por lo cual para calcular la energía específica (kWh/m^3) se utilizó un tiempo de electrodiálisis de 80 min puesto que fue el tiempo en el cual se alcanzó una CE de $800 \mu\text{S/cm}$. La Figura 3.19 muestra la CE alcanzada en los 80 minutos de experimentación en la cual se evidencia que 8 y 6 V logran alcanzar los límites permitidos mientras que 4 V bajo de $3000 \mu\text{S/cm}$ a $2000 \mu\text{S/cm}$ en el tiempo de ejecución, es decir no logro el objetivo de desalinización. Por lo que para realizar las recuperaciones se utilizó voltajes de 8 y 6 V.

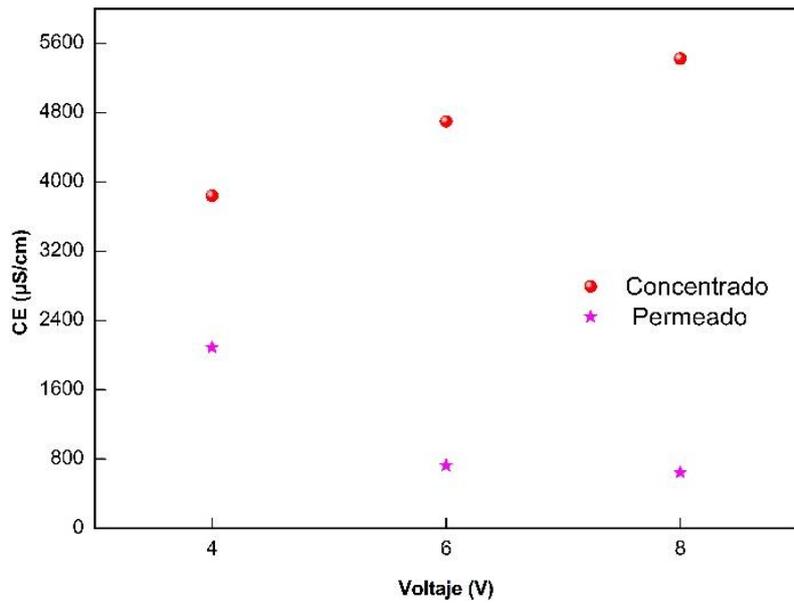


Figura 3.19. CE alcanzada para los distintos voltajes en 80 minutos de experimentación [Espinoza & Franco,2022].

La Figura 3.20 muestra las intensidades de corrientes aplicadas para los voltajes de 8, 6 y 4 V los cuales tienen una intensidad de corriente de 0.075 A, 0.058 A y 0.029 A siendo una relación directa; entre mayor voltaje mayor intensidad de corriente por lo cual el tiempo de desalinización dependerá de la intensidad de corriente aplicado al sistema.

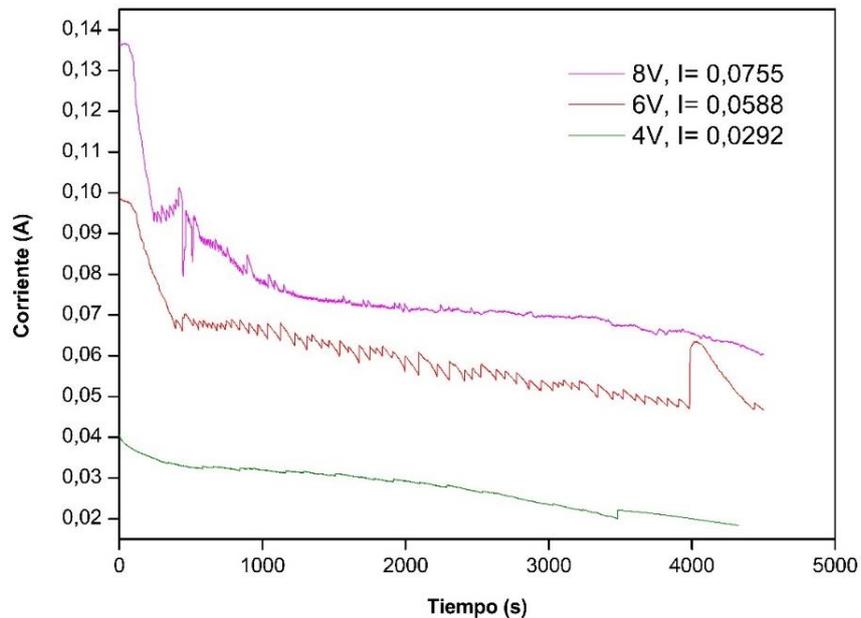


Figura 3.20. Corriente aplicada para los distintos voltajes en 80 minutos de experimentación [Espinoza & Franco,2022].

La Tabla 3.11 muestra el precio por consumo energético para desalinizar un m³ de agua aplicando los diferentes voltajes. En la cual se muestra que con un voltaje de 8 V el precio es de \$0.14 , para un voltaje de 6 V su costo es \$0.08 y con 4 V es de \$0.03, sin embargo, en un tiempo de 80 minutos de ejecución este no cumple los parámetros límites establecidos de CE y SDT.

Tabla 3.11 Consumo energético [Espinoza & Franco,2022].

Voltaje (V)	Energía específica (kWh/m ³)	Costo por consumo en Ecuador
8	1,61	\$0,14
6	0,94	\$0,08
4	0,31	\$0,03

3.3.6.1 Porcentaje de recuperación

Mediante los anteriores experimentos se pudo definir el caudal óptimo que pasa por el stack de electrodiálisis, el cual fue de 100 ml/min, el volumen de 500 ml a variar para las distintas recuperaciones del 60%, 70% y 80% y los voltajes que se probaron fueron de 8 y 6 V, con el objetivo de proponer un sistema económico y sustentable con un porcentaje de recuperación adecuado con el menor consumo energético en tratamiento de desalinización.

La Figura 3.21 muestra la tasa de desalinización aplicando diversas recuperaciones tanto de 50, 60, 70 y 80 % con 6 V. En la cual la mayor tasa de desalinización se dio en la recuperación del 50%, esto pudo darse por la intensidad de corriente con la que trabajo el stack durante la experimentación. Sin embargo, recuperando un mayor porcentaje (80 %) de los 500 ml de agua tratada se obtuvo una tasa de desalinización de -26.36 μS/cm/min en un tiempo de ejecución de 85 minutos. Con el 70% de recuperación la TD fue la menor con -21.04, seguida del 60% de recuperación con -23.56 μS/cm/min de TD. Por lo que para estas condiciones de 500 ml y Q 100 ml/min el porcentaje de recuperación óptimo fue de 80% logrando desalinizar una mayor cantidad de agua (800 ml permeado) y generando menor contenido en el concentrado (200 ml).

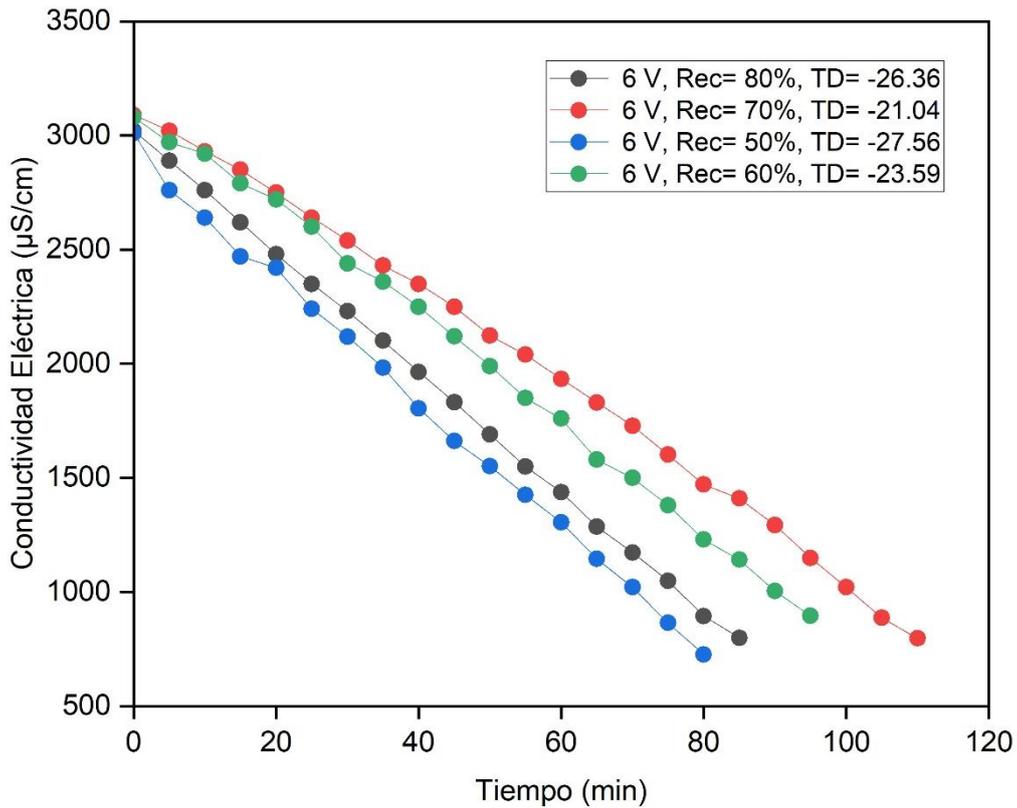


Figura 3.21. Tasa de desalinización variando el porcentaje de recuperación de 1000 ml [Espinoza & Franco,2022].

Mediante la Figura 3.22 muestra la intensidad de corriente para las diversas tasas de recuperación con 6 V. Donde se puede apreciar que el porcentaje de recuperación está directamente relacionado con la corriente, es decir mayor tasa de recuperación mayor intensidad de corriente. La intensidad del 80% de recuperación fue de 0.082 A por lo que se pudo desalinizar una mayor cantidad de agua a diferencia del 70% que a pesar de tener una mayor intensidad de corriente de 0.072 A tardó 115 minutos en alcanzar los límites permitidos de SDT y CE. Similarmente, el 60% de recuperación tuvo una corriente de 0.064 A, sin embargo, desalinizó en menor tiempo la cantidad de agua tratada que el 70%, pero se debe a su contenido de volumen. La corriente aplicada con recuperaciones del 80, 70 y 60% se mantienen estables en el tiempo mientras que el de 50% a partir de 4000 se presentó un pico, que podría representar una perturbación en el sistema.

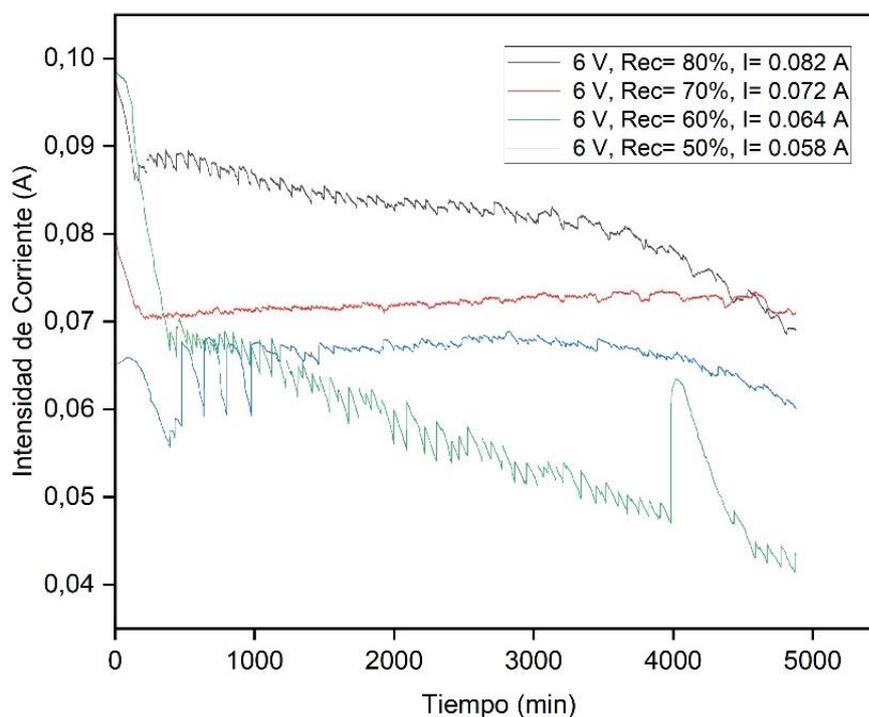


Figura 3.22. Intensidad de corriente vs tiempo para las distintas recuperaciones con 6 V [Espinoza & Franco,2022].

En la Tabla 3.12 se puede observar el consumo energético para desalinizar el agua acorde a la recuperación aplicada con el volumen de 500 ml a tratar. En la cual el menor consumo de energía se produce en la recuperación del 80 % con 0.86 kWh/m³ y un coste en el Ecuador por m³ de agua de \$0.08, por lo consiguiente con el 70% de recuperación el consumo de energía es de 1.12 kWh/m³ por lo que su valor es de \$0.10 y 60% su consumo es de 1.02 kWh/m³ con un valor de \$0.09 por m³. Por lo cual el porcentaje óptimo es del 80% debido a que desaliniza un mayor volumen de agua y el coste energético es el menor con \$0.08 por m³.

Tabla 3.12 Consumo energético de las distintas recuperaciones con 6 V [Espinoza & Franco,2022].

Recuperación (%)	Intensidad (A)	Permeado (m ³)	Power	Energía específica (kWh/m ³)	Costo por consumo
80	0,0815	0,0008	0,489	0,866	\$0,079
70	0,0718	0,0007	0,430	1,128	\$0,103
60	0,0644	0,0006	0,386	1,020	\$0,093

3.3.7 Nutrientes obtenidos con caudal y voltaje constantes variando el porcentaje de recuperación

La medición de nutrientes se realizó mediante el análisis volumétrico y de espectrofotometría de luz visible al efluente del concentrado, obtenido de las experimentaciones a 6 V y con caudal de 100 mL/min, variando el porcentaje de recuperación, con la finalidad de determinar la cantidad de nutrientes de Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} generados mediante la tecnología de electrodiálisis.

La Figura 3.23 muestra la concentración de nutrientes de Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , NO_3^- medidos en el efluente del concentrado. Se observa que la concentración de los nutrientes se incrementa a medida que se incrementa el porcentaje de recuperación. Esto se debe a que cuando se aumenta el porcentaje de recuperación, el volumen del agua del concentrado es menor en comparación con el agua a tratar.

Con respecto a los NO_3^- el agua a tratar contenía 5.3 mg/L y después del proceso de electrodiálisis disminuyó a 3.6 mg/L. Esta concentración es menor al límite máximo permisible, establecido por la OMS de 50 mg/L en agua para el consumo humano. La concentración de Mg^{2+} en el concentrado aumentó de 102.1 hasta 184.7 mg/L. La concentración de Ca^{2+} aumentó de 220 a 336 mg/L y se determinó que la concentración de SO_4^{2-} se incrementó de 1060 a 1700 mg/L en el concentrado. Estos son resultados positivos debido a que los nutrientes podrían tener un valor comercial representando una oportunidad económica para la población del área de estudio.

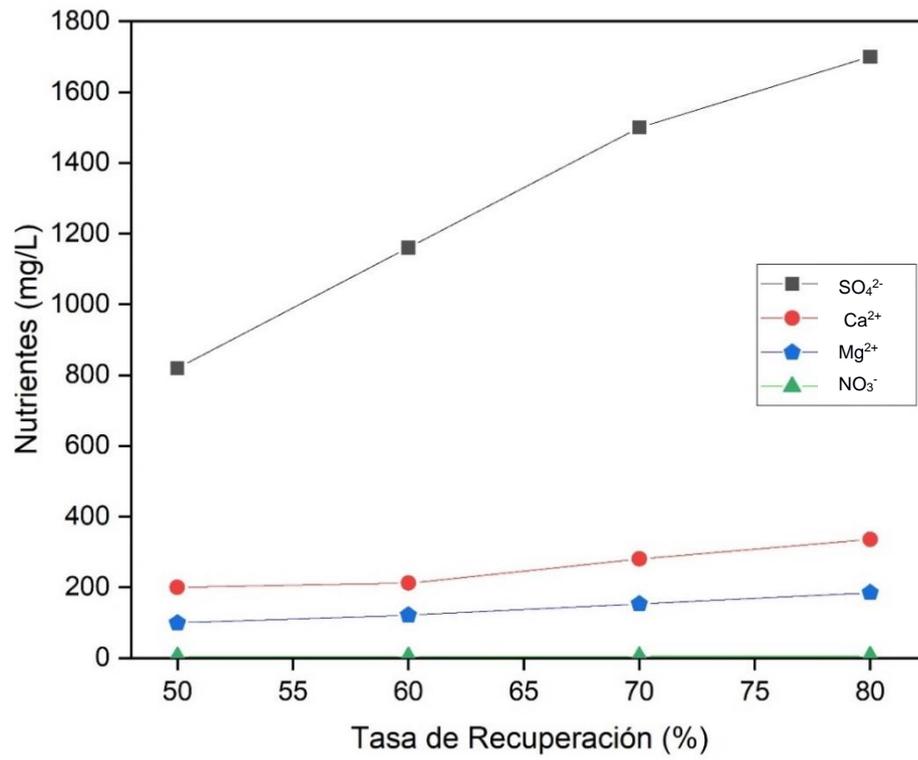


Figura 3.23. Nutrientes analizados en el concentrado, variando la tasa de recuperación [Espinoza & Franco,2022].

CAPÍTULO 4

4. ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL

4.1 Objetivos

Realizar un estudio de impacto ambiental en el área del proyecto “Diseño de un sistema de tratamiento avanzado para fines de desalinización”, en la parroquia Chanduy de la provincia de Santa Elena, mediante la valoración del impacto ambiental generado por las diversas alternativas de tecnología de desalinización para sugerir medidas de prevención que reduzcan la afectación ambiental del sector.

4.1.1 Objetivos específicos

- Realizar una evaluación de impacto ambiental del proyecto para evaluar de manera objetiva las afectaciones que se producen en el medio ambiente.
- Identificar los impactos ambientales positivos y negativos generados por la tecnología avanzada de desalinización electrodiálisis.
- Definir medidas de prevención que reduzcan los daños ambientales generados por los procesos de la tecnología electrodiálisis.

4.2 Descripción del proyecto

La zona de estudio se ubica en la parroquia de Chanduy, provincia de Santa Elena, donde la mayor parte de la población no tiene acceso a agua potable por la red de distribución, por lo que su abastecimiento se da mediante, la compra de agua a tanqueros y el bombeo de pozos profundos, sin embargo, estas poseen un alto contenido de salinidad, lo que puede generar enfermedades en el sector, debido a que utilizan el agua para sus actividades tanto de ganadería y agricultura.

El Gobierno Nacional declaró en emergencia el sector debido al déficit de distribución de agua potable mediante la Resolución No. SGR-018-2014. No obstante, la comunidad posee 2 pozos comunitarios que sirven de abastecimiento, como resultado del muestreo de uno de ellos ‘Adela’ se obtuvo los siguientes análisis presentados en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Parámetros fisicoquímicos del sector Adela in situ [Espinoza & Franco,2022].

Características Fisicoquímicas	
pH	7.12
Turbiedad	0.50 NTU
Sólidos Disueltos Totales	1743 mg/L
Conductividad Eléctrica	3540 μ S/ cm

Como se evidencia, el sector presenta agua salobre, por lo que es necesario implementar tratamientos avanzados de desalinización que permitan el uso de esta fuente sin que genere problemas de salud o afectaciones en la población.

El proyecto tiene como objetivo seleccionar un método de tratamiento avanzado de desalinización que permita el desarrollo sostenible y sustentable de la comunidad. Por lo cual, un tratamiento avanzado óptimo es la electrodiálisis, que utiliza membranas separadoras que permiten realizar el intercambio iónico mediante la aplicación de un voltaje externo en las pilas. Estos voltajes son bajos por lo que el costo energético de este sistema es menor comparado con otros tratamientos como ósmosis inversa. Sin embargo, es necesario analizar desde el punto de vista ambiental el resultado del tratamiento de electrodiálisis, debido que durante su proceso se genera un canal concentrado, es decir exceso de salinidad.

4.3 Línea base ambiental

La línea base ambiental permite conocer la situación actual del área, para ellos se considera información recopilada y publicada por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica como del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia Chanduy.

4.3.1 Clima

En la sección 1.2.3 se detalla la climatología de la parroquia Chanduy según una interpolación del clima de la provincia de Santa Elena. Destacan los índices áridos y seco con deficiencia hídricas. En la Figura 4.1 se puede observar que en la provincia de Santa Elena la temperatura varía entre 21°C y 26°C, siendo agosto el mes que presenta los valores más altos de temperatura, mientras que los meses más frescos son febrero y abril presentando los valores mínimos de temperatura.

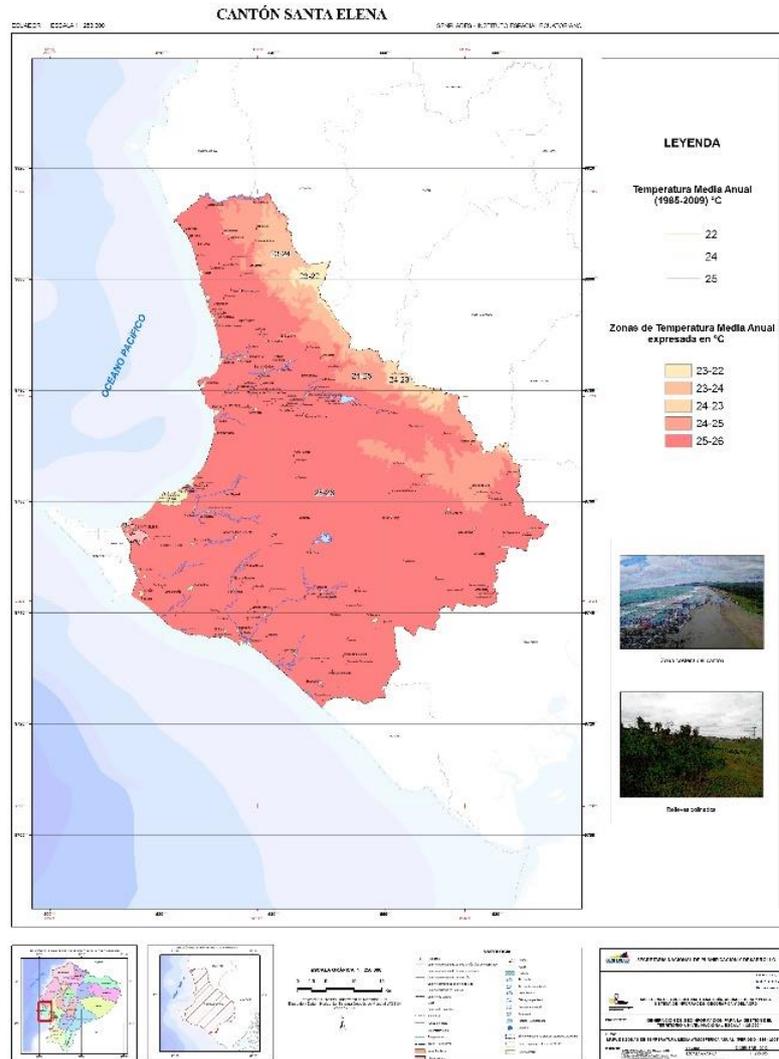


Figura 4.1. Clima de la provincia de Santa Elena [Plan de desarrollo territorial, 2020].

4.3.2 Precipitaciones

La provincia de Santa Elena según la información climática recolectada a través de estaciones meteorológicas posee precipitaciones que van de los 200 mm a 900 mm anuales. La parroquia Chanduy posee precipitaciones medias anuales de 300 mm a 500 mm anuales tal como lo podemos observar en la Figura 4.2.

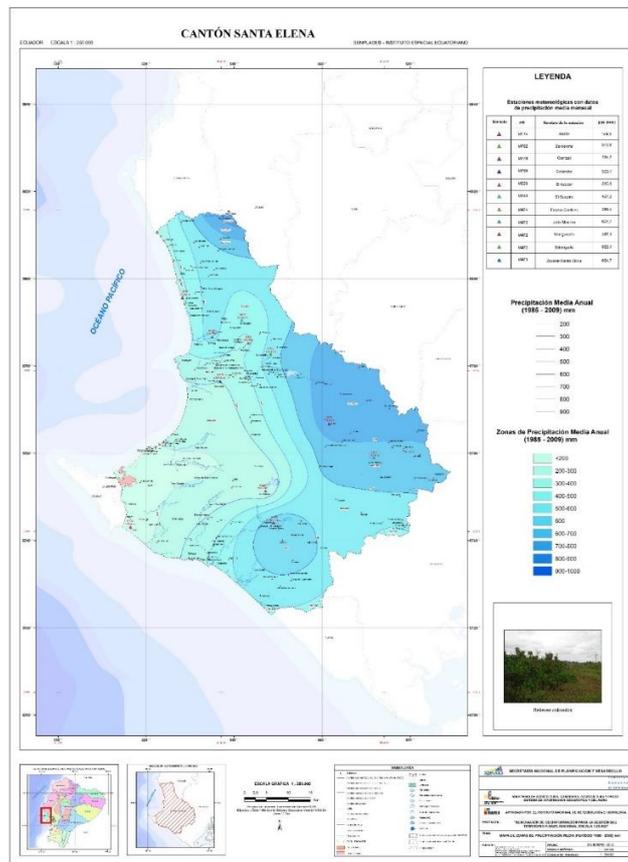


Figura 4.2. Mapa de precipitaciones de Santa Elena. [Instituto Espacial Ecuatoriano]

4.3.3 Hidrología, hidrografía e hidrogeología

Según la última actualización del plan de Desarrollo y Ordenamiento territorial del GAD parroquial de Chanduy, se cuentan con un total de 42 ríos y 12 esteros, similarmente se poseen fuentes de agua subterránea. Los ríos son clasificados en perennes e intermitentes según el tipo de caudal que presente a lo largo de su ciclo hidrológico, siendo perenne cuando posee un flujo permanente e intermitente cuando este cesa dependiendo de la presencia de precipitaciones. En la Figura 4.3 se observa la red hidrográfica de la parroquia donde destacan los principales ríos como: Río Azúcar, Río Tugaduaña, Río Zapotal, Río Verde, entre otros. Se ha identificado que existe de ambos tipos en igual proporción, además de que existen ríos que poseen tramos perennes e intermitentes los cuales van variando, dependiendo de factores subsuperficiales y de longitud. Los ríos al poseer zonas intermitentes con fuertes lluvias pueden llegar a crecer provocando afectaciones a los pobladores.

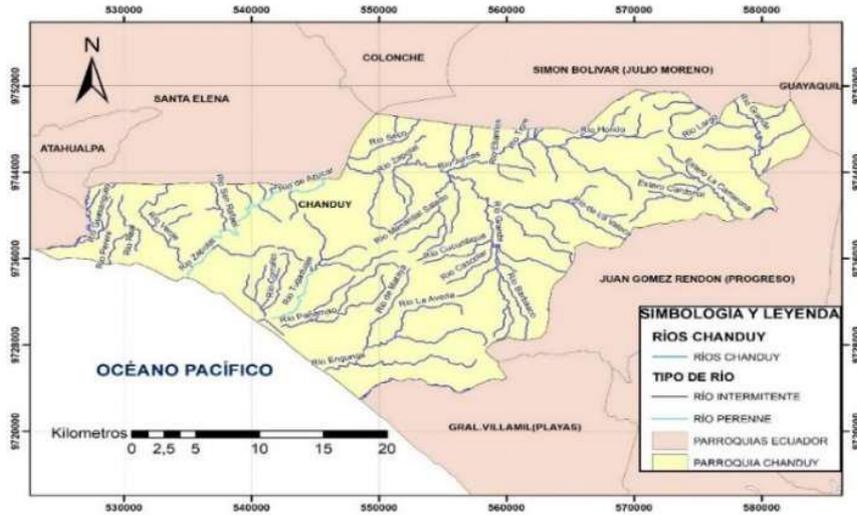


Figura 4.3 Red hidrográfica de la parroquia de Chanduy [Plan de desarrollo territorial, 2020].

En la Figura 4.4 podemos observar un mapa con los puntos de captación de agua subterránea en la parroquia, esta agua se encuentra almacenada en acuíferos que alimentan manantiales y pozos que en su mayoría son usados para agua potable de consumo de los pobladores. Según el INHAMI, existen 27 puntos de captación de aguas subterráneas en el cual hay pozos usados tanto para agua potable, riego y acuicultura.

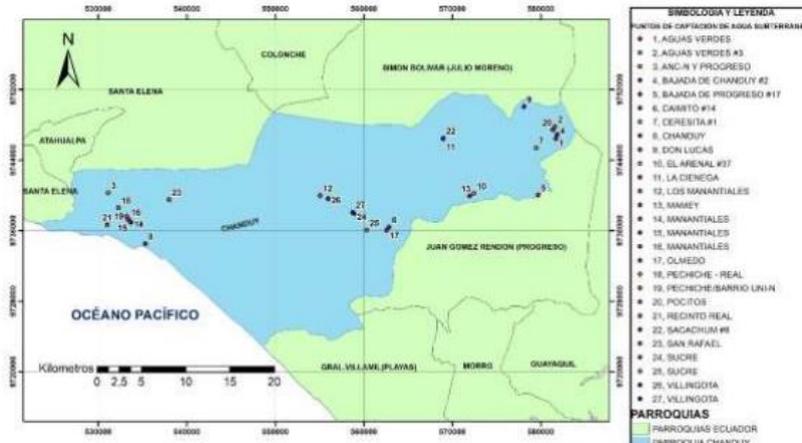


Figura 4.4. Mapa de captación de la parroquia de Chanduy [Plan de ordenamiento territorial, 2020].

4.3.4 Geomorfología

La parroquia de Chanduy cuenta con una formación geológica variada como: Tablazo, Guayaquil entre otros que son relieves litorales sedimentarios y fluvio – marinos, estos poseen relieves planos, colinados, altos, bajos, acantilados. Es así como en la Figura 4.5 se puede identificar morfología como Cerro Testigo que poseen pendientes de 25 -40% con un desnivel relativo de 25- 50 m. Colinado bajo con pendiente de 5-25 % y desnivel relativo de 15 – 25 m y Colinado muy bajo con pendientes de 2-12 % y desnivel de 5-15 m, entre otros. Esto se detalla gráficamente en la Figura 4.5.

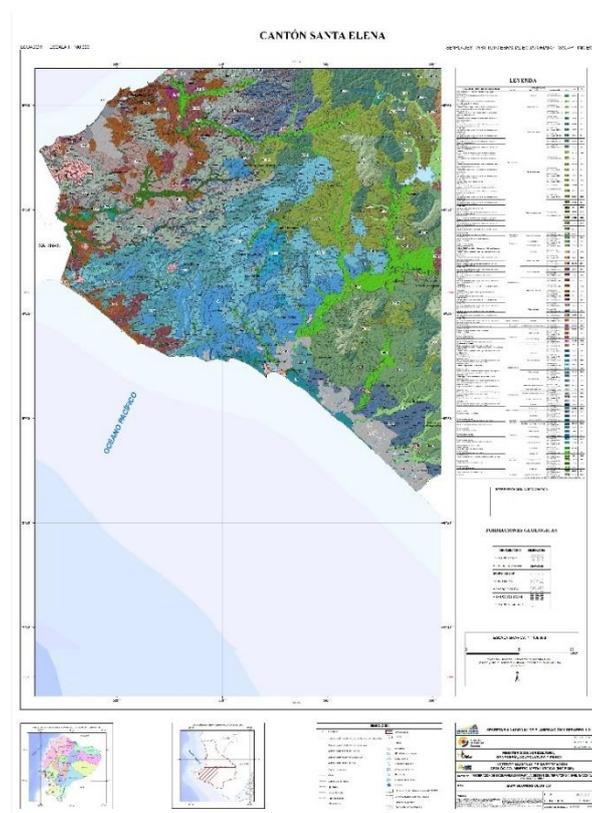


Figura 4.5. Morfología de la provincia de Santa Elena [Plan de ordenamiento territorial, 2020].

Es así, como por esta variedad de formaciones geológicas de la provincia y de la parroquia que se plantea el siguiente mapa de las principales formaciones rocosas a partir de información recolectada por el Instituto Geográfico Militar (IGM) que se puede observar en la Figura 4.6.

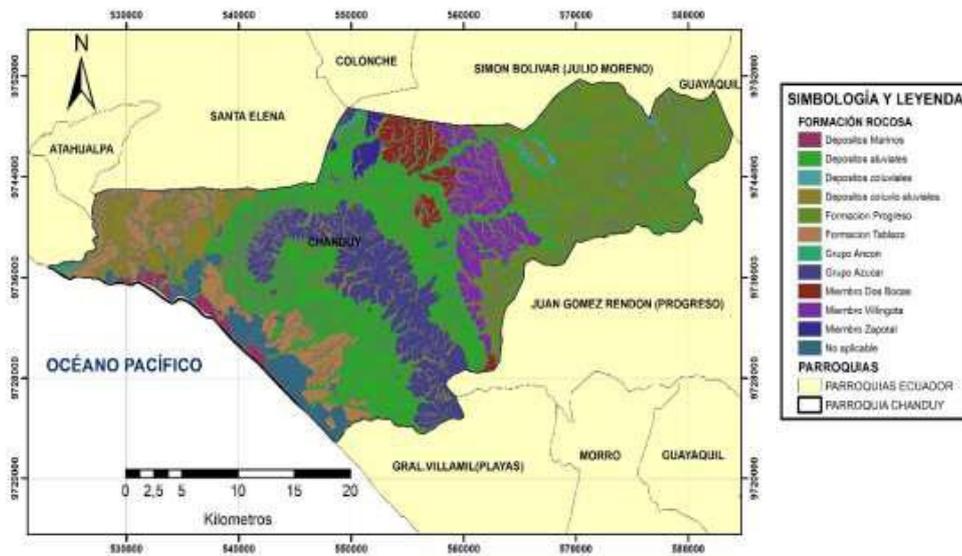


Figura 4.6. Formaciones rocosas de la parroquia de Chanduy [Plan de ordenamiento territorial, 2020].

4.3.5 Calidad de suelo

La parroquia posee los siguientes ordenes de suelo que se muestran en la Figura 4.7, los cuales son: Alfisol, Aridisol, Entisol, Inceptisol, Molisol, Vertisol y tierras misceláneas. Estos van desde suelos mineral con predominancia en arcilla (Alfisol), suelos minerales jóvenes en áreas secas o muy secas los cuales presentan poca evolución (Aidisol), poseen fuertes pendientes que aceleran la erosión o son áreas propensas a sufrir inundaciones (Entisol), suelos incipientes con origen de rápida formación con proceso de extrema meteorización (Inceptisol), suelo rico en materia orgánica (Molisol), suelos con alto contenido de montmorillonitas (Vertisol) y suelos sin antecedentes que permitan su clasificación (Misceláneas).



Figura 4.7. Mapa de Calidad de Suelo en Parroquia Chanduy [Plan de ordenamiento territorial, 2020].

4.3.5.1 Uso de suelo

El uso del suelo de la parroquia se ve influenciado por las diversas actividades que se manejan como lo son las actividades agrícolas, acuícola, agropecuario mixto, pecuario avícola, antrópico debido al crecimiento poblacional, actividades de conservación, producción y protección del recurso forestal, tierras productivas e improductivas. El uso respectivo de suelo se puede observar en la Figura 4.8.

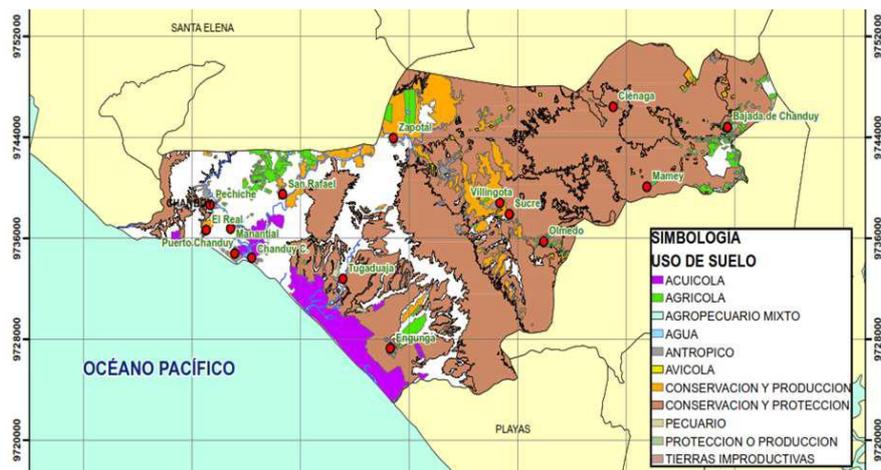


Figura 4.8. Mapa de uso de suelo en la parroquia de Chanduy [Plan de ordenamiento territorial, 2020].

En la parroquia el mayor porcentaje de suelo lo abarca el sector acuícola para el cultivo de camarón, para uso agrícola predominan: cultivos de maíz, cebolla, pimiento, tomate, pepino, melón, sandía, cacao, banana, badea, entre otros productos. Los suelos de uso para protección y conservación se dan en suelos donde hay gran cantidad de bosques secos los cuales se conservan para proteger el ecosistema.

Se cuenta con suelo destinado a la crianza de ganado porcino, al desarrollo y expansión territorial conocido como suelo antrópico y suelos utilizados por canales, reservorios de agua natural entre otros.

4.3.6 Calidad de agua

Los habitantes se abastecen de este recurso mediante el sistema de trasvase Daule-Santa Elena el cual se capta el agua del Río Daule y se desplaza hasta el embalse Chongón desde el cual se moviliza el agua hasta llegar a presa el Azúcar y terminar en la planta de Tratamiento de agua ubicada en Atahualpa. Además, la comunidad se abastece por pozos someros en varias comunas rurales, los cuales se encuentran en proceso de deterioro, tal es el caso de la comunidad rural de Saya que posee pozos en desuso y recurren a la compra de agua para el consumo.

La situación refleja un problema de escasez de agua ya que las fuentes propias como pozos manantiales, ríos no abastecen a la población. La evaporación tiene relación con la situación actual de las fuentes de agua en el sector, debido que es mayor que las precipitaciones, ya que estas son por lo general lluvias de gran intensidad, pero de corta duración.

El agua de pozos cercanos al mar posee alta salinidad por lo cual no puede ser usada para el consumo humano sin que se le haya sometido a un tratamiento y desinfección previamente.

4.3.7 Flora y fauna

El ecosistema y diversidad de especies presentes en la parroquia se ven amenazadas tanto por las actividades humanas como la pesca, agricultura, la caza y el turismo. Es así como parte de la Microfauna compuesta por tortugas marinas, ballenas jorobadas, manta rayas se ven amenazadas y degradadas por la pesca indiscriminada e incidental o inadecuada y el turismo informal. De igual forma especies de microfauna como: poliquetos, esponjas, moluscos, equidermos y pepinos de mar tienen como principal causa de degradación la contaminación por desechos sólidos y daños causados por las redes de arrastre que afectan el hábitat de dichas especies.

Entre la fauna de la parroquia también se encuentra venados de cola blanca, jaguar costeño, puma, tigrillo, zaino, cusumbo, guatuso y quanta que se ven afectados por el uso de suelo sin planificación, la caza indiscriminada y deterioro del ecosistema.

Entre las especies que forman parte de la flora de la parroquia se encuentra el palo santo, flor de goya, guayacán, cactus, uña de gato, Ceibo, algarrobo, verdolaga de playa y ciruelo. Estas especies se ven afectadas por la deforestación, invasiones en áreas protegidas y el uso de suelo, porque sin un debido control pueden causar la pérdida del ecosistema.

4.3.8 Ecosistemas frágiles

La parroquia posee un ecosistema marino, de manglares y el ecosistema de bosque seco occidental, este último es parte del 100% del territorio, tienen una prioridad alta de conservación, como se evidencia en la Figura 4.9.

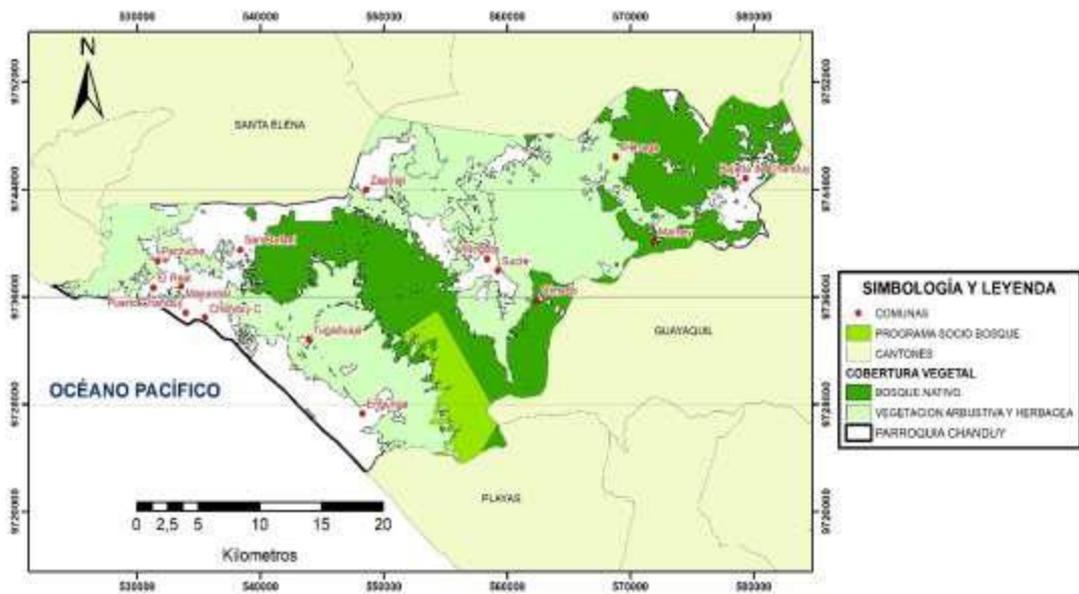


Figura 4.9. Mapa de ecosistemas frágiles en la parroquia Chanduy [Plan de ordenamiento territorial, 2020].

4.4 Actividades ambientales del proyecto

Para conocer el tipo de permiso acorde al proyecto ‘Tratamiento Avanzado de desalinización en la parroquia de Chanduy’ se debe consultar en la plataforma del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. Existe una clasificación de impactos los cuales se evidencia en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2. Tipos de permisos ambientales propuestos por Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. [Espinoza & Franco,2022].

Nivel de Impacto	Permiso
No significativo	Certificado Ambiental
Bajo	Registro Ambiental
Mediano y Alto	Licencia Ambiental

Para el proyecto a efectuar el nivel de impacto es Bajo como se evidencia en la Figura 4.10 por lo cual el tipo de permiso que se requeriría es un Registro Ambiental.

Detalles del Proyecto	
Código	MAATE-RA-2022-458870
Fecha de registro	19/12/2022
Operador	FRANCO GONZALEZ KEVIN ROBERTO
Autoridad Ambiental Competente	GOBIERNO AUTONOMO DESCENTRALIZADO PROVINCIAL DE SANTA ELENA
Sector	Otros Sectores
Superficie	1375.62960 ha 13756296.00000 m2
Nombre del Proyecto, obra o actividad	Resumen del Proyecto, obra o actividad
Tratamiento Avanzado de Desalinización de Agua de la Parroquia Chanduy	Diseñar un Sistema Avanzado de Desalinización para tratar el agua de la Parroquia de Chanduy para el uso en las actividades cotidianas.
Actividad	
Su trámite corresponde a un(a)	Registro Ambiental
El impacto de su actividad	Impacto BAJO
Actividad principal CIU	Actividades de captación de agua de: ríos, lagos, pozos, lluvia etcétera; purificación de agua para su distribución; tratamiento de agua para uso industrial y otros usos; distribución de agua por medio de: tuberías, camiones (tanqueros) u otros medios, a usuarios residenciales, comerciales, industriales y de otro tipo.
	¿Su proyecto es financiado por el Banco del Estado? No
	¿Es un proyecto para potabilización de agua? Si
Opción seleccionada	Proyecto para un caudal menor o igual a 1100 L/s.

Figura 4.10. Evidencia de nivel de impacto obtenido por el proyecto [Espinoza & Franco,2022].

4.4.1 Certificado de intersección de impacto ambiental

Del proceso ejecutado en el Sistema Único de Información Ambiental y con las coordenadas geográficas del sector se obtiene que el proyecto “Tratamiento Avanzado de desalinización de agua de la Parroquia Chanduy”, NO INTERSECA con el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP), Patrimonio Forestal Nacional y Zonas Intangibles, como se evidencia en la Figura 4.11.

ECUADOR, ESCALA 1 : 50000

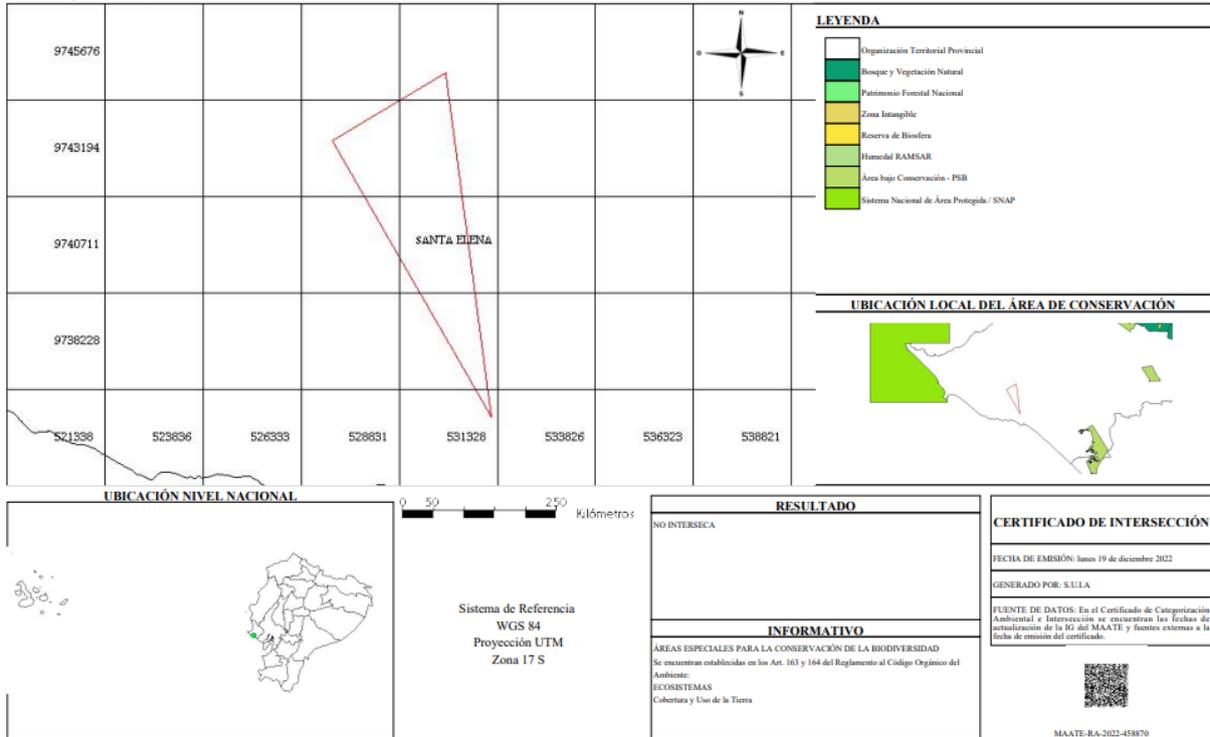


Figura 4.11. Certificado de intersección del proyecto: Tratamiento avanzado de desalinización [Espinoza & Franco,2022].

4.5 Actividades del proyecto

Para el presente proyecto se identifica fases de construcción e instalación; funcionamiento y cierre. Etapas en las cuales se analiza la afectación ambiental que pueda generar. La identificación de las fases, labores o actividades realizadas dentro de cada fase y acciones realizadas que puedan ser susceptibles de causar algún impacto en el medio donde se ejecuta el proyecto que permiten obtener un árbol de acciones. A continuación, se describe cada una de las fases del proyecto.

4.5.1 Construcción e instalación

En la presente etapa se detalla diversas actividades con la finalidad de poner en marcha una planta piloto de tratamiento avanzado. Dentro de las primeras actividades, se ha planificado realizar movimientos de tierra y nivelación del terreno en donde se desea construir una edificación tipo caseta y las instalaciones hidráulicas e hidrosanitarias necesarias. En esta edificación se ubicará la planta de tratamiento con la finalidad de optimizar su vida útil. Se debe instalar la fuente de energía que pondrá en funcionamiento la planta, en este caso será mediante energía fotovoltaica generada por panel solar. Es así como finalmente se identifican las siguientes labores o actividades: Obras preliminares, construcción de edificación, instalación de planta piloto, construcción de redes (agua, electricidad).

4.5.2 Funcionamiento

Una vez desarrollada la etapa de construcción e instalación de la planta piloto de tratamiento avanzado de agua se debe considerar las labores de mantenimiento de los equipos que componen la planta y sus alrededores. Durante el funcionamiento cada parte del equipo de electrodiálisis debe estar en buenas condiciones para poder cumplir con sus funciones de manera óptima. La planta presenta como parte de sus productos un concentrado de conductividades eléctrica por lo tanto agua con alta salinidad que debe ser correctamente tratado. Entonces, se identifican las siguientes actividades durante la fase de funcionamiento: Mantenimiento de instalaciones y del sistema de tratamiento como la generación de residuos líquidos y sólidos.

4.5.3 Cierre

Una vez la planta cumpla con el periodo de vida útil de las membranas, se deben tomar acciones para su cambio y desecho de esta. Se plantea actividades para el retiro de maquinaria usada, limpieza del sitio y de paisajismo para adecuar el lugar del proyecto con nueva vegetación.

En la Tabla 4.3 se detallan las fases con las acciones respectivas mediante un árbol de acciones del proyecto.

Tabla 4.3. Resumen actividades del proyecto acorde a cada fase [Espinoza & Franco,2022].

Fase	Actividad	Detalles
Construcción e instalación	Obras preliminares	Limpieza y desbroce
		Corte y relleno
		Movimiento de tierra
	Construcción de edificación	Excavaciones
		Cimentaciones
		Construcción de caseta
	Instalación de planta piloto	Instalación de panel solar
		Instalación de planta piloto de electrodiálisis
	Construcción de redes	Excavación de zanjas
		Colocación de tuberías
Iluminación de caseta		
Funcionamiento	Mantenimiento de instalaciones	Limpieza de caseta y alrededores
		Revisión de fugas en las tuberías
	Mantenimiento del sistema de tratamiento	Revisión y mantenimiento panel solar
		Revisión de estado de membranas
	Generación de residuos líquidos	Recolección de agua con alta salinidad
	Generación de residuos sólidos	Retiro de membranas exhaustas
Cierre	Retiro de maquinaria	Comprobación de maquinaria y equipo
	Limpieza del sitio	Recolección de escombros
	Paisajismos	Adecuación con vegetación nueva

4.6 Factores ambientales

Una vez descrita la línea de base ambiental en donde se detalla el medio biofísico se han reconocido los factores que poseen un alto valor ambiental en la parroquia Chanduy, entre ellos se hace una apreciación de los que pueden verse afectados por el presente proyecto tanto de forma positiva como negativa. Se cuenta con sistemas biofísico y socioeconómico-cultural.

Dentro del biofísico se tienen los medios físico y biótico, en los que se encuentra elementos ambientales como el aire, el suelo, el agua, la fauna y el paisaje. Mientras que en el sistema socioeconómico-cultural se encuentra el medio territorial, demográfico y sociocultural con elementos como el uso de suelo, la población activa y el patrimonio. Para los elementos del medio físico se analiza la afectación del aire por las actividades de construcción, contaminación en el medio por partículas de polvos generados en el proceso constructivo. Sin embargo, el suelo se ve afectado por las actividades de limpieza, desbroce y movimientos de tierras que se realizarán en las obras preliminares que alteran la composición de este. Se genera residuos durante la construcción y posible afectación durante la etapa de funcionamiento de la planta por uno de los productos que posee altas conductividades y por lo tanto posee alta salinidad.

Finalmente, se afecta positivamente el agua ya que por el proceso de tratamiento se logra disminuir las concentraciones de conductividad eléctricas y sólidos disueltos totales llegando a un agua que es apta para el consumo y uso en actividades domésticas.

El medio biótico está conformado por los elementos como flora y fauna. La flora se ve ligeramente afectada por la destrucción de paisaje con una edificación además se podría afectar el hábitat de algunas especies vegetales, si no se determinan un lugar adecuado para la implementación de la obra.

En el medio socioeconómico-cultural la población se ve afectada positivamente ya que al ser un sistema de tratamiento descentralizado hace que disminuya los gastos económicos por la compra y transporte de agua para el consumo, además de tener un mejor estilo de vida y salud.

4.7 Identificación de impactos ambientales

Ya definidas las fases y actividades a implementarse en el proyecto se debe identificar los impactos ambientales y las afectaciones que pueda generar al medio. Por lo cual, en la Tabla 4.4 se detalla los impactos de mayor importancia correspondientes a las actividades abarcadas en el proyecto.

Se puede observar que las actividades del proyecto afectan a los factores de suelo y agua. Hay una relación estrecha entre ellos, ya que a pesar de que la afectación al factor ambiental del agua es positiva por la generación de agua de mejor calidad y acceso para los habitantes, en el proceso se produce un agua con alta salinidad que podría afectar al suelo en caso de no darse un correcto tratamiento. Es así como hay que este residuo necesita de una disposición final adecuada.

Tabla 4.4. Identificación de impactos ambientales [Espinoza & Franco,2022].

Fase	Actividad	Detalles	Factor ambiental	Impactos Ambientales
Construcción e instalación	Obras preliminares	Limpieza y desbroce	Suelo-Flora	Eliminación de vegetación y calidad de suelo
		Corte y relleno	Suelo	Cambio en topografía del lugar y la calidad del suelo
		Movimiento de tierra	Suelo	
	Construcción de edificación	Excavaciones	Suelo	Cambio en la composición del suelo
		Cimentaciones	Suelo	
		Construcción de caseta	Suelo-Paisaje	Obstrucción de paisaje y cambio de uso de suelo
	Instalación de planta piloto	Instalación de panel solar	Paisaje	Obstrucción del paisaje, pero disminución de gasto por consumo de energía eléctrica convencional
		Instalación de planta piloto de electrodiálisis	Agua	Mejora en el acceso de agua para el consumo humano
	Construcción de redes	Excavación de zanjas	Suelo	Cambio en aspecto y calidad de suelo
		Colocación de tuberías	Agua-Suelo	Elemento que cambia la topografía, pero transporta agua de mejor calidad

		Iluminación de caseta	Medio Socioeconómico	Disminución de gasto en el consumo eléctrico al estar conecta a panel solar
Funcionamiento	Mantenimiento de instalaciones	Limpieza de caseta y alrededores	Suelo-Paisaje	Eliminación de flora de los alrededores, cambio de uso de suelo
		Revisión de fugas en las tuberías	Agua-Suelo	Pérdida de agua tratada o con alta salinidad afecta calidad de suelo positiva o negativamente respectivamente.
	Mantenimiento del sistema de tratamiento	Revisión y mantenimiento panel solar	Agua	Disminuye las emisiones de carbono y genera agua de mejor calidad
		Revisión de estado de membranas	Agua	
	Generación de residuos líquidos	Recolección de agua con alta salinidad	Agua-Suelo	Afectación a la calidad del suelo
	Generación de residuos sólidos	Retiro de membranas exhaustas	Agua-Aire	Generación de desechos que pueden ser incinerados
Cierre	Retiro de maquinaria	Comprobación de inventario, condiciones de maquinaria y equipo	Aire	Afectación por levantamiento de material particulado
	Limpieza del sitio	Recolección de escombros	Suelo-Aire	Afectación por material particulado al momento de recolección y cambios en suelo
	Paisajismos	Adecuación con vegetación nueva	Flora-Suelo	Mejora del paisajismo

4.8 Valoración de impactos ambientales

Para la evaluación de los impactos ambientales de las diversas actividades se utilizó los criterios de severidad, probabilidad de ocurrencia, la relevancia del impacto, extensión, intensidad entre otros criterios y las clases de impactos que esta genera, como se detalla en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5. Criterios y clase de impacto generado

CRITERIOS	CLASE DE IMPACTOS
Severidad (S)	-Positivos (modifican la calidad ambiental en manera positiva) -Medios (modifican la calidad ambiental en escala media) -Negativos (modifican la calidad ambiental en manera negativa)
Probabilidad de ocurrencia (P)	-Muy poco probable -Poco probable -Cierto
Relevancia del impacto (T)	$T = S \times P$ (relaciona la probabilidad de ocurrencia con la severidad del impacto)
Extensión (E)	Puntuales (afectan un área muy reducida, <20%) Parciales (el área de extensión es mayor entre 20 y 50%) Alta (abarcan la totalidad de área de influencia del proyecto, mayor al 50%)
Intensidad (I)	Baja: alteración mínima Moderada: algunas características cambian Alta: alteración significativa
Duración (du)	-Corto plazo (su permanencia es breve o acortada en el tiempo) -Mediano plazo (su permanencia es en mediano tiempo) -Permanente (su permanencia es breve permanente)
Desarrollo (De)	-Largo plazo (desarrollo del impacto en un plazo largo) -Medio plazo (desarrollo del impacto en mediano tiempo) -Inmediato (desarrollo del impacto de inmediato)
Recuperación (R)	-Reversibles (el medio volverá al estado inicial) -Mitigables (existen acciones tendientes a reducirlo a través de mitigación o compensación) -Irreversible (no hay ninguna posibilidad de volver a la situación inicial)
Interacción (Ia)	-Simple (no tiene relación con ningún otro) -Acumulativo (el impacto adiciona a otro y la situación se agrava) -Sinérgico (además de adicionar a otro, se combina de manera tal de desencadenar procesos de degradación).

Mediante la valoración de los impactos de cada etapa se obtuvieron 4 labores con un riesgo medio como el grado de impacto más alto obtenido, esto se evidencia en la Tabla 4.6.

Tabla 4.6. Labores con rango medio de riesgo

Fase	Actividad	Detalle	Grado de Riesgo
Construcción e instalación	Instalación de planta piloto	Instalación de planta piloto de electrodiálisis	Medio
Funcionamiento	Mantenimiento del sistema de tratamiento	Revisión de estado de membranas	Medio
	Generación de residuos	Recolección de agua con alta salinidad	Medio
	Disposición final de residuos	Secado o recirculado de agua	Medio

En la Tabla 4.6 se detalla la evaluación de impactos ambientales de cada una de las actividades involucradas en el proyecto, cabe destacar que las actividades del proyecto llegan a tener como máximo un impacto medio, para ellas vamos a realizar un plan de prevención o mitigación que se detalla en secciones posteriores.

Tabla 4.7 Matriz de evaluación de impactos ambientales

			IDENTIFICACION DE IMPACTOS AMBIENTALES PARA ESTE ESTUDIO																		VALORACION		GRADO DE RIESGO					
ACTIVIDADES	ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO	Severidad (S)			Probabilidad de Ocurrencia (P)			(T)	Extensión (E)			Intensidad (I)			Duración (Du)			Desarrollo (De)			Recuperación (R)		Interacción (Ia)		(Mg)	(Imp)	
			1	2	3	1	2	3		0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2				
			positivo	medio	negativo	muy poco probable	poco probable	cierto		Relevancia del Impacto T=SxP	puntual	parcial	alta	baja	moderada	alta	corto plazo	mediano plazo	permanente	largo plazo	medio plazo	inmediato	reversible	mitigable	irreversible			
Limpieza y desbroce	Suelo-Flora	Eliminación de vegetación y calidad de suelo		2			2		4	0			0						2	0			0			2	8	Bajo
Corte y relleno	Suelo	Cambio en topografía del lugar y la calidad del suelo		2			2		4	0			0						2	0			0			2	8	Bajo
Movimiento de tierra	Suelo			2			2		4	0			0						2	0			0			2	8	Bajo
Excavaciones	Suelo				3			3		9	0			0					1	0			0			1	9	Bajo
Cimentaciones	Suelo	Cambio en la composición del suelo		2					0	0			0						2	0			0			2	0	No Significativo
Construcción de caseta	Suelo-Paisaje	Obstrucción de paisaje y cambio de uso de suelo		2					0	0			0						2	0			0			2	0	No Significativo
Instalación de panel solar	Paisaje	Obstrucción del paisaje, pero disminución de gasto por consumo de energía eléctrica convencional	1					3	3	0					2	0							0			3	9	Bajo
Instalación de planta piloto de electrodiálisis	Agua	Mejora en el acceso de agua para el consumo humano	1					3	3		1				2				2	0			0			6	18	Medio
Excavación de zanjas	Suelo	Cambio en aspecto y calidad de suelo			3			3	9	0			0						1	0			0			1	9	Bajo
Colocación de tuberías	Agua-Suelo	Elemento que cambia la topografía, pero transporta agua de mejor calidad	1					3	3		1				2	0							0			4	12	Bajo

Iluminación de caseta	Medio Socioeconómico	Disminución de gasto en el consumo eléctrico al estar conecta a panel solar	1				3	3	0			0			2	0		0			0			2	6	No Significativo
Limpieza de caseta y alrededores	Suelo-Paisaje	Eliminación de flora de los alrededores, cambio de uso de suelo	1				3	3	0			1	0			1		1			0			3	9	Bajo
Revisión de fugas en las tuberías	Agua-Suelo	Pérdida de agua tratada o con alta salinidad afecta calidad de suelo positiva o negativamente respectivamente		2			2	4		1		0	0			1		0			0			2	8	Bajo
Revisión y mantenimiento panel solar	Agua	Disminuye las emisiones de carbono y genera agua de mejor calidad	1				2	2	0			0		1		1		0			0			2	4	No Significativo
Revisión de estado de membranas	Agua	Disminuye las emisiones de carbono y genera agua de mejor calidad	1				3	3	0				2			1				1		1		5	15	Medio
Recolección de agua con alta salinidad	Agua-Suelo	Afectación a la calidad del suelo			3		2	6		1			2	0			0			1		0		4	24	Medio
Retiro de membranas exhaustas	Agua-Aire	Generación de desechos que pueden ser incinerados			3		2	6	0			1		1		0			1		0			3	18	Medio
Comprobación de inventario, condiciones de maquinaria y equipo	Aire	Afectación por levantamiento de material particulado			3	1		3		2		1		1		0		0			0			4	12	Bajo
Recolección de escombros	Suelo-Aire	Afectación por material particulado al momento de recolección y cambios en suelo	1				3	3	0			1	0			1		1			0			3	9	Bajo
Adecuación con vegetación nueva	Flora-Suelo	Mejora del paisajismo	1				3	3	0			0			2	0		0			0			2	6	No Significativo

4.9 Medidas de prevención/mitigación

Los impactos de mayor relevancia que se detallan en la Tabla 4.6. con un grado de afectación medio, son motivo de estudio para plantear un presupuesto de manejo ambiental con la finalidad de establecer medidas para prevenir o minimizar los impactos ambientales. En la Tabla 4.8 se detallan los impactos ambientales antes mencionados, las respectivas medidas de mitigación o prevención y el presupuesto referencial de las medidas propuestas.

Tabla 4.8 Medidas de prevención o mitigación de impactos ambientales [Espinoza & Franco,2022].

Actividad	Impacto ambiental	Medidas de prevención o mitigación
Instalación de planta piloto	Mejora en el acceso de agua para el consumo humano	Prevenir la contaminación del agua tratada/ Instalación de canaletas
		Instalación de barreras que impidan contaminación producto de la escorrentía
Mantenimiento del sistema de tratamiento	Disminuye las emisiones de carbono y genera agua de mejor calidad	Implementación de paneles solares como fuente de energía de la planta de tratamiento
Generación de residuos (Recolección de agua con alta salinidad)	Afectación a la calidad del suelo por generación de desechos líquidos	Implementación de capa de geotextil en el lugar de operación del proyecto
Retiro de membranas exhaustas	Generación de desechos sólidos que afectan el suelo y aire	Establecer un lugar para los residuos sólidos. Esparcir agua (no potable) sobre las áreas para evitar el levantamiento de partículas.

4.10 Formulario de registro ambiental

TRAMITE(suía)	Registro Ambiental
FECHA	19 de diciembre del 2022
PROPONENTE	Franco González Kevin Roberto /Espinoza Mora María Fernanda
ENTE RESPONSABLE	Gobierno Autónomo descentralizado Provincial de Santa Elena

Registro Ambiental 1. <u>Información del proyecto</u> 2. Datos generales 3. Marco legal referencial 4. Descripción del proceso 5. Descripción del área de implantación 6. Principales impactos ambientales 7. Plan de manejo ambiental(PMA) 8. Inventario forestal 9. Finalización	1. INFORMACIÓN DEL PROYECTO	
	1.1 PROYECTO, OBRA O ACTIVIDAD (Fases y nombre proyecto)	
	Tratamiento avanzado con fines de desalinización de agua en la Parroquia Chanduy	
	1.2 ACTIVIDAD ECONÓMICA (Según Catálogo de proyecto, obra o actividad)	
	Codigo de catálogo -----	Actividades de captación de agua de: ríos, pozos, lluvia etcétera; purificación de agua para su distribución; tratamiento de agua para uso industrial y otros usos; distribución de agua por medio de: tuberías, camiones(tanqueros) u otros medios, a usuarios residenciales, comerciales, industriales y de otro tipo.
	1.3 RESUMEN DEL PROYECTO, OBRA O ACTIVIDAD (Según Catálogo de proyecto, obra o actividad)	
	Diseñar un sistema Avanzado de desalinización para tratar el agua de la parroquia de Chanduy para el uso en las actividades cotidianas.	
	Proyecto para un caudal menor o igual a 1100 L/s	

Registro Ambiental 1. Información del proyecto 2. <u>Datos generales</u> 3. Marco legal referencial 4. Descripción del proceso 5. Descripción del área de implantación 6. Principales impactos ambientales 7. Plan de manejo ambiental (PMA) 8. Inventario forestal 9. finalización	2. DATOS GENERALES		
	SISTEMA DE COORDENADAS (WGS-84)		
	ESTE (X)	NORTE (Y)	ALTITUD (msnm)
	533553	9737516	
	529620	9744630	
	539977	9754000	
	532508	9746316	
	533663	9737516	
	ESTADO DEL PROYECTO, OBRA O ACTIVIDAD (FASE)		
	<input checked="" type="checkbox"/>	Construcción	
	<input checked="" type="checkbox"/>	Rehabilitación y/o	
	<input checked="" type="checkbox"/>	Ampliación Operación y mantenimiento	
	<input type="checkbox"/>	Cierre y Abandono	
DIRECCION DEL PROYECTO, OBRA O ACTIVIDAD			
Parroquia Chanduy, Provincia de Santa Elena			
PROVINCIA	CANTON	PARROQUIA	
Santa Elena	Santa Elena	Chanduy	
TIPO DE ZONA			
Urbana	<input type="checkbox"/>		
Rural	<input checked="" type="checkbox"/>		

Registro Ambiental 1. Información del proyecto 2. Datos generales 3. Marco legal referencial 4. Descripción del proceso	DATOS DEL PROMOTOR																																											
	NOMBRE																																											
	María Fernanda Espinoza																																											
	CORREO ELECTRONICO DEL PROMOTOR			TELEFONO/CELULAR																																								
marfeesp@espol.edu.ec			0960292956																																									
DOMICILIO DEL PROMOTOR																																												
Guayas, Guayaquil																																												
CARACTERISTICAS DE LA ZONA																																												
Infraestructura:																																												
<input type="checkbox"/> Industrial <input checked="" type="checkbox"/> Otros: Saneamiento (Desechos sólidos)																																												
DESCRIPCION DE LA ZONA																																												
<table border="1"> <tr> <td colspan="2">Área del proyecto (m²)</td> <td colspan="2">--</td> <td colspan="2">Área de implantación (m²)</td> <td colspan="2">--</td> </tr> <tr> <td>Agua potable</td> <td></td> <td>SI</td> <td>X</td> <td>NO</td> <td colspan="2">Consumo de agua por mes (m³)</td> <td>--</td> </tr> <tr> <td>Energía eléctrica</td> <td>X</td> <td>SI</td> <td></td> <td>NO</td> <td colspan="2">Consumo energía eléctrica por mes (KW/h)</td> <td>---</td> </tr> <tr> <td>Acceso vehicular</td> <td>X</td> <td>SI</td> <td></td> <td>NO</td> <td rowspan="2">Tipo de vías:</td> <td>Vías Principales</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Alcantarillado</td> <td></td> <td>SI</td> <td>X</td> <td>NO</td> <td>Vías Secundarias</td> <td>X</td> </tr> </table>						Área del proyecto (m ²)		--		Área de implantación (m ²)		--		Agua potable		SI	X	NO	Consumo de agua por mes (m ³)		--	Energía eléctrica	X	SI		NO	Consumo energía eléctrica por mes (KW/h)		---	Acceso vehicular	X	SI		NO	Tipo de vías:	Vías Principales		Alcantarillado		SI	X	NO	Vías Secundarias	X
Área del proyecto (m ²)		--		Área de implantación (m ²)		--																																						
Agua potable		SI	X	NO	Consumo de agua por mes (m ³)		--																																					
Energía eléctrica	X	SI		NO	Consumo energía eléctrica por mes (KW/h)		---																																					
Acceso vehicular	X	SI		NO	Tipo de vías:	Vías Principales																																						
Alcantarillado		SI	X	NO		Vías Secundarias	X																																					
SITUACION DEL PREDIO																																												
<input type="checkbox"/> Alquiler <input type="checkbox"/> Concesionadas <input checked="" type="checkbox"/> Propia <input type="checkbox"/> Otros																																												

Registro Ambiental 1. Información del proyecto 2. Datos generales 3. Marco legal referencial 4. Descripción del proceso 5. Descripción del área de implantación 6. Principales impactos ambientales 7. Plan de manejo ambiental (PMA) 8. Inventario forestal 9. Finalización	3. MARCO LEGAL REFERENCIAL					
	Usted deberá ajustarse al siguiente marco legal					
	NORMATIVAS					
	Constitución de la República del Ecuador					
	Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, sumak kawsay. Se declara de interés pública la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.					
	Art. 66.- Se reconoce y garantizará a las personas: 27. El derecho a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado, libre de contaminación y en armonía con la naturaleza.					
	Art. 276.- El régimen de desarrollo tendrá los siguientes objetivos: 4. Recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural					
	Ley de Gestión Ambiental					
	Art. 19.- Las obras públicas, privadas o mixtas, y los proyectos de inversión públicos o privados que puedan causar impactos ambientales, serán calificados previamente a su ejecución, por los organismos descentralizados de control, conforme el Sistema Único de Manejo Ambiental, cuyo principio rector será el precautelatorio. Art. 20.- Para el inicio de toda actividad que suponga riesgo ambiental se deberá contar con la licencia respectiva, otorgada por el Ministerio del ramo					

	<p>Ley de Fomento y Desarrollo Agropecuario</p> <p>Art. ...- Los centros agrícolas, cámaras de agricultura y organizaciones campesinas sujetas de crédito del Banco Nacional de Fomento y las empresas importadoras de maquinaria, equipos, herramientas e implementos de uso agropecuario, nuevos de fábrica, podrán también importar dichos bienes reconstruidos o repotenciados, que no se fabriquen en el país, dotados de los elementos necesarios para prevenir la contaminación del medio ambiente, previa autorización del Ministerio de Agricultura y Ganadería, con la obligación de mantener una adecuada provisión y existencia de repuestos para estosequipos, así como del suministro de servicios técnicos de mantenimiento y reparación durante todo el período de vida útil de estos bienes, reconociéndose como máximo para el efecto, el período de diez años desde la fecha de la importación. El Ministerio de Agricultura y Ganadería sancionará a las empresas importadoras de equipos reconstruidos o repotenciados, que no suministren inmediatamente los repuestos o servicios, con una multa de mil a cinco mil dólares de los Estados Unidos de Norteamérica y, dichas empresas quedarán obligadas a indemnizar al comprador tanto por daño emergente como por lucro cesante, por todo el tiempo que la maquinaria o equipos estuvieren paralizados por falta de repuestos o servicios de reparación</p> <p>Acuerdo Ministerial 134</p> <p>Mediante Acuerdo Ministerial 134 publicado en el Suplemento del Registro Oficial No. 812 de 18 de octubre de 2012, se reforma el Acuerdo Ministerial No. 076, publicado en Registro Oficial Segundo Suplemento No. 766 de 14 de agosto de 2012, se expidió la Reforma al artículo 96 del Libro III y artículo 17 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, expedido mediante Decreto Ejecutivo No. 3516 de Registro Oficial Edición Especial No. 2 de 31 de marzo de 2003; Acuerdo Ministerial No. 041, publicado en el Registro Oficial No. 401 de 18 de agosto de 2004; Acuerdo Ministerial No. 139, publicado en el Registro Oficial Suplemento No. 164 de 5 de abril de 2010, con el cual se agrega el Inventario de Recursos Forestales como un capítulo del Estudio de Impacto Ambiental</p> <p>Reglamento de Seguridad para la Construcción y Obras Públicas</p>
	<p>Art. 150.- Los constructores y contratistas respetarán las ordenanzas municipales y la legislación ambiental del país, adoptarán como principio la minimización de residuos en la ejecución de la obra. Entran dentro del alcance de este apartado todos los residuos (en estado líquido, sólido o gaseoso) que genere la propia actividad de la obra y que en algún momento de su existencia pueden representar un riesgo para la seguridad y salud de los trabajadores o del medio ambiente.</p> <p>Art. 151.- Los constructores y contratistas son los responsables de la disposición e implantación de un plan de gestión de los residuos generados en la obra o centro de trabajo que garantice el cumplimiento legislativo y normativo vigente</p> <p>Acuerdo Ministerial No. 061</p> <p>Art. 262 "De los Informes Ambientales de Cumplimiento.- Las actividades regularizadas mediante un Registro Ambiental serán controladas mediante un Informe Ambiental de Cumplimiento, inspecciones, monitoreos y demás establecidos por la Autoridad Ambiental Competente. Estos Informes, deberán evaluar el cumplimiento de lo establecido en la normativa ambiental, plan de manejo ambiental, condicionantes establecidas en el permiso ambiental respectivo y otros que la autoridad ambiental lo establezca. De ser el caso el informe ambiental contendrá un Plan de Acción que contemple medidas correctivas y/o de rehabilitación.</p> <p>Art. 263 De la periodicidad y revisión.- Sin perjuicio que la Autoridad Ambiental Competente pueda disponer que se presente un Informe Ambiental de Cumplimiento en cualquier momento en función del nivel de impacto y riesgo de la actividad, una vez cumplido el año de otorgado el registro ambiental a las actividades, se deberá presentar el primer informe ambiental de cumplimiento; y en lo posterior cada dos (2) años contados a partir de la presentación del primer informe de Cumplimiento.</p>

	Reglamento para Funcionamiento de Aeropuertos en Ecuador	
	Ordenanza que Regula la Aplicación del Subsistema de Manejo Ambiental, Control y Seguimiento Ambiental en el cantón Guayaquil	
	Marco Regulatorio Ambiental del Sector Agua y Saneamiento.	
	He leído y comprendo las Normativas	X

	4. DESCRIPCION DE PROCESOS – FASES		
	MATERIALES, INSUMOS,EQUIPOS	ACTIVIDAD	IMPACTOS POTENCIALES
Registro Ambiental		Instalación de planta piloto	Mejora en el acceso de agua para el consumo humano
1. Información del proyecto		Mantenimiento del sistema de tratamiento Generación de residuos	Disminuye las emisiones de carbono y genera agua de mejor calidad Afectación a la calidad del suelo por generación de desechos líquidos
2. Datos generales		Disposición final de residuos	Generación de desechos sólidos que afectan el suelo y aire
3. Marco legal referencial 4. Descripción del proceso 5. Descripción del área de implantación 6. Principales impactos ambientales 7. Plan de manejo ambiental (PMA) 8. Inventario forestal 9. Finalización		Disposición final de residuos	Generación de desechos sólidos que afectan el suelo y aire

Registro Ambiental 1. Información del proyecto 2. Datos generales 3. Marco legal referencial 4. Descripción del proceso 5. Descripción del área de implantación 6. <u>Principales impactos ambientales</u> 7. Plan de manejo ambiental (PMA) 8. Inventario forestal 9. Finalización	6. PRINCIPALES IMPACTOS AMBIENTALES			
	MATERIALES E INSUMOS			
	ACTIVIDAD	DETALLE	FACTOR	IMPACTO
Obras preliminares	Limpieza y desbroce	Suelo-Flora	Eliminación de vegetación y calidad de suelo	
	Corte y relleno	Suelo	Cambio en topografía del lugar y la calidad del suelo	
	Movimiento de tierra	Suelo		
Construcción de edificación	Excavaciones	Suelo	Cambio en la composición del suelo	
	Cimentaciones	Suelo		
	Construcción de caseta	Suelo-Paisaje	Obstrucción de paisaje y cambio de uso de suelo	
Instalación de planta piloto	Instalación de panel solar	Paisaje	Obstrucción del paisaje, pero disminución de gasto por consumo de energía eléctrica convencional	
	Instalación de planta piloto de electrodiálisis	Agua	Mejora en el acceso de agua para el consumo humano	
Construcción de redes	Excavación de zanjas	Suelo	Cambio en aspecto y calidad de suelo	
	Colocación de tuberías	Agua-Suelo	Elemento que cambia la topografía, pero transporta agua de mejor calidad	
	Iluminación de caseta	Medio Socioeconómico	Disminución de gasto en el consumo eléctrico al estar conecta a panel solar	
Mantenimiento de instalaciones	Limpieza de caseta y alrededores	Suelo-Paisaje	Eliminación de flora de los alrededores, cambio de uso de suelo	

		Revisión de fugas en las tuberías	Agua-Suelo	Pérdida de agua tratada o con alta salinidad afecta calidad de suelo positiva o negativamente respectivamente.
	Mantenimiento del sistema de tratamiento	Revisión y mantenimiento panel solar	Agua	Disminuye las emisiones de carbono y genera agua de mejor calidad
		Revisión de estado de membranas	Agua	
	Generación de residuos líquidos	Recolección de agua con alta salinidad	Agua-Suelo	Afectación a la calidad del suelo
	Generación de residuos sólidos	Retiro de membranas exhaustas	Agua-Aire	Generación de desechos que pueden ser incinerados
	Retiro de maquinaria	Comprobación de inventario, condiciones de maquinaria y equipo	Aire	Afectación por levantamiento de material particulado
	Limpieza del sitio	Recolección de escombros	Suelo-Aire	Afectación por material particulado al momento de recolección y cambios en suelo
	Paisajismos	Adecuación con vegetación nueva	Flora-Suelo	Mejora del paisajismo

ETAPA DE CONSTRUCCIÓN

7. PLAN DE MANEJO AMBIENTAL (ingresar los planes que apliquen a su proyecto, obra o actividad)						
Registro Ambiental 1. Información del proyecto 2. Datos generales 3. Marco legal referencial 4. Descripción del proceso 5. Descripción del área de implantación 6. Principales impactos ambientales 7. <u>Plan de manejo ambiental (PMA)</u> 8. Inventario forestal 9. Finalización	Actividad	Responsable	Fecha inicio	Fecha fin	Presupuesto	
	Prevenir la contaminación del agua tratada/ Instalación de canaletas	Líder comunitario	2 mes	3 mes	80.40	
	Instalación de barreras que impidan contaminación producto de la escorrentía	Líder comunitario	1 mes	2 mes	60.45	
	Actividad	Responsable	Fecha inicio	Fecha fin	Presupuesto	
	Implementación de paneles solares como fuente de energía de la planta de tratamiento	Líder comunitario	6mes	6mes	3984	
	Implementación de capa de geotextil en el lugar de operación del proyecto	Líder comunitario	1 mes	1 mes	318.64	
	Actividad	Responsable	Fecha inicio	Fecha fin	Presupuesto	
	Establecer un lugar para los residuos sólidos. Esparcir agua (no potable) sobre las áreas para evitar el levantamiento de partículas.	Líder comunitario	6 mes	8 mes	62.50	
	Cronograma del Plan de Manejo Ambiental					
	PMA	meses			Costo \$	
1		2	3			
Prevenir la contaminación del agua tratada/ Instalación de canaletas	x	x	x	80.40		
Instalación de barreras que impidan contaminación producto de la escorrentía	x			60.45		
Implementación de paneles solares como fuente de energía de la planta de tratamiento	x			3984		
Implementación de capa de geotextil en el lugar de operación del proyecto	X			318.64		
Establecer un lugar para los residuos sólidos.	x	x	x	62.50		

8. INVENTARIO FORESTAL	
<p>Registro Ambiental</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Información del proyecto 2. Datos generales 3. Marco legal referencial 4. Descripción del proceso 5. Descripción del área de implantación 6. Principales impactos ambientales 7. Plan de manejo ambiental (PMA) 8. <u>Inventario forestal</u> 9. Finalización 	<p>¿Su proyecto tiene remoción de cobertura vegetal nativa?</p> <p> <input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> NO </p>

4.11 Conclusiones

1. La SUIA clasifica al presente proyecto “Diseño un sistema descentralizado de tratamiento avanzado de agua en la parroquia Chanduy, Santa Elena” de bajo impacto ambiental por lo cual se necesita un registro ambiental para el mismo.

2. La valoración realizada a cada una de las actividades identificadas en cada etapa del proyecto, para la cual se identificaron y relacionaron los impactos y medios afectados por dichas actividades permite concluir que el diseño de una planta de tratamiento avanzado mediante la tecnología de electrodiálisis afecta mínimamente el medio ambiente. Sin embargo, representan muchos aspectos positivos.

3. Las valoraciones de la mayoría de los impactos ambientales identificados en el proyecto obtienen un grado de afectación bajo, siendo así que los impactos de mayor magnitud llegan a un nivel medio de afectación. Estos impactos se pueden prevenir y mitigar siguiendo el plan de manejo ambiental presentado con su respectivo presupuesto dentro de la obra.

CAPÍTULO 5

5. PRESUPUESTO REFERENCIAL

Los costos estimados en el presente estudio abarcan el diseño de la fuente de energía para el proceso de electrodiálisis, el presupuesto referencial de la caseta en donde se ubicará el sistema de tratamiento ya que el diseño estructural no es parte de este proyecto.

5.1 Estructura de desglose de trabajo (EDT)

La estructura de desglose de trabajo (EDT) permite identificar con claridad los rubros involucrados de forma directa e indirecta en el proyecto.



Figura 5.1. Estructura de desglose de trabajo (EDT) [Espinoza & Franco, 2022]

5.2 Descripción de rubros

A continuación, se describen cada rubro implicado en la puesta en marcha del sistema de tratamiento avanzado de agua mediante electrodiálisis.

5.2.1 Caracterización de agua del lugar de estudio

La caracterización del agua contempla los costos derivados de los análisis fisicoquímicos realizados a cada uno de los puntos muestreados en el lugar de estudio, con la finalidad de comprender las propiedades y determinar las concentraciones de iones principales en las muestras. Este rubro se mide por la cantidad de muestras analizadas y su costo.

5.2.2 Desbroce y limpieza

Se realizará una limpieza del terreno en el cual se planea construir la caseta para el sistema de tratamiento, esto es necesario para eliminar la maleza propia del lugar y en los alrededores del lugar de ejecución del proyecto. Esto con la finalidad de facilitar las labores de movimientos de tierra y posterior construcción. El desbroce y limpieza se lo realizará manualmente por lo cual se hará uso de herramientas básicas. Los desechos deben ser desalojados del lugar y desechados en el lugar que le corresponde de acuerdo con el tipo de desecho que sea. El costo de este rubro se definirá en base a los m² de área que se desbroce y limpie, además se requiere tener en cuenta la mano de obra dada por un peón.

5.2.3 Trazado y replanteo para caseta

El trazado y replanteo se realizará para determinar donde se instalarán los diversos elementos del sistema de tratamiento avanzado de agua mediante electrodiálisis, en el cual se debe considerar estructura destinada a la instalación de los paneles solares, dos tanques plásticos de agua y el sistema de tratamiento por electrodiálisis. Para ellos se tomarán las cotas y dimensiones definidas. De igual forma, es importante definir donde se realizar las respectivas excavaciones para las cimentaciones, es importante que se mencione este rubro a pesar de que el análisis estructural no forma parte de los alcances del proyecto. Los materiales por requerirse son el equipo topográfico y herramientas

como: cinta métrica, estacas, clavos, piola, tablas o listones, martillo, etc. Se necesita mano de obra y el costo se define mediante el área de trabajo en m².

5.2.4 Construcción del sistema tratamiento hidráulico y sanitario

Este rubro contempla las instalaciones de sistemas de distribución conectados al tanque de almacenamiento y que transportar el agua tratada a los hogares. Así mismo la instalación de canaletas y zanjas en los alrededores para prevenir la contaminación del agua tratada. Para esto se necesita la mano de obra de un gasfitero y un maestro. El costo del rubro se calcula mediante la longitud en metro de tuberías usadas y el costo de los distintos tanques de almacenamientos usados.

5.2.5 Desalojo de escombros

Este rubro contempla la limpieza del área del proyecto mediante la remoción de escombros producidos por el material excedente tanto en relleno como en materiales usados en los encofrados. Este rubro considera el desalojo al inicio y al finalizar la obra, ya que este debe encontrarse en las mejores condiciones para que no pueda intervenir negativamente en el proceso de tratamiento avanzado, es así como el lugar debe estar libre de desechos de toda índole que afecten la funcionalidad. Se necesita emplear mano de obra de dos peones y un maestro de obra. El costo del desalojo de escombros se calcula de acuerdo con el m³ de escombros desechados.

5.3 Análisis de costos unitarios

En la Tabla 5.1 se observa el presupuesto referencial del proyecto, este es un resumen en base a las fases detalladas en la EDT de la sección 5.1 del presente capítulo. El presupuesto es igual a \$ 13 153.25 con un presupuesto de construcción e instalación del sistema de tratamiento avanzado por electrodiálisis de \$ 9 412. Cabe recalcar que los a pesar del alto costo de CAPEX en comparación con el OPEX, este último es muy bajo con un valor de \$538.00 por concepto de operación y mantenimiento del sistema de tratamiento avanzado por electrodiálisis.

Tabla 5.1. Presupuesto referencial por cada etapa del proyecto.

PRESUPUESTO REFERENCIAL POR ETAPA DEL PROYECTO	
ETAPA DE PROYECTO	COSTO
1. Experimentación y diseño	\$ 1,050.00
2. Obras preliminares	\$ 72.85
3. Construcción e instalación	\$ 9,412.00
4. Operación y mantenimiento	\$ 538.00
5. Plan de manejo ambiental	\$ 2,080.40
TOTAL	\$ 13,153.25

El consumo energético del sistema de tratamiento avanzado para desalinizar agua de conductividades menores a 5000 uS/cm es de por cada m³ de agua a tratarse.

5.4 Descripción de cantidades de obra

Para el presente proyecto se estiman valores para el sistema de tratamiento avanzado de agua, sin embargo, cabe recalcar que este proyecto se encarga del diseño de los parámetros del sistema de tratamiento, no abarca estudios de suelo ni diseños estructurales al ser una tecnología innovadora en el país. Motivo por el cual las cantidades de obra podría ser mayores o viceversa, es decir no son representativas. Los esquemas realizados no dan una estimación precisa de dichas cantidades, motivo por el cual se deberá realizar estudios posteriores que establezcan las cantidades idóneas para un área correcta ejecución.

5.5 Valoración integral del costo del proyecto incluyendo las medidas de prevención y mitigación del impacto ambiental

En la valoración integral del costo del proyecto, se ha identificado las actividades involucradas en el desarrollo de este por fases, estas se encuentran detalladas en la sección 5.1 en la estructura de desglose de trabajo. En Tabla 5.2. encontramos el presupuesto referencial del proyecto de acuerdo con las fases mencionadas.

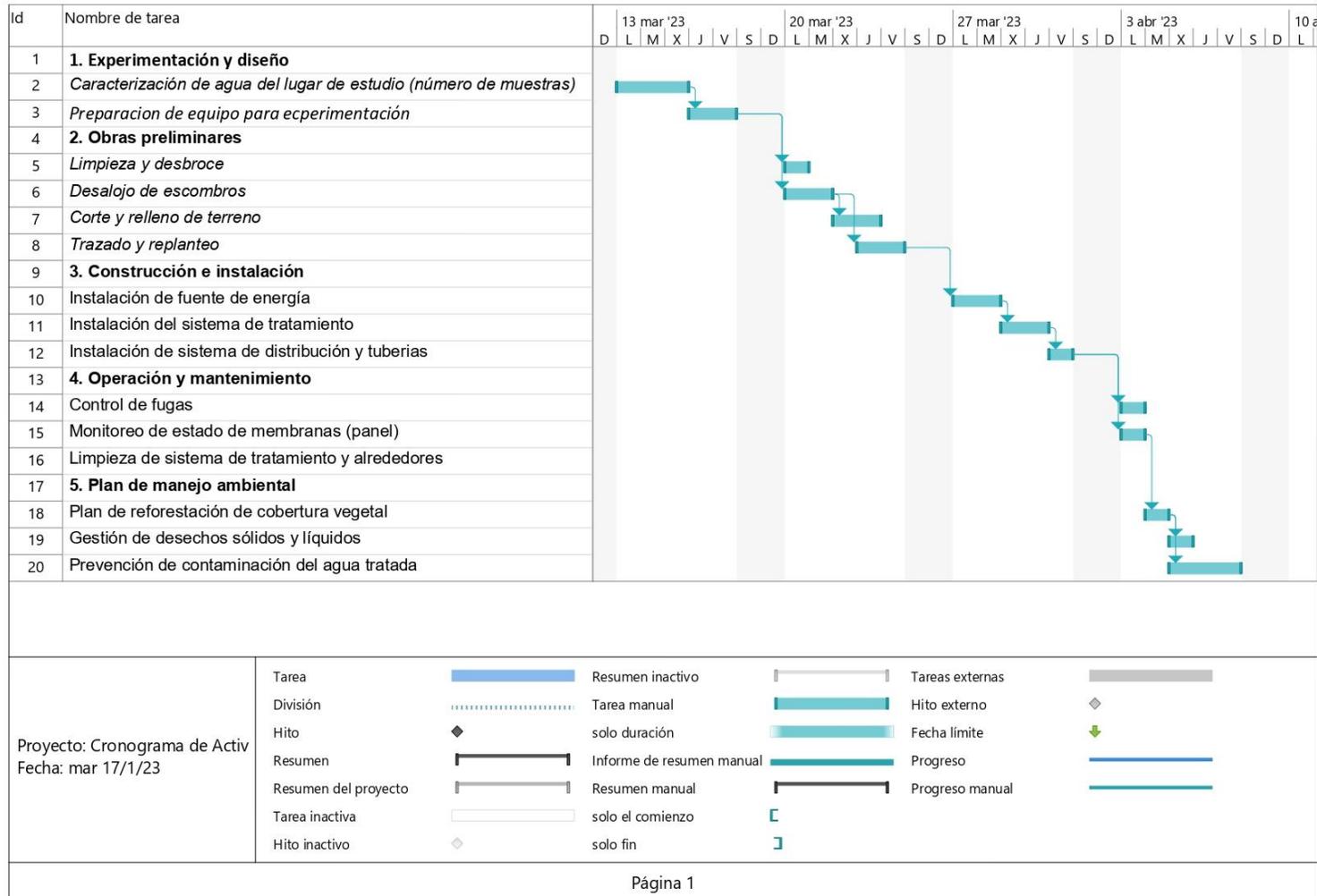
Tabla 5.2 Presupuesto referencial del proyecto por fase.

PRESUPUESTO REFERENCIAL DE OBRA					
RUBRO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	
				UNITARIO	TOTAL
1. Experimentación y diseño					
1.1.	Caracterización de agua del lugar de estudio (número de muestras)	Muestra	2	\$75.00	\$150.00
1.2.	Equipo de laboratorio para experimentación	Equipo	1	\$900.00	\$900.00
2. Obras preliminares					
2.1.	Limpieza y desbroce	m2	35	\$0.47	\$16.45
2.2.	Desalojo de escombros	m3	5	\$1.44	\$7.20
2.3.	Corte y relleno de terreno	m3	7	\$1.20	\$8.40
2.4.	Trazado y replanteo	m2	30	\$1.36	\$40.80
3. Construcción e instalación					
3.1.	Instalación de fuente de energía	unidad	1	\$3,984.00	\$3,984.00
3.2.	Instalación del sistema de tratamiento	Sistema	1	\$5,400.00	\$5,400.00
3.3.	Instalación de sistema de distribución y sanitario	m	25	\$1.12	\$28.00
4. Operación y mantenimiento					
4.1.	Control de fugas	unidad	25	\$0.26	\$6.50
4.2.	Monitoreo de estado de membranas (panel)	Panel	1	\$500.00	\$500.00
4.3.	Limpieza de sistema de tratamiento y alrededores	m	14	\$2.25	\$31.50
5. Plan de manejo ambiental					
5.1.	Plan de reforestación de cobertura vegetal	m	155	\$12.50	\$1,937.50
5.2.	Gestión de desechos sólidos y líquidos	m3	250	\$0.25	\$62.50
5.3.	Prevención de contaminación del agua tratada	m	60	\$1.34	\$80.40

TOTAL	\$ 13,153.25
--------------	---------------------

5.6 Cronograma de Actividades

A continuación, se presenta el cronograma de los rubros del presente proyecto.



CAPÍTULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

1. El abastecimiento de agua en el área de estudio se realiza mediante fuentes subterráneas, bombeando agua para uso en actividades domésticas y de consumo. No obstante, el agua del sitio es salobre, presenta elevados rangos de conductividad eléctrica entre [2500-5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$] y un alto contenido en iones Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ . Para desalinizar el agua y que sea apta para el consumo humano acorde a criterio de conductividad de 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y de 500-600 mg/L de SDT establecidos por la OMS e INEN 1106 respectivamente, se investigaron tres tipos de tecnologías avanzadas de tratamiento de agua con propósito de desalinización. La electrocoagulación, aunque el consumo energético era de 0.16 KWh/m³ a un costo de \$0.02 por m³, esta generaba lodos como subproducto y presentaba una baja eficiencia de desalinización, 12.82 %. El sistema de ósmosis inversa, aunque el porcentaje de remoción de sales es del 99.92 % el consumo energético fue elevado con 2.36 kWh/m³ a un costo de \$0.22 por cada m³ de agua tratada. Finalmente, el sistema de electrodiálisis desalinizó el agua con un consumo energético de 1.24 KWh/m³ y un costo de \$0.11 por cada m³ de agua tratada con un porcentaje de recuperación de 50%.

2. El proceso de investigación determinó que el sistema con más ventajas fue el de electrodiálisis debido al bajo consumo energético, el concentrado de sales que se genera no es perjudicial (salmuera) y los subproductos en el efluente del concentrado puede ser aprovechado con fines de comercialización. El agua tratada con el proceso de electrodiálisis alcanza concentraciones de CE Y SDT recomendados por la OMS para consumo humano.

3. El volumen de agua a tratar por el stack era desconocido por lo cual se experimentó inicialmente con condiciones de 100 ml de volumen con un Q de 10, 50, 100 ml/min en la cual se determinó que, aunque aplicando un mayor voltaje de 8-10 V la tasa de desalinización no variaba con el tiempo, es decir, utilizar mayor energía en el sistema, pero no necesariamente implica una mayor tasa de desalinización. Sin embargo, con

el volumen tratado, aumentando el caudal este aumentaba la tasa de desalinización en un promedio 4.2 veces por lo cual, el volumen óptimo a tratar fue de 500 ml con un voltaje de 6 V y un Q de 100 ml/min en un tiempo de 80 minutos de desalinización, en el cual el consumo energético generado fue de $0,94 \frac{KWh}{m^3}$ con un costo de \$0.08 por m^3 de agua a tratar. Por esta razón, el sistema puede ser implementado in situ mediante un panel solar, debido a que requiere un bajo consumo energético, lo que le convierte en un proyecto sostenible, sustentable y eco amigable.

4. A partir del voltaje, caudal y volumen óptimo de 6 V, 100 ml/min y 500 ml respectivamente se procedió a variar la tasa de recuperación en la cual, se experimentó con tasas de 60, 70 y 80% de recuperación en la cual el sistema optimizado fue de 80 % debido a que se trató un mayor volumen de agua, es decir 800 ml de permeado y tan solo 200 ml de concentrado en la cual se obtuvo un consumo energético de $0,866 \frac{KWh}{m^3}$ con un costo de \$0,08 por m^3 de agua a tratar con una intensidad aplicada en el sistema de 0,0815 A.

5. Se realizaron ensayos para la medición de nutrientes aplicando 6 V, un caudal de 100 mL/min y se trató un volumen total de 1000 mL (permeado + concentrado). El volumen tratado varió acorde al porcentaje de recuperación aplicado. Por ejemplo, con un 80% de recuperación 800 ml correspondieron al permeado y el resto al concentrado. Esto con el objetivo de determinar la cantidad de nutrientes de Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} generados mediante la tecnología de electrodiálisis. Estos nutrientes podrían aprovecharse comercialmente y generar beneficio económico para la población.

6.2 Recomendaciones

1. Realizar la experimentación con tecnología avanzada de electrodiálisis con otro punto de agua muestreada con el objetivo de obtener una comparación entre los datos proporcionados, con su consumo y eficiencia energética, para generar información y data que sirvan de base para implementación del sistema de desalinización en comunidades del Ecuador.
2. Revisar la configuración y conexión de los electrodos antes de la aplicación del voltaje para la ejecución de la experimentación, con el propósito de realizar de manera correcta la desalinización.
3. Realizar el armado del stack y la experimentación con más pares de membranas con el objetivo de ver el gradiente de desalinización y el tiempo empleado para alcanzar los límites establecidos de 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y conocer el volumen óptimo que desaliniza el stack de estudio.
4. Diseñar el tratamiento avanzado de electrodiálisis a nivel de planta piloto con el objetivo de planificar el caudal necesario y tamaño-pares de membranas que se utilizarían para abastecer a una comunidad o sector.
5. Realizar análisis de iones mayoritarios del agua tratada para conocer que iones han sido removidos y en qué porcentaje para conocer si cumplen con los límites estipulados de agua potable por la OMS e INEN 1106.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUA PARA CONSUMO HUMANO REQUISITOS 1. OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN. (n.d.).
- CUARTA EDICIÓN QUE INCORPORA LA PRIMERA ADENDA CUARTA EDICIÓN QUE INCORPORA LA PRIMERA ADENDA Guías para la calidad del agua de consumo humano. (n.d.). <http://apps.who.int/>
- FilmTec™ Fiberglassed Elements for Light Industrial Systems Product Data Sheet. (2020).
- García-Garizábal, I., Romero, P., Jiménez, S., & Jordá, L. (2017). Climate change effects on the climate dynamics of Coastal Ecuador. *DYNA (Colombia)*, 84(203), 37–44. <https://doi.org/10.15446/dyna.v84n203.59600>
- Greenlee, L. F., Lawler, D. F., Freeman, B. D., Marrot, B., & Moulin, P. (2009). Reverse osmosis desalination: Water sources, technology, and today's challenges. *Water Research*, 43(9), 2317–2348. <https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2009.03.010>
- Grueso-Domínguez, M. C., Castro-Jiménez, C. C., Correa-Ochoa, M. A., & Saldarriaga-Molina, J. C. (2019a). Estado del arte: desalinización mediante tecnologías de membrana como alternativa frente al problema de escasez de agua dulce. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 18(35), 69–89. <https://doi.org/10.22395/rium.v18n35a5>
- Jones, E., Qadir, M., van Vliet, M. T. H., Smakhtin, V., & Kang, S. mu. (2019). The state of desalination and brine production: A global outlook. In *Science of the Total Environment* (Vol. 657, pp. 1343–1356). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.076>
- Lenntech. (n.d.). ED-Reversal-Electrodialysis-ZLD-Lenntech.
- Morad, M. M., El-Maghawry, H. A. M., & Wasfy, K. I. (2017). A developed solar-powered desalination system for enhancing freshwater productivity. *Solar Energy*, 146, 20–29. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.02.002>
- Organización Mundial de la Salud. (2022, March 21). Agua para consumo humano. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Patel, S. K., Biesheuvel, P. M., & Elimelech, M. (2021). Energy Consumption of Brackish Water Desalination: Identifying the Sweet Spots for Electrodialysis and Reverse Osmosis. *ACS ES&T Engineering*, 1(5), 851–864. <https://doi.org/10.1021/acsestengg.0c00192>

PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA PARROQUIA CHANDUY. (2020).

Tan, N. P. B., Ucab, P. M. L., Dadol, G. C., Jabile, L. M., Talili, I. N., & Cabaraban, M. T. I. (2022). A review of desalination technologies and its impact in the Philippines. In *Desalination* (Vol. 534). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2022.115805>

Zapotal De La Península De Santa Elena, J. Y., & Mauricio Rodríguez Ayala, C. (n.d.). "CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LAS CUENCAS DE LOS RIOS.