

# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

## **Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra**

Optimización del sistema avanzado de tratamiento de agua, II etapa, con fines de desalinización en la comunidad de Chanduy

### **PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

#### **Ingeniero Civil**

Presentado por:

Doménica Alejandra Urdánigo Bustamante

Steeven Joffre Verdezoto Intriago

**GUAYAQUIL - ECUADOR**

**I PAO 2023**

## **DEDICATORIA**

A mi amado esposo, por tu apoyo incondicional y tu paciencia. Eres mi pilar.

A mis padres, este logro también es de ustedes. Gracias por su sacrificio e inmenso amor. Cada día los extraño muchísimo, pero sé que pronto estaremos juntos.

A mis hermanos, que han estado presentes en cada etapa de mi vida, y me han dado su cariño y apoyo siempre.

A mis suegros, gracias por recibirme en su hogar como a una hija. Sin duda su apoyo en esta etapa ha sido una bendición.

A mi Minita, sus oraciones guían e iluminan mi camino. Sus palabras de aliento no me dejaron decaer ni en los momentos más difíciles.

**Doménica Urdánigo Bustamante**

## DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mis padres, Joffre y Nubis, por todo su amor, motivación y sacrificio. A mis abuelos que siempre me impulsaron a continuar. A mis tíos por el inmenso apoyo en cada etapa, a mis hermanos para que nunca pierdan el norte. A mi novia, Naihaby, por su apoyo incondicional y sus palabras de aliento cuando el camino era cuesta arriba. A todos mis docentes, en especial al MSc. Carlos Toscano y a Mary Lut Haón Ph.D., por inculcarme el hábito de aprender. A mi compañera de tesis, por la paciencia durante esta travesía. A mis colegas: Andrea Castillo, Amilcar Valdiviezo, Oswaldo Vélez, Fabricio Mogro y Gabriel Garcés por aquellos momentos que compartimos en las aulas y regalaron gratos recuerdos de la universidad.

**Steeven Verdezoto Intriago**

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, gracias a Dios por darme salud y fortaleza para perseverar y poder concluir mis estudios universitarios.

Un agradecimiento especial a mis tutores, PhD. Priscila Valverde y PhD. Leonardo Gutiérrez, por impartir en nosotros sus conocimientos y sabiduría. Sin su guía no hubiera sido posible el desarrollo de este proyecto integrador.

Al Ing. Cristhian Aguilar, Ing. Jonathan Mendez, Ing. Cindy Goyburo, y la Ing. Angie Medina, por su orientación y apoyo durante la experimentación en el laboratorio de sanitarias.

Y a mis compañeros de facultad, amigos y colegas para toda la vida, Andrea, Kim, Gabriel, Fabricio, Steeven, Fabian, Amilcar, Juan Andrés, extrañaré verlos en la universidad, pero estoy segura de que nos esperan grandes cosas por venir. Gracias infinitas por su apoyo.

**Doménica Urdánigo Bustamante**

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento en primer lugar a Dios, por darme la voluntad y fortaleza para superar cada obstáculo que se presentó en el camino. A nuestra tutora por su dedicación y guía durante el proceso. Al profesor Leonardo Gutiérrez de la Universidad de Gent por su predisposición para ayudarnos a ampliar nuestros conocimientos sobre la tecnología de membranas. Y al Ing. Cristian Aguilar, técnico docente del Laboratorio de Sanitarias por sus directrices y recomendaciones durante la etapa de experimentación del proyecto.

**Steeven Verdezoto Intriago**

## Declaración Expresa

---

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Urdánigo Bustamante Doménica Alejandra y Verdezoto Intriago Steeven Joffre*, 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”



---

Doménica Alejandra  
Urdánigo Bustamante



---

Steeven Joffre  
Verdezoto Intriago

# EVALUADORES



Firmado electrónicamente por:  
**PRISCILA ESTEFANIA  
VALVERDE ARMAS**

---

**MSc. Ingrid Orta Zambrano**

PROFESOR DE LA MATERIA

---

**Priscila Valverde Armas, PhD.**

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

Chanduy, en Santa Elena, Ecuador, es una región semiárida con escasez de agua superficial. Aproximadamente el 44.26% de su población depende de fuentes subterráneas, pero la alta concentración de sales en el agua [3000 – 5000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ] limita su consumo. El objetivo del proyecto es optimizar el diseño de un sistema de tratamiento avanzado de agua, con fines de desalinización, para producir agua que cumpla con lo estipulado por la Organización Mundial de la Salud de 800  $\mu\text{S}/\text{cm}$  contribuyendo al ODS 6. La metodología empleada consistió en realizar trabajo de campo donde se recolectaron muestras y se midieron parámetros fisicoquímicos del agua. La siguiente etapa, consistió en trabajo de laboratorio, donde se experimentó con tres alternativas: ósmosis inversa, electrodiálisis coflow, y electrodiálisis crossflow; para evaluar parámetros técnicos, económicos, sociales y ambientales. En la fase de análisis de resultados se determinó que electrodiálisis con un régimen de flujo en crossflow, presentó la relación costo-beneficio más favorable. Además, la etapa de optimización evidenció que aumentar el caudal beneficia el tiempo de operación, tasa de desalinización; mientras que tratar un mayor volumen de agua mejora el consumo energético. En conclusión, el diseño del sistema de electrodiálisis se optimiza al aplicar 6 V, utilizando un caudal de 400 ml/min y tratando 2 L de agua. Obteniendo una tasa de desalinización de -39.70  $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{min}$  en un tiempo de 120 minutos, energía específica de 1.53 kWh/m<sup>3</sup>, y un costo energético estimado en \$0.15/m<sup>3</sup>. Estos resultados son prometedores en términos de escalabilidad y aplicables a comunidades vulnerables.

**Palabras Clave:** Electrodiálisis, Crossflow, Tasa de Desalinización, Energía Específica, Porcentaje de Recuperación.

## ABSTRACT

*Chanduy, in Santa Elena, Ecuador, is a semi-arid region with a shortage of surface water. Approximately 44.26% of its population relies on groundwater sources, but the high salt concentration in the water [3000 - 5000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ] limits its consumption. The aim of the project is to optimize the design of an advanced water treatment system, for desalination purposes, to produce water that meets the World Health Organization's standard of 800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , contributing to SDG 6. The methodology employed involved fieldwork where water samples were collected, and physicochemical parameters of the water were measured. The next stage involved laboratory work, where three alternatives were experimented with: reverse osmosis, co-flow electrodialysis, and crossflow electrodialysis; to evaluate technical, economic, social, and environmental parameters. In the results analysis phase, it was determined that electrodialysis with a crossflow flow regime presented the most favorable cost-benefit ratio. Furthermore, the optimization stage showed that increasing the flow rate benefits operation time and desalination rate, while treating a larger volume of water improves energy consumption. In conclusion, the design of the electrodialysis system is optimized by applying 6 V, using a flow rate of 400 ml/min, and treating 2 L of water. This results in a desalination rate of -39.70  $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{min}$  over a period of 120 minutes, specific energy consumption of 1.53 kWh/m<sup>3</sup>, and an estimated energy cost of \$0.15/m<sup>3</sup>. These results are promising in terms of scalability and applicability to vulnerable communities.*

*Keywords: Electrodialysis, Crossflow, Desalination Rate, Specific Energy, Recovery Percentage.*

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	2
EVALUADORES.....	7
RESUMEN .....	1
ABSTRACT .....	2
ÍNDICE GENERAL .....	3
CAPÍTULO 1 .....	17
1. INTRODUCCIÓN .....	17
1.1 Antecedentes .....	17
1.2 Presentación general del problema .....	18
1.3 Justificación del problema .....	21
1.4 Objetivos .....	23
1.4.1 Objetivo General.....	23
1.4.2 Objetivos Específicos.....	24
CAPÍTULO 2 .....	25
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
2.1 Revisión de literatura.....	25
2.1.1 Tecnologías de desalinización .....	25
2.1.2 Ósmosis Inversa .....	27
2.1.3 Electrodialisis.....	29
2.2 Área de estudio .....	31
2.2.1 Ubicación .....	31
2.2.2 Recursos hídricos .....	31
2.2.3 Clima .....	33
2.2.4 Balance de agua.....	34

2.2.5	Geología .....	34
2.2.6	Abastecimiento de agua .....	36
2.3	Trabajo de campo y laboratorio .....	37
2.3.1	Muestreo.....	37
2.3.2	Medición parámetros fisicoquímicos en campo.....	38
2.3.3	Análisis de iones.....	38
2.3.3.1	Titulación volumétrica .....	39
2.3.3.2	Espectrofotometría .....	40
2.3.3.3	Potenciometría con sonda HACH .....	42
2.3.4	Experimentación con tecnologías de tratamiento avanzado de desalinización .....	42
2.3.4.1	Ósmosis Inversa .....	42
2.3.4.2	Electrodialisis.....	44
2.3.4.3	Plan de trabajo experimental .....	47
2.4	Análisis de datos .....	48
2.4.1	Balace iónico .....	48
2.4.2	Diagramas .....	48
2.4.3	Software .....	49
2.5	Análisis de alternativas.....	49
2.5.1	Propuesta de alternativas .....	49
2.5.2	Criterios de evaluación de las alternativas .....	49
2.5.3	Alternativa 1: Ósmosis Inversa .....	51
2.5.3.1	Técnico.....	51
2.5.3.2	Económico.....	53
2.5.3.3	Social.....	53
2.5.3.4	Ambiental .....	54

2.5.4	Alternativa 2: Electrodiálisis (Coflow)	55
2.5.4.1	Técnico	55
2.5.4.2	Económico	57
2.5.4.3	Social	58
2.5.4.4	Ambiental	58
2.5.5	Alternativa 3: Electrodiálisis (Crossflow)	59
2.5.5.1	Técnico	59
2.5.5.2	Económico	61
2.5.5.3	Social	62
2.5.5.4	Ambiental	62
2.5.6	Selección de alternativa óptima	62
CAPÍTULO 3		65
3.	DISEÑOS Y ESPECIFICACIONES	65
3.1	Diseños	65
3.1.1	Población futura	65
3.1.1.1	Método Exponencial	65
3.1.1.2	Método Geométrico	66
3.1.1.3	Método Aritmético	67
3.1.1.4	Población de diseño	68
3.1.2	Dotación de diseño	69
3.1.3	Caudal de diseño	69
3.1.4	Medición de parámetros in-situ	71
3.1.5	Medición de parámetros en laboratorio	71
3.1.6	Diseño de sistemas de pretratamiento y postratamiento	74
3.1.6.1	Filtración multimedia	74
3.1.6.2	Tanque de almacenamiento	76

3.1.6.3	Piscina de sedimentación de salmueras .....	77
3.2	Optimización del sistema de electrodiálisis.....	81
3.2.1	Efecto de variación de caudal sobre tasa de desalinización y tiempo de operación .....	81
3.2.2	Efecto de la variación de caudal en el consumo energético .....	85
3.2.3	Pruebas iniciales de escalabilidad piloto .....	87
3.2.4	Escalabilidad del volumen de agua a tratar en el sistema de electrodiálisis .....	89
3.2.5	Porcentaje de recuperación real .....	91
3.3	Especificaciones técnicas.....	94
CAPÍTULO 4	.....	95
4.	ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL.....	95
4.1	Descripción del proyecto .....	95
4.2	Línea base ambiental .....	95
4.2.1	Clima .....	96
4.2.2	Hidrosfera .....	96
4.2.3	Litósfera.....	97
4.2.4	Uso de Suelo .....	97
4.2.5	Flora .....	98
4.2.6	Fauna .....	100
4.3	Actividades del proyecto.....	100
4.3.1	Construcción.....	100
4.3.2	Operación y mantenimiento .....	101
4.3.3	Cierre.....	101
4.4	Identificación de impactos ambientales .....	103
4.4.1	Regularización ambiental nacional.....	103

4.4.2	Caracterización de los impactos ambientales .....	104
4.5	Valoración de impactos ambientales .....	113
4.6	Medidas de prevención/mitigación .....	116
CAPÍTULO 5	.....	121
5.	PRESUPUESTO.....	121
5.1	Estructura Desglosada de Trabajo .....	121
5.2	Rubros y análisis de precios unitarios .....	123
5.3	Descripción de cantidades de obra .....	125
5.4	Valoración integral del costo del proyecto .....	125
5.5	Cronograma de obra .....	127
CAPÍTULO 6	.....	131
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	131
6.1	Conclusiones.....	131
6.2	Recomendaciones.....	133
BIBLIOGRAFÍA	.....	134
ANEXOS	.....	138

## ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ED	Electrodialisis
OI	Ósmosis Inversa
UF	Ultrafiltración
CE	Conductividad eléctrica
STD	Sólidos totales disueltos
pH	Potencial de Hidrógeno
T	Temperatura
Q	Caudal
ODS	Objetivo Desarrollo Sostenible
OMS	Organización Mundial de la Salud
CEM	Membrana intercambio catiónico
AEM	Membrana intercambio aniónico
INAHMI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
SENAGUA	Secretaria Nacional del agua
INEN	Servicio Ecuatoriano de Normalización
WAVE	Water Application Value Engine
GAD	Gobierno Autónomo Descentralizado
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
AECID	Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo
LMP	Límite máximo permisible
%ED	Porcentaje eficiencia desalinización
TD	Tasa de desalinización
EE	Energía Específica
PDOT	Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial
PMA	Plan de Manejo Ambiental

## SIMBOLOGÍA

cm	Centímetro
mg	Miligramo
L	Litro
$\mu\text{S}$	Microsiemens
A	Amperios
V	Voltios
kWh	Kilowatts
$\text{Mg}^{2+}$	Magnesio
$\text{Ca}^{2+}$	Calcio
$\text{SO}_4^{2-}$	Sulfatos
$\text{NO}_3^-$	Nitratos
$\text{NO}_2^-$	Nitritos
$\text{Na}^+$	Sodio
$\text{K}^+$	Potasio
$\text{Cl}^-$	Cloro
$\text{HCO}_3^-$	Bicarbonatos
$\text{H}_2\text{SO}_4^-$	Ácido Sulfúrico
$\text{CaCO}_3$	Carbonato de calcio
EDTA	Etilendiaminotetraacético
TOC	Carbono orgánico total
SST	Sólidos suspendidos totales

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Distribución del agua en el planeta Tierra [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	19
Figura 1.2 Sistema de desalinización instalado en el Tajamar Oriental de Bocas de Ceniza [Palacin Salcedo y Montenegro Fresneda, 2018].	20
Figura 1.3 Celda electrolítica usada en la experimentación con el tratamiento de agua	21
Figura 1.4: Metas del ODS 6 “Agua Limpia y Saneamiento” [ALMAGRA, 2019].	22
Figura 2.1 Diferencia de tamaños de poros de membranas de ultrafiltración, ósmosis inversa y electrodiálisis [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	26
Figura 2.2 Diagrama del transporte de agua en ósmosis inversa [Urdánigo y Verdezoto, 2023]	27
Figura 2.3 Modelo de distribución del agua a través de una membrana anisotrópica de ósmosis inversa [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	28
Figura 2.4 Esquema de una membrana eléctricamente cargada [Barker R., 2012].	29
Figura 2.5 Modelo del transporte de iones $\text{Cl}^-$ y $\text{Na}^+$ en membranas eléctricamente cargadas para el sistema de electrodiálisis [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	30
Figura 2.6 Mapa de área de estudio y sus recursos hídricos. Parroquia Chanduy, provincia Santa Elena, Ecuador [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	31
Figura 2.7: Río intermitente en la comuna Manantial de Chanduy [Urdánigo y Verdezoto, 2023]	32
Figura 2.8 Usos de la captación del agua subterránea en la parroquia Chanduy [GAD Chanduy, 2020]	32
Figura 2.9 Mapa de Isoyetas de Ecuador, Anuario 2013 [Inahmi, 2013].	33
Figura 2.10 Mapa de formaciones geológicas de la cuenca del río Zapotal, provincia de Santa Elena [Urdánigo y Verdezoto, 2023]	36
Figura 2.11 Punto de muestreo del pozo “Adela”, parroquia Chanduy, provincia Santa Elena. Coordenadas (-2.378015,-80.690269) [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	37
Figura 2.12 Medición de parámetros fisicoquímicos in situ del agua del pozo “Adela” [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	38
Figura 2.13 Análisis de iones mediante titulación volumétrica en laboratorio de sanitaria de ESPOL [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	40

Figura 2.14 Análisis de iones mediante espectrofotometría en laboratorio de sanitaria de ESPOL [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	41
Figura 2.15 Esquema de planta piloto de ósmosis inversa [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	43
Figura 2.16 Panel de control de planta piloto de ósmosis inversa [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	44
Figura 2.17 Configuración del stack de electrodiálisis para un flujo en coflow [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	45
Figura 2.18 Esquema del sistema de tratamiento de electrodiálisis [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	45
Figura 2.19 Modelo matemático de la tendencia de desalinización del agua permeada producto de ósmosis inversa [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	52
Figura 2.20 Modelo matemático de la tendencia de concentración de sales en el agua de rechazo producto de ósmosis inversa [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	55
Figura 2.21 Variación de los SDT en relación con el tiempo, para agua de permeado y rechazo en electrodiálisis (coflow) [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	56
Figura 2.22 Variación de la CE en relación con el tiempo, para la determinación de tasas de permeado y concentrado en electrodiálisis (coflow) [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	57
Figura 2.23 Variación de los SDT en relación con el tiempo, para agua de permeado y rechazo en electrodiálisis (crossflow) [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	60
Figura 2.24 Variación de la CE en relación con el tiempo, para la determinación de tasas de permeado y concentrado en electrodiálisis (crossflow) [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	60
Figura 2.25 Esquema radial de las fortalezas y limitaciones de los factores evaluados en cada alternativa de desalinización [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	63
Figura 3.1 Estimación del crecimiento poblacional de la parroquia Chanduy, desde el año 1990 hasta 2050; métodos exponencial, geométrico y aritmético [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	68
Figura 3.2 Caudales de diseño para la planta descentralizada de ED a ser implementada en Chanduy [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	70

Figura 3.3 Diagrama de Stiff del pozo "Adela" que muestra el tipo de agua de la zona de estudio [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	73
Figura 3.4 Esquema del filtro multimedia para pretratamiento de agua subterránea [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	75
Figura 3.5 Dimensionamiento de tanque de almacenamiento para el agua permeada [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	77
Figura 3.6 Dimensionamiento de piscinas de evaporación de salmueras para postratamiento de agua de rechazo [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	79
Figura 3.7 Diagrama del tren de tratamiento de la planta de desalinización utilizando electrodiálisis.	80
Figura 3.8 Efecto de la variación de caudal en la tasa de desalinización de electrodiálisis (crossflow), con volumen constante de 1000 ml [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	82
Figura 3.9 Incidencia de la variación del caudal en la disminución de la concentración de los SDT a través del tiempo, con volumen constante de 1000 ml [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	83
Figura 3.10 Efecto de la variación de caudal en la tasa de desalinización de electrodiálisis (crossflow), con volumen constante de 2000 ml [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	84
Figura 3.11 Incidencia de la variación del caudal en la disminución de la concentración de los SDT a través del tiempo, con volumen constante de 2000 ml [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	85
Figura 3.12 Influencia de la variación del caudal en la intensidad de corriente obtenida del proceso de desalinización, con un volumen constante de 1000 ml [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	86
Figura 3.13 Influencia de la variación del caudal en la intensidad de corriente obtenida del proceso de desalinización, con un volumen constante de 2000 ml [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	88
Figura 3.14 Efecto de la variación de volumen en la tasa de desalinización, para un caudal constante de 400 ml/min [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	90

Figura 3.15 Influencia de la variación del volumen en la intensidad de corriente obtenida del proceso de desalinización, con un caudal constante de 400 ml/min [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	91
Figura 3.16 Efecto de la variación del volumen y el caudal en el porcentaje de recuperación real del agua permeada en el sistema de ED [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	93
Figura 4.1: Mapa de Uso de Suelo en la parroquia Chanduy, Santa Elena [GAD Chanduy, 2020].	98
Figura 4.2 Mapa de cobertura vegetal de la parroquia Chanduy [GAD Chanduy, 2020].	99
Figura 4.3 Programa Socio Bosque en la comuna Engunga, parroquia Chanduy [GAD Chanduy, 2020].	99
Figura 4.4 Trámite de regulación ambiental por medio del SUIA para determinación de nivel de impacto [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	103
Figura 5.1 Estructura Desglosada de Trabajo [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	122
Figura 5.2: Cronograma de obra – página 1 [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	128
Figura 5.3: Cronograma de obra – página 2 [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	129
Figura 5.4 Cronograma de obra – página 3 [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	130

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Conversiones para obtener concentración de iones $Mg^{2+}$ y $Ca^{2+}$ [Método HACH].	39
Tabla 2.2: Cronograma de experimentación en laboratorio con tecnologías de desalinización del agua [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	47
Tabla 2.3: Criterios y factores de evaluación para selección de alternativa óptima de tratamiento de agua salobre [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	50
Tabla 2.4 Porcentaje de ponderación de cada factor para la evaluación de alternativas, junto con su puntuación correspondiente. [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	51
Tabla 2.5 Condiciones iniciales de experimentación con el tratamiento avanzado de desalinización mediante ósmosis inversa [Urdánigo y Verdezoto, 2023]	51
Tabla 2.6 Resultados de CE, STD, presión y caudal obtenidos del proceso de desalinización mediante ósmosis inversa [Urdánigo y Verdezoto, 2023]	52
Tabla 2.7 Porcentaje de eficiencia de desalinización del sistema de ósmosis inversa [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	54
Tabla 2.8 Puntuación asignada para cada factor de evaluación para la tecnología de desalinización mediante ósmosis inversa [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	55
Tabla 2.9 Resultados del balance de masa para obtención del porcentaje de recuperación real de agua permeada en electrodiálisis (coflow) [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	57
Tabla 2.10 Puntuación asignada para cada factor de evaluación para la tecnología de desalinización mediante electrodiálisis (coflow) [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	59
Tabla 2.11 Resultados del balance de masa para obtención del porcentaje de recuperación real de agua permeada en electrodiálisis (crossflow) [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	61
Tabla 2.12 Puntuación asignada para cada factor de evaluación para la tecnología de desalinización mediante electrodiálisis (crossflow) [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	62
Tabla 2.13 Comparación de las puntuaciones de las distintas alternativas en relación a sus ponderaciones individuales. [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	64
Tabla 3.1 Datos poblacionales de los últimos censos de la parroquia Chanduy, Santa Elena [INEC, 2023].	65

Tabla 3.2 Estimación de la población futura de Chanduy hasta el año 2049 mediante método exponencial [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	66
Tabla 3.3 Estimación de la población futura de Chanduy hasta el año 2049 mediante método geométrico [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	67
Tabla 3.4 Estimación de la población futura de Chanduy hasta el año 2049 mediante método aritmético [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	67
Tabla 3.5 Dotación media futura recomendada por la CPE INEN 5 [INEN, 1992].	69
Tabla 3.6 Parámetros fisicoquímicos medidos in situ al agua del pozo “Adela” [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	71
Tabla 3.7 Resultado del análisis de iones de la muestra de agua del pozo “Adela” [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	72
Tabla 3.8 Suma de aniones y cationes para cálculo de error de balance iónico [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	72
Tabla 3.9 Efecto de la variación de caudal en parámetros de diseño, manteniendo un volumen constante de 1000 ml [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	87
Tabla 3.10 Efecto de la variación de caudal en parámetros de diseño, manteniendo un volumen constante de 2000 ml [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	89
Tabla 4.1 Identificación de fases, labores y actividades a desarrollarse en el proyecto [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	102
Tabla 4.2 Tipos de autorizaciones ambientales [RCOA, 2019].	103
Tabla 4.3 Lista de control para planta desalinizadora de agua [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	104
Tabla 4.4 Criterios de valoración cualitativa para la matriz de Leopold [Tito, 2020].	105
Tabla 4.5 Ponderaciones para evaluación de importancia de la matriz de Leopold [Tito, 2020].	106
Tabla 4.6 Identificación de impactos ambientales positivos y negativos en Matriz de Leopold [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	108
Tabla 4.7 Identificación del nivel de magnitud de impactos ambientales en Matriz de Leopold [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	110
Tabla 4.8 Nivel de Importancia de impactos ambientales positivos y negativos en Matriz de Leopold [Urdánigo y Verdezoto, 2023].	112
Tabla 4.9 Escala de valoración cualitativa para la matriz de Leopold [Tito, 2020].	113

Tabla 4.10 Valoración cualitativa del impacto ambiental en Matriz de Leopold [Urdánigo y Verdezoto, 2023] .....	115
Tabla 4.11 Medidas de prevención/mitigación para impactos ambientales negativos [Urdánigo y Verdezoto, 2023] .....	117
Tabla 4.12 Plan de Manejo Ambiental [Urdánigo y Verdezoto, 2023] .....	120
Tabla 5.1 Análisis de Precios Unitarios [Urdánigo y Verdezoto, 2023].....	124
Tabla 5.2 Presupuesto referencial del costo de la implementación del sistema de tratamiento de agua, con fines de desalinización [Urdánigo y Verdezoto, 2023].....	126

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

Actualmente el agua para consumo humano se ve amenazada tanto en cantidad como en calidad por los efectos combinados de la contaminación ambiental y el calentamiento global (Salahudeen, 2022). Con el aumento en la temperatura mundial de 1.5°C anualmente (Atwoli et al., 2021), se ha dado paso a una crisis medioambiental con cambios extremos en el clima. Una de las consecuencias que ha generado el calentamiento global es la escasez de agua dulce en las regiones semiáridas y áridas del planeta.

Los asentamientos de las regiones semiáridas donde el agua dulce escasea, enfrentan constantemente distintos desafíos ligados a la falta del líquido vital ocasionando estrés hídrico en la zona, lo que se ve potenciado por el uso de la poca agua disponible en actividades agrícolas lo que se convierte en la lucha de las comunidades por conseguir alimentos. Otro desafío constante está relacionado con higiene y el saneamiento, pues la ausencia de agua potable potencia la proliferación de organismos patógenos que son perjudiciales para la salud (A4ID, 2022).

Por otra parte, el factor antropogénico también se presenta como problema, debido a que, a pesar de la limitada cantidad de agua dulce disponible en estos sectores, el ser humano y la desmesurada producción de desechos contamina las fuentes de agua (Villa et al., 2021). La descarga de contaminantes químicos provenientes de la industria a los cuerpos de agua, así como la acumulación de plásticos y la sobreexplotación de acuíferos, agravan el problema de escases en las zonas áridas.

Es por eso que día a día se buscan nuevas fuentes de agua dulce que cumplan con los parámetros de calidad que la cataloguen como apta para satisfacer las necesidades humanas y fomenten el desarrollo sostenible de las comunidades. Es aquí donde los

acuíferos subterráneos se presentan como alternativa para tratar de suplir la demanda del recurso hídrico (Chonlong et al., 2021).

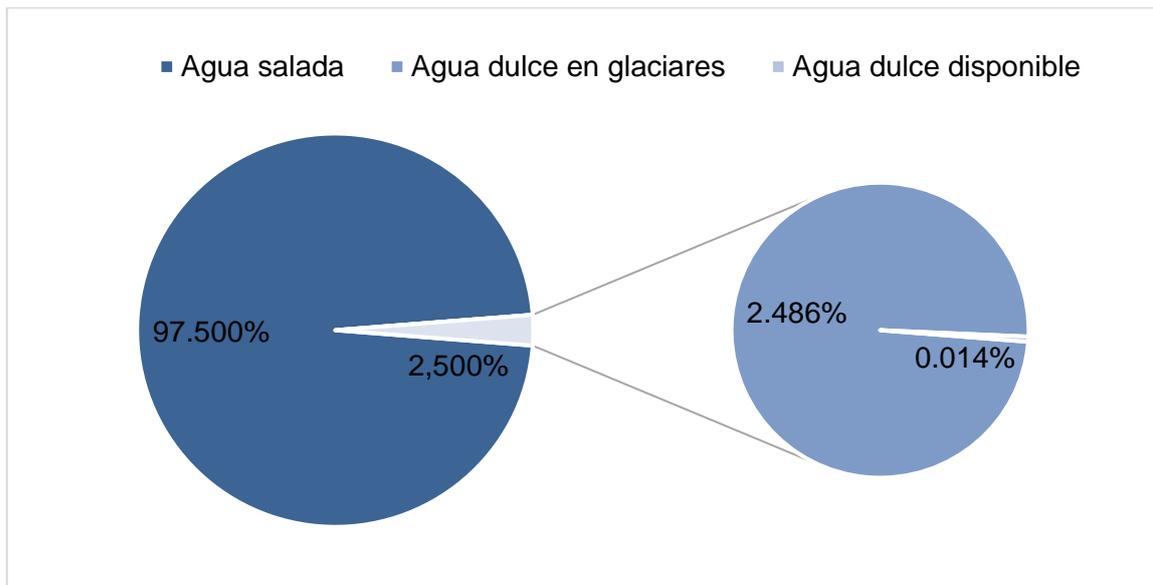
Alrededor del mundo, el agua subterránea se ha convertido en un recurso natural de gran importancia tanto para uso doméstico, industrial y agrícola. De allí que tanto países en vías de desarrollo, como países desarrollados, dependen de las fuentes subterráneas para abastecimiento (Panneerselvam et al., 2023). Sin embargo, la calidad del agua subterránea también se ve afectada por actividades antropológicas y geológicas (Çadraku et al., 2022).

Entre los factores que afectan la calidad de los acuíferos se pueden mencionar: interacción agua-roca, minerales, deslizamientos de tierras, inundaciones, variación de temperaturas y humedad, e intensidad de precipitaciones. Estos agentes pueden afectar la composición química del agua subterránea.

Para mitigar los efectos causados por todos estos agentes es importante la implementación de un tratamiento con el fin de mejorar la calidad del agua. Este tipo de sistemas buscan llevar a cabo una serie de procesos, como la desinfección, la eliminación de contaminantes químicos y la regulación del pH, con el objetivo de garantizar la calidad del agua y cumplir con los estándares de consumo establecidos por las normativas nacionales e internacionales (Panneerselvam et al., 2023).

## **1.2 Presentación general del problema**

El agua es esencial para la vida. Alrededor del 97.5% del agua proviene de océanos y mares, mientras que solo el 2.5% lo componen lagos, ríos, acuíferos y glaciares, del cual solo el 0.014% está al alcance directo de los seres humanos (Shatat & Riffat, 2014). Además, cerca de un tercio de la población rural de países en crecimiento vive en regiones áridas y semiáridas, con constante escasez de agua (Zapata-Sierra et al., 2022). De esta manera, surge la necesidad de buscar más fuentes que puedan suplir la demanda de agua de las poblaciones.



**Figura 1.1 Distribución del agua en el planeta Tierra [Urdánigo y Verdezoto, 2023].**

Más del 40% de la población mundial vive en un radio de 100 km de las costas (Zapata-Sierra et al., 2022), lo que implica que, para estas poblaciones densas que enfrentan problemas de escasez de agua dulce e infraestructura, pero que a su vez disponen de abundante agua salada, sea necesaria la implementación de tecnologías avanzadas de tratamiento de agua que permitan desalinizar el líquido vital para consumo doméstico, industrial y agrícola.

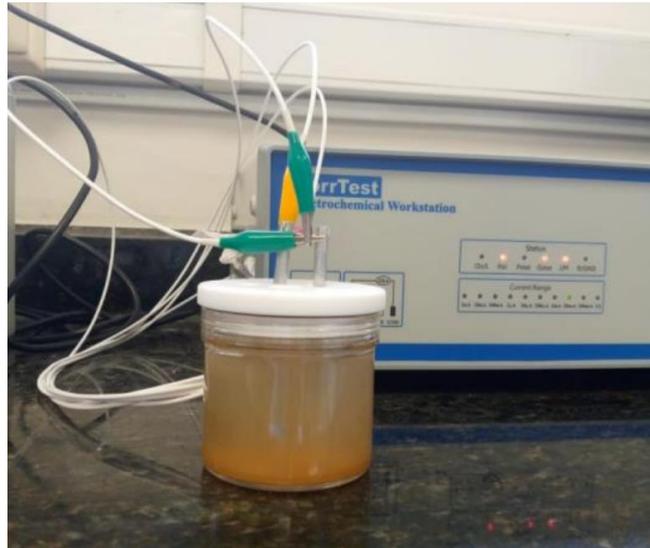
A nivel de Latinoamérica, distintos países han empleado diferentes tecnologías para desalinización de agua; por ejemplo, en México, se han desarrollado numerosas investigaciones en el campo de los procesos de desalinización, y se han implementado grandes plantas de ósmosis inversa para abastecer de agua a diferentes regiones semiáridas (Grueso-Dominguez et al., 2019). Mientras que, en una comunidad costera ubicada en el Tajar Oriental de Bocas de Ceniza, Colombia (Figura 1.2) también se ha estudiado la implementación de un sistema de desalinización por destilación simple (Palacin Salcedo y Montenegro Fresneda, 2018).



**Figura 1.2 Sistema de desalinización instalado en el Tajamar Oriental de Bocas de Ceniza [Palacin Salcedo y Montenegro Fresneda, 2018].**

La parroquia de Chanduy en Santa Elena, Ecuador, al ser una zona semiárida presenta escasez de agua superficial, por lo que el 44.26% de la población recurre a fuentes de agua subterránea (GAD Chanduy, 2020). Sin embargo, la alta concentración de sales, [3000 – 5000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ], restringe su consumo. Es por ello por lo que se proponen diferentes técnicas de tratamiento avanzado de agua, las cuales se han probado experimentalmente a nivel del Ecuador en la zona de estudio.

Una de las alternativas para tratar el agua es el sistema de electrocoagulación, el cual demostró un porcentaje de eficiencia en la remoción de sales del 12.82%, con un consumo energético 0.17  $\text{kWh}/\text{m}^3$  (Espinoza y Franco, 2022). Luego, se estudiaron los sistemas de ósmosis inversa y electrodiálisis como alternativas que permitan obtener mayor eficiencia de remoción de sales. Los resultados experimentales demostraron que el sistema de electrodiálisis puede convertirse en un proceso robusto en base a su capacidad de desalinización con un bajo consumo energético.



**Figura 1.3 Celda electrolítica usada en la experimentación con el tratamiento de agua mediante electrocoagulación [Espinoza y Franco, 2022].**

Cabe destacar que este tipo de tecnología no es lo suficientemente madura y se requiere de investigación más profunda con mayor experimentación, variando parámetros técnicos como el caudal, volumen, número de membranas, e incluso los tipos de flujo utilizados; para poder convertir estas alternativas desalinizadoras en soluciones prácticas y escalables que brinden las garantías necesarias que requieren las comunidades en términos de contenido de sales.

### **1.3 Justificación del problema**

El acceso al agua es un derecho fundamental básico de los seres humanos, reconocido en diversos tratados de derechos humanos; sin embargo, la realidad es que al menos 2200 millones de personas alrededor del mundo continúan enfrentando graves dificultades para acceder al líquido vital (UNICEF, 2019). Lo que tiene profundas implicaciones en varios aspectos de la vida humana y contribuye a una serie de problemáticas socioeconómicas.

Por un lado, limita las actividades económicas y agrícolas, generando estancamiento en el comercio e incertidumbre en la población. Por otro lado, la escasez de agua potable repercute en el saneamiento, lo que incide negativamente en la salud de las comunidades afectadas por la propagación de enfermedades transmitidas por el agua

(Cahui-Cahui et al., 2019). Además, estos factores pueden impulsar la migración de las personas de zonas rurales hacia las urbes en pro de mejorar su calidad de vida, frenando así el desarrollo de sus sectores de origen.

La falta de agua dulce es un problema que concierne a todo el planeta. Con el crecimiento poblacional, la demanda de agua crece, y por ende se debe procurar que todos los seres vivos tengan acceso a ella. La agenda de la ONU para el 2030 tiene como objetivo tomar acciones para frenar la pobreza, proteger el planeta, y asegurar paz y prosperidad para todas las personas. En específico, el Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 (ODS 6) busca que se garantice la disponibilidad del agua, su gestión sostenible y saneamiento para todos (A4ID, 2022).

En el marco del desarrollo de la presente investigación, se desea contribuir a los objetivos específicos de desarrollo sostenible 6.1, 6.3 y 6.4. Es decir que, con la implementación de un sistema optimizado de tratamiento de agua se logre: acceso al agua tratada (desalinizada); minimizando los productos concentrados de sales para aprovechar su uso con fines domésticos, comerciales y agrícolas; priorizando además el uso eficiente de los recursos energéticos disponibles de las comunidades para abastecerlas de agua dulce y minimizando el impacto ambiental.



**Figura 1.4: Metas del ODS 6 “Agua Limpia y Saneamiento” [ALMAGRA, 2019].**

Del mismo modo se debe gestionar e implementar infraestructuras que permitan a comunidades con escasez de agua dulce tener acceso a una mejor calidad de vida, salud y esperanza de vida; estas son acciones que deben ser atendidas urgentemente, ya que,

sin acceso al agua segura una población no puede prosperar. De acuerdo con Naciones Unidas (2016), el impacto de no invertir en agua y saneamiento sería grave tanto para las personas como para la economía. Por ejemplo, el Banco Mundial estima que el Producto Interno Bruto (PIB) de la India se reduce en un 6.4% por falta de saneamiento.

Es latente la necesidad de proponer un sistema avanzado de tratamiento (en términos de desalinización) de agua optimizado que pueda ser construido o implementado en la zona de estudio, en pro de resolver la problemática de escasez de agua dulce de la población de Chanduy, lo que mejorará sustancialmente la calidad de vida de la comunidad e impulsará el crecimiento económico generando mejores condiciones que fomenten el desarrollo sostenible.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

Optimizar el diseño de un sistema de tratamiento avanzado de agua con fines de desalinización, utilizando el criterio de sólidos disueltos totales recomendados por la OMS para consumo humano, a través de experimentación para beneficiar a la comunidad de Chanduy.

1. ¿Cuáles son las variables de diseño pertinentes que deben optimizarse en el sistema avanzado de tratamiento de agua?
2. ¿Qué condiciones experimentales se necesitan para obtener las variables de diseño optimizadas?
3. ¿Cuál es el nivel de desarrollo de la optimización del sistema avanzado de tratamiento de agua y cuál es la siguiente etapa?

#### **1.4.2      Objetivos Específicos**

1. Caracterizar el agua de la zona de estudio de la comunidad de Chanduy a través de análisis físicos-químicos para identificar la composición hidroquímica del agua de la zona de estudio.
2. Desalinizar el agua de la zona de estudio mediante tecnologías avanzadas de tratamiento de agua para seleccionar la tecnología que cumpla con los criterios técnicos, económicos, sociales y ambientales.
3. Optimizar la tecnología avanzada de tratamiento de agua seleccionada mediante experimentación para establecer los parámetros óptimos de funcionamiento del sistema de desalinización.

# CAPÍTULO 2

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Revisión de literatura

#### 2.1.1 Tecnologías de desalinización

Con el pasar de los años han surgido nuevas tecnologías de desalinización, de las cuales existen dos ramas representativas, las cuales son Métodos Térmicos y Desalinización con Membranas (Shatat & Riffat, 2014). La desalinización por métodos térmicos se basa en la aplicación de calor y la destilación del agua salada mediante diversas técnicas que convergen en evaporar el agua, para deshacerse de los sólidos disueltos como la sal y otros minerales. Por otro lado, la Desalinización con Membranas comprende aquellas tecnologías que emplean el uso de membranas semipermeables para separar los solutos y la sal del agua.

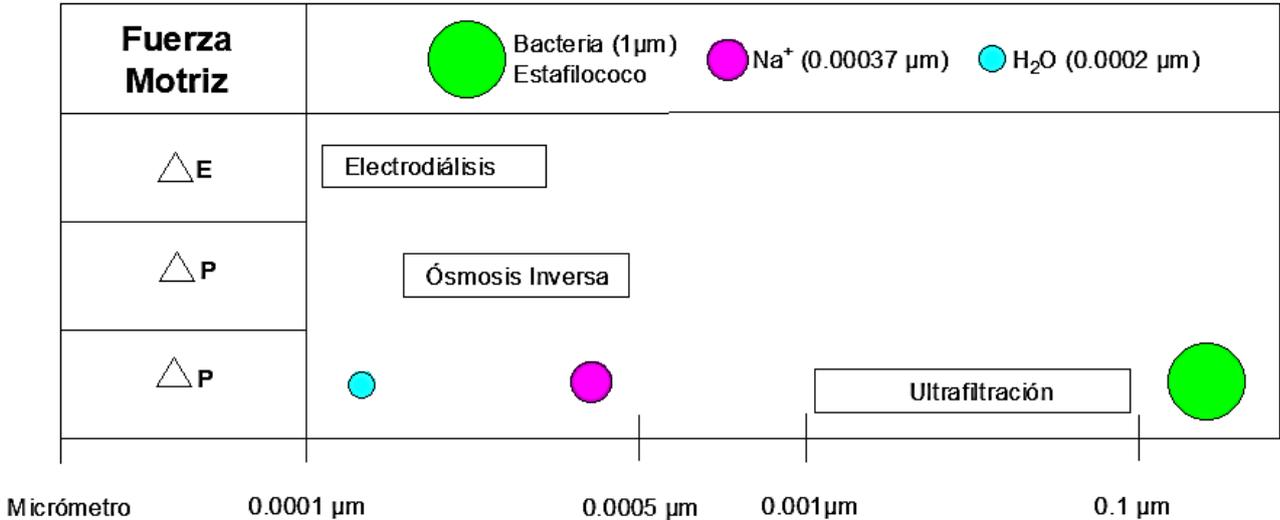
Entre ambas ramas hay una brecha muy importante que explica el por qué las tecnologías de desalinización se inclinan más al uso de las membranas. Y es que los métodos térmicos emplean una mayor cantidad de energía, lo cual merma su eficiencia (Salahudeen, 2022); mientras que los métodos que emplean membranas gozan de una alta tasa de desalinización, menor consumo energético y la capacidad de adaptarse a volúmenes variables de agua.

Una membrana es una interfaz delgada y discreta que regula la permeación de especies químicas en contacto con ella. Puede ser uniforme en composición y estructura, o heterogénea, con poros o una estructura en capas (Barker, 2012). La efectividad de desalinización de una membrana se fundamenta en sus propiedades fisicoquímicas y de separación. Se espera que una membrana presente características como alto rechazo de solutos, un flujo de agua elevado, estabilidad química y térmica, así como una alta resistencia a la formación de incrustaciones y al ataque del cloro (Goh et al., 2018).

El desarrollo de las membranas se remonta a los años 1700. Sin embargo, fue solo a principios de la década de 1970 que comenzaron a aparecer las unidades comerciales

de membranas. Para la década de 1980, la ultrafiltración (UF), ósmosis inversa (OI) y electrodiálisis (ED) se establecieron como procesos industriales de separación por membranas maduros y confiables (Barker, 2012).

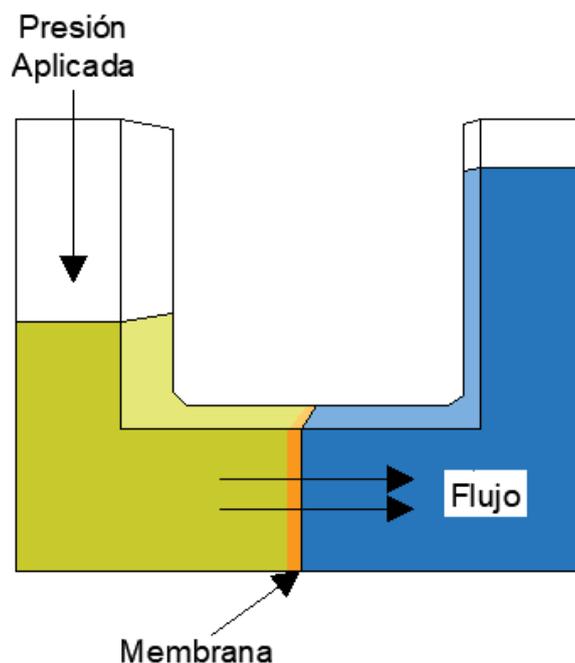
La UF, OI y ED son procesos relacionados conceptualmente, pero difieren principalmente en el diámetro promedio de los poros de la membrana y su estructura (Figura 2.1) Por ejemplo, las membranas de UF tienen poros con diámetros de 0.1 a 0.01  $\mu\text{m}$ , y pueden filtrar partículas coloidales, bacterias y macromoléculas disueltas como proteínas. En cambio, en OI, los poros de las membranas varían entre 0.0003 y 0.0005  $\mu\text{m}$  de diámetro (Barker, 2012). Por otro lado, los poros de las membranas de ED tienen diámetros que oscilan entre 0.00025 y 0.00044  $\mu\text{m}$  (Ma et al., 2021). Un ion de sodio ( $\text{Na}^+$ ) tiene un diámetro promedio de 0.00037  $\mu\text{m}$ , lo que significa que una membrana de UF, al tener poros de mayor diámetro, permitiría el paso de este ion. Por esta razón, la UF no sería una opción viable para la desalinización de agua subterránea salobre o agua de mar, a diferencia de OI y ED.



**Figura 2.1** Diferencia de tamaños de poros de membranas de ultrafiltración, ósmosis inversa y electrodiálisis [Urdánigo y Verdezoto, 2023].

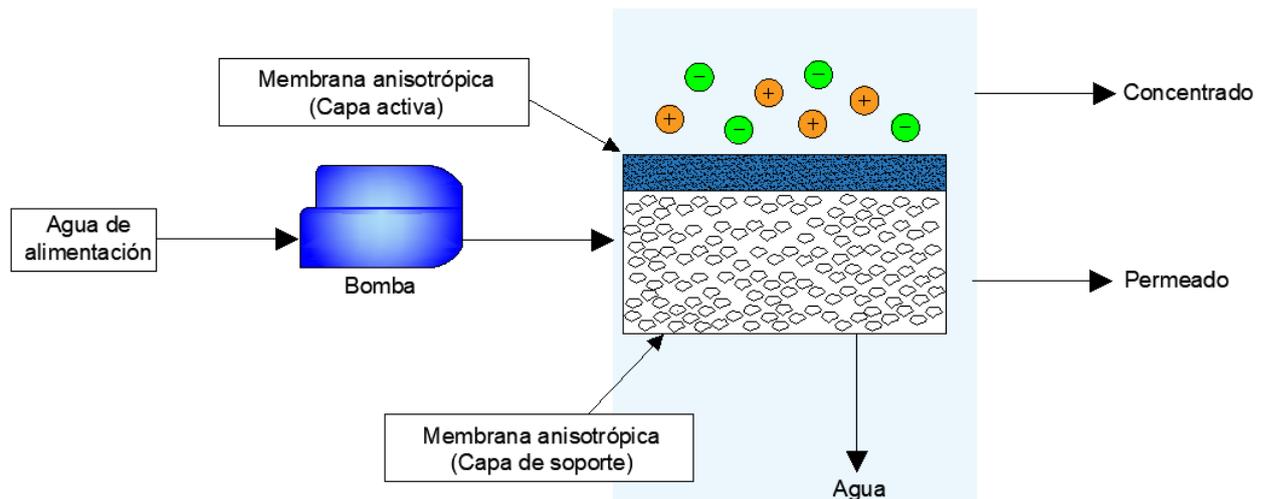
### 2.1.2 Ósmosis Inversa

La desalinización mediante OI se ha convertido en un método destacado para la producción de agua dulce destinada al consumo humano, y en la actualidad representa aproximadamente el 64% de la industria de desalinización (Salahudeen, 2022). Este método emplea fuerza de presión para impulsar el paso del agua a través de una membrana, logrando retener en el lado del concentrado la mayor parte de los iones y otros componentes disueltos, mientras que en el lado del permeado se obtiene agua dulce como resultado (Biesheuvel et al., 2022), como se puede observar en el diagrama de la Figura 2.2.



**Figura 2.2 Diagrama del transporte de agua en ósmosis inversa [Urdánigo y Verdezoto, 2023]**

La metodología de OI utiliza membranas anisotrópicas compuestas de película delgada. Estas membranas constan de una capa activa, que es no porosa y densa, y una capa de soporte que permite resistir altas presiones [6 – 60 bar]. A través de estas membranas, los permeantes, que son sustancias o especies químicas que atraviesan la membrana, son transportados mediante el modelo de difusión-solución. Este transporte se produce gracias a una fuerza impulsora generada por un gradiente de presión. Según este modelo, los solutos atraviesan la membrana al disolverse en el material de esta y de difundirse a lo largo de un gradiente de concentración (Barker, 2012).



**Figura 2.3 Modelo de distribución del agua a través de una membrana anisotrópica de ósmosis inversa [Urdánigo y Verdezoto, 2023]**

Para poder llevar a cabo la OI se requiere de varios elementos, entre los que destacan una bomba de alta presión para forzar a la solución a pasar a través de la membrana (Ayoub et al., 2019). Además, este es un proceso que antes de ponerse en marcha requiere un pretratamiento del agua. Esto con el fin de eliminar partículas y materiales suspendidos presentes en el agua que ingresa al sistema, pues estos elementos pueden obstruir los poros de la membrana interfiriendo con el flujo y afectando directamente a su vida útil (Goh et al., 2018).

En los últimos años, se han realizado avances significativos para reducir los costos operativos de las plantas de OI. Estos avances incluyen el desarrollo de membranas duraderas y más económicas, así como el uso de dispositivos de recuperación de energía que se conectan al flujo concentrado, lo que ayuda a disminuir los altos gastos energéticos. Sin embargo, es importante tener en cuenta que los sistemas de OI requieren grandes volúmenes de agua, ya que solo se recupera una pequeña fracción, entre el 5% y el 15%, del agua de entrada. De esta manera, la ED surge como una alternativa atractiva frente a la OI, ya que esta tiene la capacidad de obtener altas tasas de recuperación en términos de agua dulce producida y menos agua de concentración, y además requiere menos energía que la OI (Shatat & Riffat, 2014).

### 2.1.3 Electrodialisis

La electrodialisis es un proceso que permite la separación de los iones presentes en una solución acuosa mediante el uso de un stack, construido según el principio de un filtro prensa. Este stack está compuesto por múltiples pares de celdas formadas por membranas de intercambio iónico catiónicas (CEM) y aniónicas (AEM). Además, se aplica un campo eléctrico continuo que actúa como fuerza impulsora (Barker, 2012). Las membranas se disponen de manera intercaladas y distanciadas por un separador para formar una especie de filtro, el mismo que es prensado por un par de electrodos que al ser cargados eléctricamente producen el campo eléctrico que permite el flujo de la solución (Shatat & Riffat, 2014).

Las membranas eléctricamente cargadas que se emplean en electrodialisis son fabricadas de materiales poliméricos capaces de separar elementos de una solución gracias a sus propiedades físicas y químicas. La separación se basa principalmente en la exclusión de iones con la misma carga que los iones fijos en la estructura de la membrana, y en menor medida en el tamaño de los poros (Barker, 2012). Por ejemplo, las membranas catiónicas son permeables solo a los cationes, mientras que las aniónicas sólo permiten el paso de los aniones (Figura 2.4). Ambas membranas excluyen el paso del agua. Los principales aspectos para tener en cuenta para seleccionar adecuadamente una membrana son: resistencia eléctrica, mecánica, química, térmica, selectividad y relación costo/tiempo de su vida útil (Goh et al., 2018).

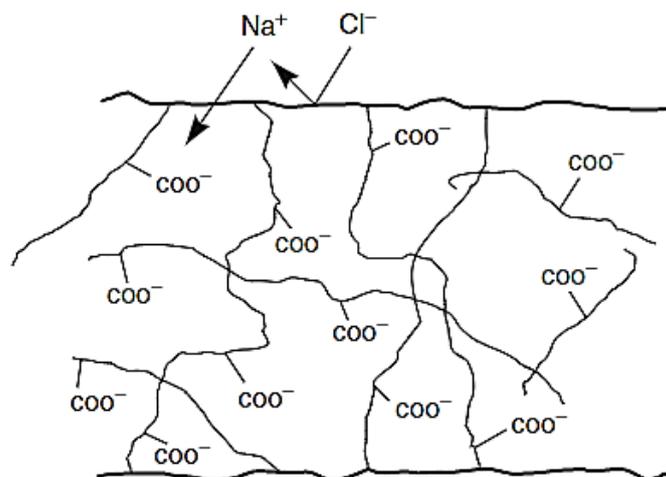
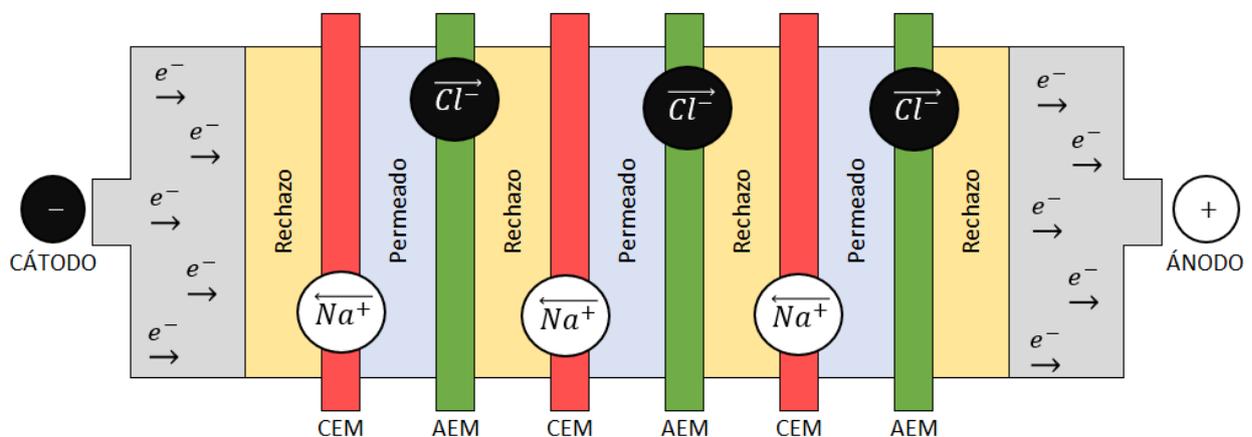


Figura 2.4 Esquema de una membrana eléctricamente cargada [Barker R., 2012].

Los separadores tienen la función de aislar una membrana de otra para proporcionar una distribución uniforme del flujo, son estos mismos elementos los que determinan el espesor del canal y deben ser lo más delgado posibles para disminuir la resistencia eléctrica, de manera que la eficiencia no se vea afectada. Los espaciadores también deben cumplir con la función de soporte para que las membranas no se deformen con el flujo de la solución y sellar los canales para evitar que se fugue del sistema (Goh et al., 2018).

El transporte de iones en electrodiálisis se lleva a cabo mediante difusión-migración a nivel molecular o por convección (Strathmann, 2010). Con la incidencia del campo eléctrico que da la fuerza directriz al sistema, los iones de la solución tratarán de dirigirse hacia el electrodo de carga opuesta; mientras que las membranas permitirán o restringirán el paso de estos iones según su carga. De esta manera, dentro del sistema se crean dos flujos; el permeado (diluido), el cual ha perdido sus iones iniciales y el rechazo (concentrado), que ha ganado los iones que salieron del flujo permeado. En la Figura 2.5 se muestra a manera gráfica el flujo de los iones, y cómo las membranas hacen de barrera para atraparlos en el rechazo y desionizar el permeado (Shatat & Riffat, 2014).



**Figura 2.5 Modelo del transporte de iones  $Cl^-$  y  $Na^+$  en membranas eléctricamente cargadas para el sistema de electrodiálisis [Urdánigo y Verdezoto, 2023].**

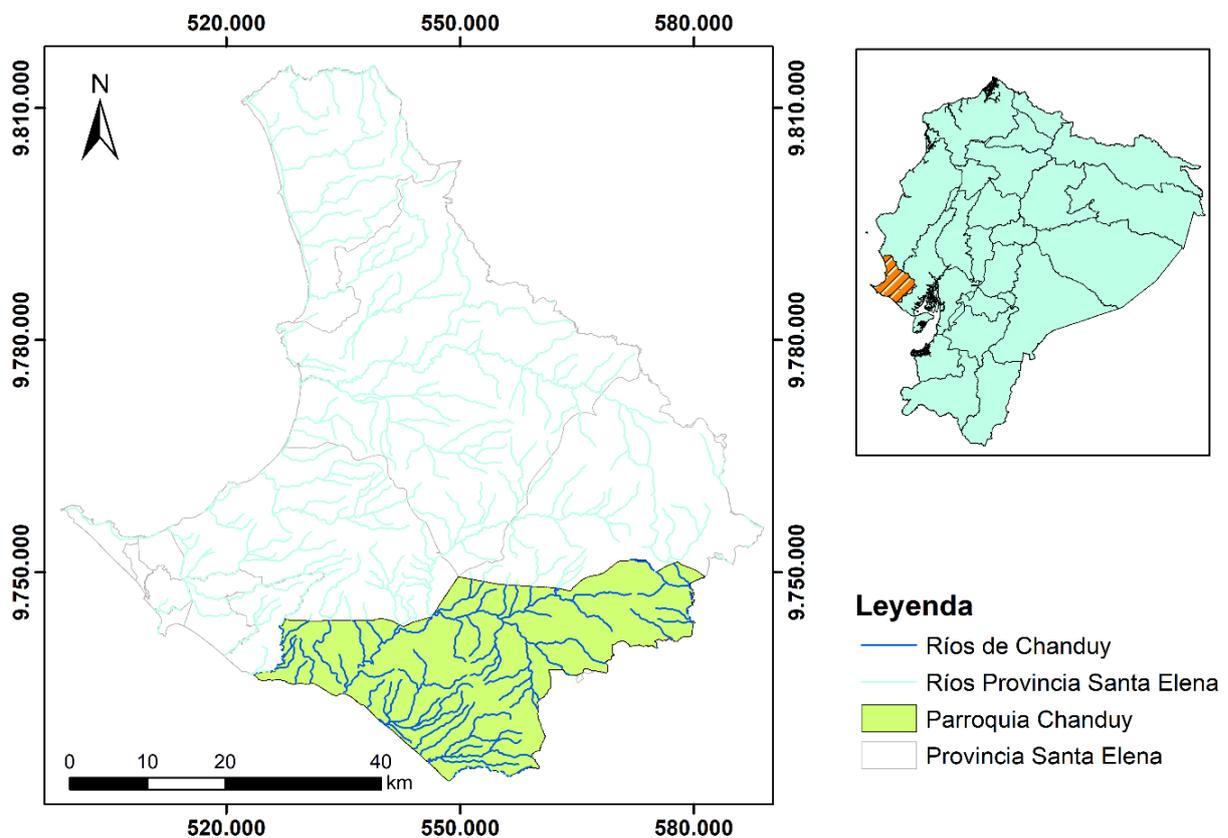
## 2.2 Área de estudio

### 2.2.1 Ubicación

El área de estudio está ubicada en la parroquia Chanduy, perteneciente a la cuenca del Río Zapotal, de la provincia de Santa Elena, Ecuador. Santa Elena colinda al oeste con el Océano Pacífico, mientras que de norte a este está limitada por la cordillera Chongón-Colonche. Según el Censo de Población y Vivienda del INEC 2010, Chanduy contaba con 16.363 habitantes, en una superficie de 769.02 km<sup>2</sup>.

### 2.2.2 Recursos hídricos

La cuenca del río Zapotal es una meseta costera con llanuras planas y semionduladas, con arroyos cortos y ríos pequeños, poco profundos y estacionales, que desembocan en el Océano Pacífico (García-Garizábal et al., 2017)



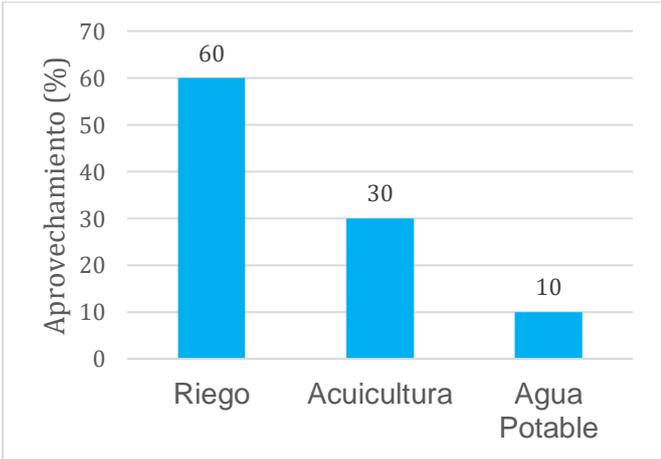
**Figura 2.6** Mapa de área de estudio y sus recursos hídricos. Parroquia Chanduy, provincia Santa Elena, Ecuador [Urdánigo y Verdezoto, 2023]

Esta cuenca de drenaje dendrítico posee 42 ríos y 12 esteros, de tipo perennes e intermitentes. Entre los ríos más importantes se pueden destacar: Azúcar, Zapotal, Verde, San Rafael, Tugaduaja, entre otros. Es importante mencionar que únicamente el río Azúcar y el Estero Chanduy son de tipo perenne, de modo que el 96% de los recursos hidrográficos de la parroquia son de tipo intermitente; es decir, que su flujo de agua cesa durante determinadas estaciones del año, dependiendo directamente del clima (GAD Chanduy, 2020).



**Figura 2.7: Río intermitente en la comuna Manantial de Chanduy [Urdánigo y Verdezoto, 2023]**

De acuerdo con el inventario 2017 llevado a cabo por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (Inahmi), en la parroquia Chanduy se contabilizaron 27 puntos de captación de agua subterránea, los cuales son empleados para riego, acuicultura, y agua potable, como se puede observar en la Figura 2.8 (GAD Chanduy, 2020).



**Figura 2.8 Usos de la captación del agua subterránea en la parroquia Chanduy [GAD Chanduy, 2020]**

### 2.2.3 Clima

Santa Elena presenta cambios variables en su clima debido a la influencia de las corrientes de Humboldt y El Niño (Carrión, 2021). Con una temperatura media anual de 24.3°C y una precipitación media anual de 265 mm/año, en el año 2013 (Inahmi, 2013), Santa Elena se caracteriza por ser una región semiárida, donde la demanda de agua es superior a la disponible.

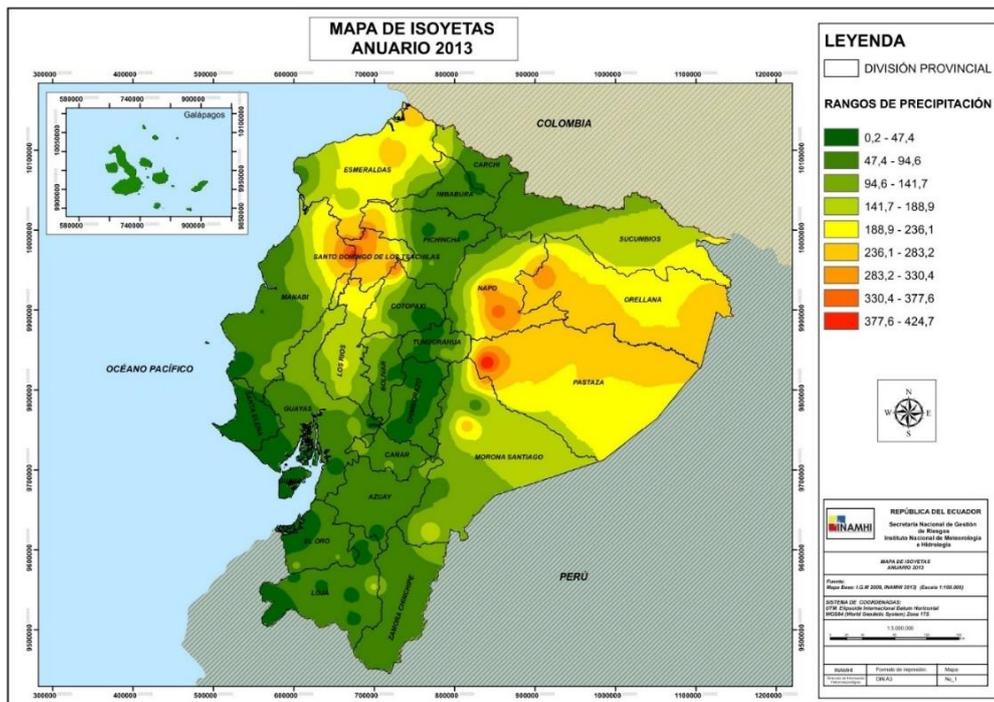


Figura 2.9 Mapa de Isoyetas de Ecuador, Anuario 2013 [Inahmi, 2013].

Entre los años 1982 – 2011 la temperatura mostró aumentos de 0.038 °C/año (García-Garizábal et al., 2017). Como consecuencia, la cordillera Chongón-Colonche, ecosistema húmedo que provee de agua dulce a la provincia de Santa Elena, se encuentra en peligro por el desequilibrio ambiental. Es así como el principal riesgo de Santa Elena es la sequía extrema debido al aumento de temperaturas, que genera erosión en los suelos y disminución del agua tanto en cantidad como en calidad (Carrión, 2021).

De acuerdo con el Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) de Chanduy, la parroquia tiene climas con índices áridos, secos y subhúmedos, sin exceso hídrico o con gran

deficiencia hídrica, y con un régimen cálido. Además, registra los valores mínimos de temperaturas entre febrero y abril, y las máximas temperaturas en agosto.

#### **2.2.4 Balance de agua**

Las precipitaciones en Santa Elena fluctúan en función de las estaciones del año y las condiciones climáticas. Durante los meses de diciembre a marzo, se observa un incremento notable en las precipitaciones, representando la temporada de lluvias más intensas en la región. Este período favorece a la recarga natural de los cuerpos de agua subterráneos. Por otro lado, a partir de junio, Santa Elena ingresa en una temporada más seca, caracterizada por una disminución en las precipitaciones, lo que resulta en condiciones más áridas (Capelo, 2019).

El déficit hídrico es un indicador que permite determinar la escasez de agua en una región establecida en comparación al promedio histórico. Mediante la metodología Thornthwaite se determinó que el déficit hídrico de Chanduy va desde los 775 mm hasta los 950 mm (GAD Chanduy, 2020). Esto implica que la evapotranspiración es superior significativamente al promedio de precipitación anual, lo que resulta en una recarga casi nula de los acuíferos (Capelo, 2019).

Ante el alto índice de déficit hídrico, las comunidades Engunga, Tugaduaja, San Rafael, El Real y la Cabecera Parroquial de Chanduy, están expuestas a un grado de vulnerabilidad alto ante la amenaza de la sequía. El GAD de Chanduy establece como causas que suscitan la sequía: la ausencia de precipitación por más de 3 meses, el cambio del uso del suelo, el aumento de la temperatura superficial del aire, el incremento de horas sol, y la evaporación. Como consecuencia, la sequía conlleva pérdidas en cultivos, deshidratación de seres vivos y desabastecimiento de agua para la población.

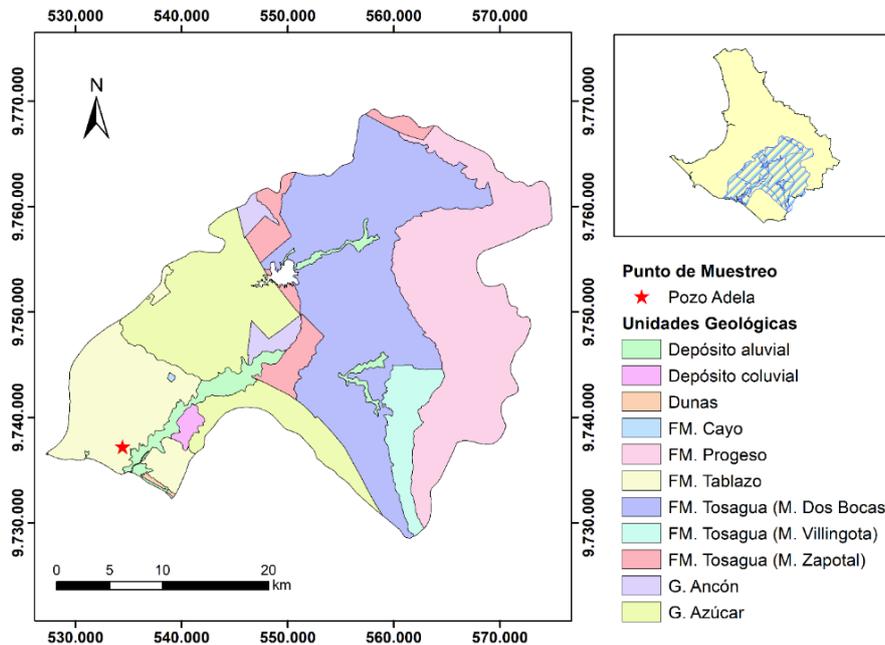
#### **2.2.5 Geología**

La geología es clave para la calidad del agua, ya que las formaciones geológicas pueden contener minerales que se disuelven en el agua, alterando su composición y propiedades. Esto incluye, por ejemplo, la presencia de sales y minerales solubles que aumentan la salinidad y minerales con metales pesados que pueden contaminar el

suministro de agua, con riesgos para la salud y los ecosistemas acuáticos (Capelo, 2019).

En la Figura 2.10 se puede observar las unidades geológicas presentes en la cuenca del río Zapotal, las cuales describen los tipos de rocas, sedimentos y estructuras geológicas presentes en la zona. Según la litología, estudiada por la Secretaría Nacional del Agua (Senagua) y la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (Aecid), las unidades están caracterizadas por:

- **Depósito aluvial:** Gravas y arenas.
- **Depósito coluvial:** Gravas angulosas a subangulosas, pobremente consolidadas y una matriz arenosa.
- **Dunas:** Arenas.
- **Formación Cayo:** Areniscas, limolitas, lutitas, conglomerados y calizas.
- **Formación Progreso:** Areniscas y arcillas con constituyente limosos y niveles de areniscas con conchas.
- **Formación Tablazo:** Areniscas, conglomerados y bancos calcáreos.
- **Formación Tosagua (M. Dos Bocas):** Arcillas chocolate, areniscas e intercalaciones de vetillas de yeso.
- **Formación Tosagua (M. Villingota):** Lutitas diatomáceas y arcillas blancas.
- **Formación Tosagua (M. Zapotal):** Areniscas, lutitas y conglomerados.
- **Grupo Ancón:** Areniscas, limolitas, lutitas, conglomerados y calizas.
- **Grupo Azúcar:** Areniscas, lutitas y conglomerados silificados.



**Figura 2.10 Mapa de formaciones geológicas de la cuenca del río Zapotal, provincia de Santa Elena [Urdánigo y Verdezoto, 2023]**

### 2.2.6 Abastecimiento de agua

Según resultados del censo 2010 del INEC cerca del 44.26% de la población de la parroquia Chanduy se abasteció mediante agua de pozo, mientras que solo el 24.39% lo hizo mediante la red pública. Por otro lado, el 28.45% de la población se abasteció de agua para consumo humano mediante carros repartidores, otro 1.65% mediante agua de ríos, vertientes o canales, y finalmente el 1.25% mediante captación de aguas lluvias.

Los resultados también indicaron que 13 de 14 comunas de Chanduy contaron con alguno de estos medios de abastecimiento de agua para consumo humano. Sin embargo, este servicio contó con problemas de interrupción, ya sea por falta de energía eléctrica o debido a la contaminación derivada de actividades antropogénicas como agricultura, ganadería y acuicultura. Por ejemplo, la construcción de camaroneras puede dar paso a la salinización de aguas superficiales y subterráneas. Otra forma importante de contaminación es la descarga de aguas residuales, tanto a cuerpos de agua superficial como subterránea, debido a la falta del servicio de alcantarillado y saneamiento en las zonas rurales de estudio.

## 2.3 Trabajo de campo y laboratorio

### 2.3.1 Muestreo

En marzo del 2023, época de altas precipitaciones pluviales, se colectó las muestras de agua del pozo “Adela”, localizado en la comunidad San Rafael de la parroquia Chanduy. Actualmente, el agua de esta fuente subterránea es bombeada y empleada por la comunidad para riego de cultivos y consumo humano.

Este punto de muestreo se escogió basándose en los criterios de la etapa I del presente proyecto (Espinoza y Franco, 2022).

1. Punto de captación de agua empleado para actividades domésticas y consumo humano.
2. Conductividad representativa de la zona de estudio entre 3000 y 5000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .
3. Nivel de turbidez aceptable para que no se taponen las membranas (aproximadamente 2 NTU).

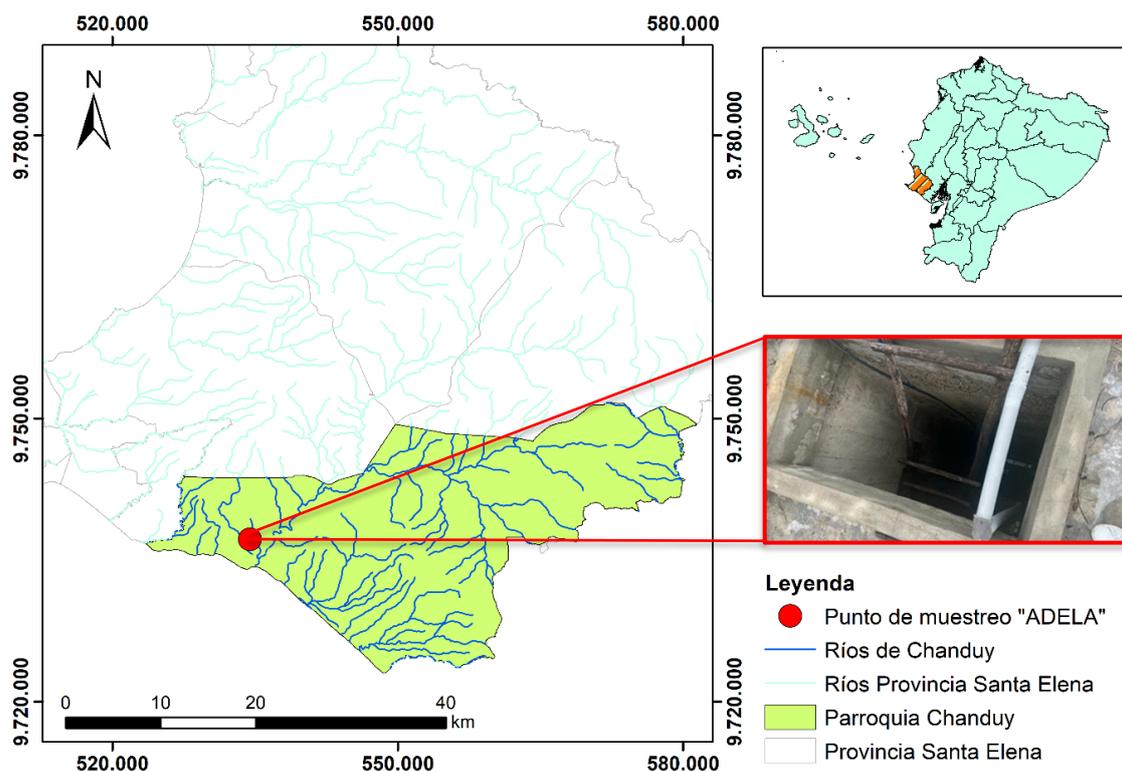


Figura 2.11 Punto de muestreo del pozo “Adela”, parroquia Chanduy, provincia Santa Elena. Coordenadas (-2.378015,-80.690269) [Urdánigo y Verdezoto, 2023].

### 2.3.2 Medición parámetros fisicoquímicos en campo

Los parámetros fisicoquímicos del agua muestreada en el pozo “Adela”, fueron pH, conductividad eléctrica (EC), sólidos totales disueltos (SDT), y temperatura (T), utilizando la multiparamétrica HACH (HQ40d), calibrada contra estándares de pH y CE.



**Figura 2.12 Medición de parámetros fisicoquímicos in situ del agua del pozo “Adela” [Urdánigo y Verdezoto, 2023].**

### 2.3.3 Análisis de iones

Las muestras de agua fueron transportadas al Laboratorio de Sanitaria de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), donde se realizó el análisis de iones como: Magnesio ( $Mg^{2+}$ ), Calcio ( $Ca^{2+}$ ), Sulfatos ( $SO_4^{2-}$ ), Nitratos ( $NO_3^-$ ), Nitratos ( $NO_2^-$ ), Sodio ( $Na^+$ ), Potasio ( $K^+$ ), Cloro ( $Cl^-$ ) y Bicarbonatos ( $HCO_3^-$ ).

El transporte de las muestras para análisis en laboratorio se llevó a cabo siguiendo la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2169, la cual establece los requisitos para el muestreo, transporte y conservación de las muestras. Para garantizar la integridad de las muestras, se utilizó un recipiente de plástico de 1000 ml y se mantuvo una temperatura de refrigeración constante entre  $1^{\circ}C$  y  $5^{\circ}C$  durante el transporte. Esto se logró utilizando una hielera para mantener las muestras en condiciones adecuadas hasta su llegada al laboratorio.

Las metodologías empleadas para la determinación de iones fueron las siguientes:

### 2.3.3.1 Titulación volumétrica

Para medir la dureza total como carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) se empleó la metodología HACH. Con ayuda de una pipeta se tomó un volumen de muestra en un matraz, al cual se le agregó 1 ml del reactivo Dureza Solución Tampón 1 y una almohadilla de indicador de dureza Man Ver 2. Seguidamente se puso la solución bajo una bureta, la cual contenía el titulante etilendiaminotetraacético (EDTA). Se tomó el volumen inicial de la bureta, y cuando la solución cambió del color rojo al azul, se tomó el volumen final. La diferencia entre el volumen final y el volumen inicial dio como resultado el volumen consumido.

La obtención de la dureza cálcica como  $\text{CaCO}_3$ , se obtuvo de manera similar al método descrito previamente, con la diferencia de que los reactivos empleados fueron 1ml de Hidróxido de Potasio solución 8N, y el indicador de calcio Cal Ver 2, y la solución al reaccionar con el titulante EDTA cambió de un color fucsia a azul. Una vez obtenida la dureza total y la dureza cálcica, se pudo conocer que la diferencia entre las concentraciones daba como resultado la dureza magnésica como  $\text{CaCO}_3$ . Finalmente, mediante estequiometría se pudo conocer la concentración iónica del  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{Ca}^{2+}$ .

**Tabla 2.1 Conversiones para obtener concentración de iones  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{Ca}^{2+}$  [Método HACH].**

mg/L como $\text{CaCO}_3$	Factor
mg/L como $\text{Ca}^{2+}$	0.40
mg/L como $\text{Mg}^{2+}$	0.243

La alcalinidad del agua se obtuvo de igual manera mediante el método HACH para titulación volumétrica, con las diferencias de que ahora el titulante empleado fue ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) de 0.02 N, y los reactivos fueron Fenolftaleína y Bromcresol green-methyl. Para la determinación de la concentración del  $\text{HCO}_3^-$  se empleó la ecuación:

$$\text{HCO}_3^- \left[ \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right] = \frac{5000 * 0.02\text{N} * \text{Volumen Consumido}}{\text{Volumen Muestra}} \quad (2.1)$$



**Figura 2.13 Análisis de iones mediante titulación volumétrica en laboratorio de sanitaria de ESPOL [Urdánigo y Verdezoto, 2023].**

### **2.3.3.2 Espectrofotometría**

Los iones  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Cl}^-$  se obtuvieron mediante espectrofotometría de luz visible en equipo marca HACH DR 3900, con los métodos 8051, 8039, 8507, 8049 y 8113, respectivamente.

Para la obtención de nitratos se empezó por la estandarización, la cual consistió en colocar 10 ml de solución estándar de nitrógeno de nitrato en dos celdas, dejar reposar cinco minutos, y agregar el reactivo Nitraver 5 en una de las celdas. Una vez agitado y reposado durante 1 minuto, se realizó el ajuste de patrón en el espectrofotómetro (Programa 355 N NITRATE HR PP). Seguidamente se preparó dos celdas con el agua de la zona de estudio, y se repitió los mismos pasos empleados en la estandarización, obteniendo de esta manera la concentración de nitratos.

Para obtener la concentración de nitritos se empleó los mismos pasos mencionados previamente, pero con las diferencias de que el reactivo empleado fue Nitraver 3, y el tiempo de reposo fue de 20 min. El programa empleado fue el 371 N NITRITE LR PP.

Para la medición de sulfatos se empezó por estandarizar poniendo 10 ml de solución Sulfato de 70 mg/L en dos celdas. Seguidamente se colocó el reactivo Sulfaver 4 en una de las celdas, y se dejó reposar 5 minutos, para finalmente realizar el ajuste de patrón. Para la medición de sulfatos en la muestra se colocó 10 ml del agua de la zona de estudio en dos celdas, y se repitieron los pasos empleados en la estandarización. El programa empleado fue el 680 SULFATE.



**Figura 2.14 Análisis de iones mediante espectrofotometría en laboratorio de sanitaria de ESPOL [Urdánigo y Verdezoto, 2023].**

El método para obtención de Cloruros requirió de igual manera de una previa estandarización. En primer lugar, se llenó una celda con 10 ml de cloruro estandarizado a 20 mg/L, mientras que otra celda se llenó con 10 ml de agua desionizada (esto sirvió como blanco). En ambas celdas se colocó 0.8 ml de tiocianato de mercurio y 0.4 ml de solución de ion férrico. Se mezcló y se reposó durante 2 minutos, para posteriormente realizar el ajuste de patrón. Para la medición de la concentración de cloruro se llenó una celda con 10 ml del agua de la zona de estudio, y se repitieron los pasos anteriores. El blanco fue empleado para encerrar la medición del espectrofotómetro. El programa empleado fue el 70 CHLORIDE.

Finalmente, para estandarizar el método de obtención de Potasio se tomó 25 ml del estándar de potasio en una probeta, mientras que una celda se colocó 10 ml del estándar, el cual sirvió como blanco. Seguidamente se agregó los reactivos Potasio 1, Potasio 2 y Potasio 3 en la probeta, agitando como indica el método. El tiempo de reposo fue de 3 minutos. A continuación, se tomó una alícuota de 10 ml de la probeta y se lo colocó en una nueva celda, para después realizar el ajuste de patrón con ambas celdas. Para la determinación de la concentración del ion potasio se tomó 25 ml de muestra en una probeta, se le agregaron los reactivos, y una vez agitado y reposado, se procedió a realizar la medición en el espectrofotómetro (programa 905 POTASSIUM).

### **2.3.3.3 Potenciometría con sonda HACH**

El ion  $\text{Na}^+$  fue obtenido mediante potenciometría, empleando sonda HACH y multiparamétrica HACH (HQ40d). El método empleado fue el 8322. Para calibrar la sonda de sodio, se agregó 25 ml de solución estándar de sodio en un vaso precipitado, y seguidamente se le agregó el contenido de una almohadilla de polvo ISA Sodio. A la solución se le introdujo una barra magnética, y se colocó el vaso precipitado en un plato agitador magnético. Se puso la sonda HACH en la solución, evitando que toque la barra magnética, y se calibró la multiparamétrica. Para la medición de sodio en la muestra, se realizaron los mismos pasos anteriormente descritos, con la diferencia que se tomaron 25 de la muestra en vez de la solución estándar. Para lavar la sonda se emplea una solución de enjuague ISA, no agua desionizada.

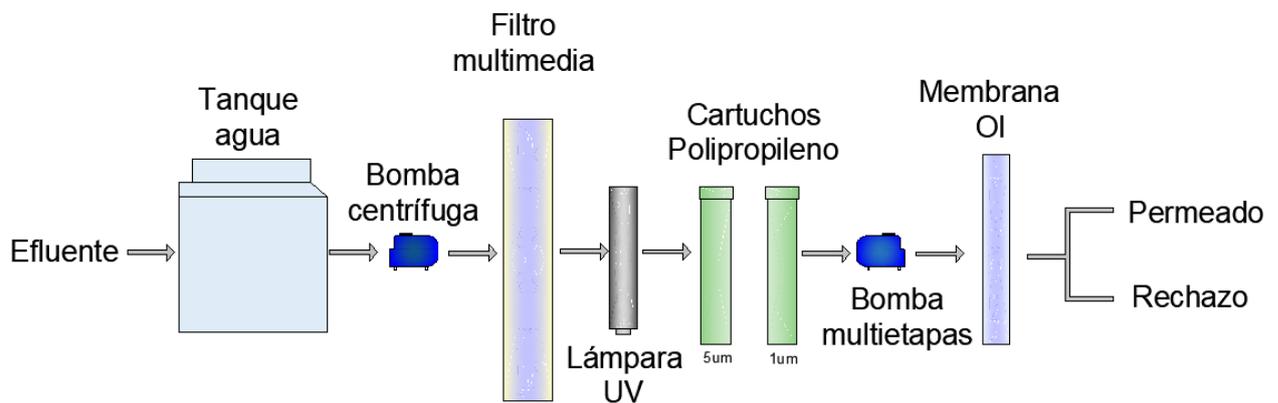
## **2.3.4 Experimentación con tecnologías de tratamiento avanzado de desalinización**

### **2.3.4.1 Ósmosis Inversa**

La desalinización en la planta piloto de OI se llevó a cabo empleando agua sintética. Para simular las condiciones de salinidad de la zona de estudio se llenó un tanque de 250 L de capacidad, y se empleó sal común de mesa para alcanzar la conductividad eléctrica deseada de aproximadamente 5000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Previo a desalinizar el agua, se midieron los parámetros fisicoquímicos de pH, CE, STD y T con la multiparamétrica (HQ 40 d) para calcular el porcentaje de remoción de sales

del agua de alimentación. Seguidamente, se encendió la planta de OI, de modo que el agua del tanque (efluente a tratar) pasó por una bomba centrífuga marca PEDROLLO modelo 5CRn 100X de 1 HP, la cual fue dirigida a un filtro multimedia compuesto de grava, zeolita y carbón activado, para remoción de turbidez y sólidos suspendidos, como se puede observar en la Figura 2.15. Posteriormente el agua pasó por un tratamiento de luz ultravioleta para la inactivación de patógenos, para después dirigirse a un proceso de filtración con cartuchos de polipropileno de 5  $\mu\text{m}$  y 1  $\mu\text{m}$ . Finalmente el agua tratada pasó por una bomba multietapas (17 bar) que la transportó hacia una membrana de OI BW30-4040.



**Figura 2.15 Esquema de planta piloto de ósmosis inversa [Urdánigo y Verdezoto, 2023].**

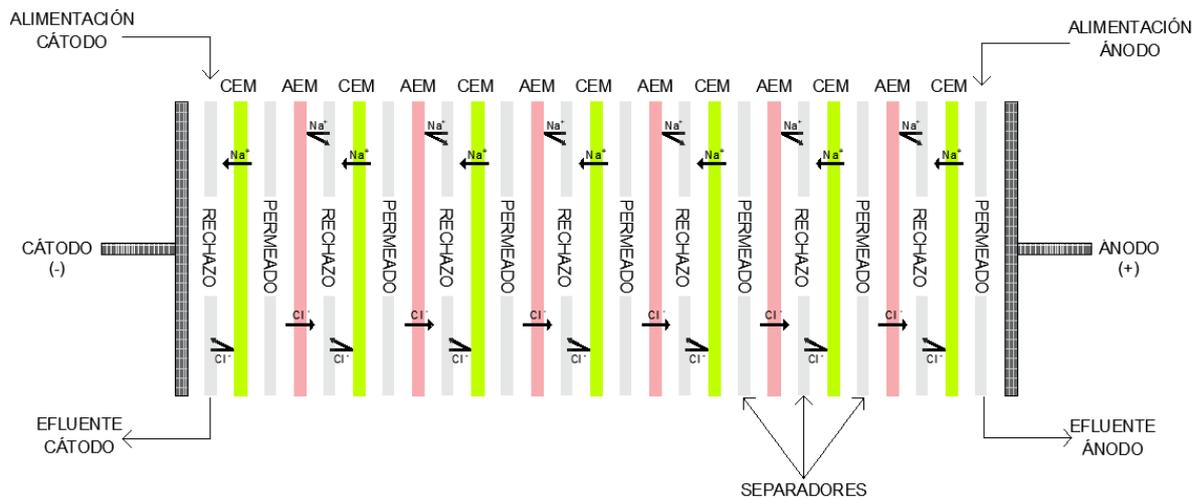
Los productos que se obtuvieron después del paso del agua por la membrana fueron agua permeada y agua concentrada. A ambos flujos se les midió los parámetros fisicoquímicos. Adicionalmente, se mantuvo registro del caudal y presión del agua de permeado y de rechazo.



**Figura 2.16** Panel de control de planta piloto de ósmosis inversa [Urdánigo y Verdezoto, 2023].

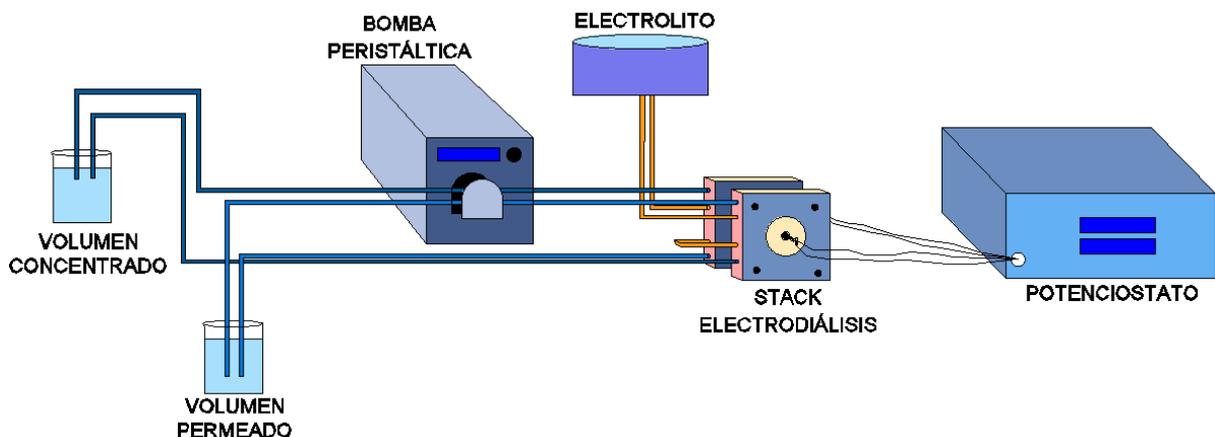
#### **2.3.4.2 Electrodiálisis**

Se desalinizó el agua del pozo “Adela” empleando tecnología avanzada de electrodiálisis. La configuración del prototipo del stack de electrodiálisis se puede observar en la Figura 2.17. El stack está compuesto de 6 pares de membranas de intercambio iónico catiónico (CEM) y aniónico (AEM). Entre las membranas se ubican separadores que determinan cómo pasa el flujo según la configuración de los orificios que tiene el equipo. Es importante destacar que dentro del stack se identifican dos tipos de flujo: un electrolito de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  de  $1500 \mu\text{S}/\text{cm}$ , y el agua muestreada a desalinizar. Para evitar que estos flujos se mezclen es necesario emplear separadores totalmente sellados al inicio y fin de las membranas.



**Figura 2.17 Configuración del stack de electrodiálisis para un flujo en coflow [Urdánigo y Verdezoto, 2023].**

En la Figura 2.18 se puede observar que el sistema de tratamiento de electrodiálisis está compuesto por una bomba peristáltica Landto Tech (YZ15), un potencióstato CorrTest (CS150) y el prototipo del stack, elaborado mediante impresión 3D. El stack de electrodiálisis se conecta a la bomba peristáltica, que permite regular el caudal con el que se desea desalinizar en unidades de ml/min. Las mangueras de diámetro #17 conducen el agua de permeado y rechazo a vasos de precipitación que contienen el volumen a desalinizar. Finalmente, el voltaje impartido al sistema lo genera el potencióstato, el cual mediante un software (CS Studio 5) permite variar el voltaje hasta 10 V.



**Figura 2.18 Esquema del sistema de tratamiento de electrodiálisis [Urdánigo y Verdezoto, 2023].**

Durante la experimentación, en dos vasos de precipitación se agregó el volumen deseado de agua del muestreo del pozo "Adela". Un vaso colectó el flujo permeado, mientras que el otro colectó el flujo concentrado. En cada vaso de precipitación se ubicaron dos mangueras, una para el flujo de entrada y otra para la salida. Se estableció dentro de la bomba peristáltica el número de la manguera y el caudal en [ml/min]. Al stack de electrodiálisis se le conectó las mangueras de los vasos de precipitación, al igual que las mangueras que conducen el flujo del electrolito.

Se encendió la bomba del electrolito, y se dejó pasar el flujo hasta no observar burbujas. Así mismo, se cebó las mangueras que conectan a los vasos de precipitación, y se encendió la bomba peristáltica, constatando que el sistema ya no tenga burbujas. Seguidamente, se conectó los electrodos al potencióstato, y se corrió el programa con el voltaje deseado.

En el programa se monitoreó el voltaje y la intensidad de corriente versus el tiempo, mientras que en los vasos de precipitación se monitoreó, cada cierto intervalo de tiempo, los parámetros de SDT y CE. La medición de SDT y CE se realizó con una multiparamétrica (HQ 40 d). Se desalinizó el agua hasta que la CE sea menor a 800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , y los SDT sean inferiores a 500-600 mg/L, ya que estos son los límites establecidos por la OMS y la INEN 1106 para agua apta para consumo humano.

El flujo en el sistema de tratamiento avanzado de electrodiálisis se configuró de dos maneras: coflow, y crossflow. Para la configuración coflow, el flujo de entrada del permeado ingresa por el cátodo, mientras que el flujo de entrada del concentrado ingresa por el ánodo. Por otro lado, el flujo de salida del permeado se realiza por el ánodo, resultando en que el flujo de salida del concentrado se dé por el cátodo. Esto conlleva a que los flujos de alimentación y agua permeada se muevan en la misma dirección. En cambio, para la configuración crossflow, ambos flujos de entrada ingresan por el cátodo, y los flujos de salida lo hacen por el ánodo. Resultando en que el flujo de alimentación y el flujo de agua permeada se transporten en direcciones opuestas.

### 2.3.4.3 Plan de trabajo experimental

Los ensayos experimentales en laboratorio para las tecnologías de electrodiálisis y ósmosis inversa se desarrollaron de acuerdo con el cronograma de trabajo presentado en la Tabla 2.2, el cual se llevó a cabo en un lapso de 5 semanas.

**Tabla 2.2: Cronograma de experimentación en laboratorio con tecnologías de desalinización del agua [Urdánigo y Verdezoto, 2023].**

Actividades	Condiciones experimentales		Tecnología	S1	S2	S3	S4	S5	S6
	Variables	Constantes							
Variación de caudal, bajo condiciones de volumen, voltaje y porcentaje de recuperación constantes para determinar efecto del aumento del caudal sobre el sistema	Q = 100 ml/min	V = 1L 6V 80% recuperación	ED (Coflow)						
	Q = 200 ml/min								
	Q = 300 ml/min								
	Q = 400 ml/min								
Variación de caudal y tipo de flujo, bajo condiciones de volumen, voltaje y porcentaje de recuperación constantes, para identificar las diferencias entre los tipos de flujo	Q = 100 ml/min	V = 1L 6V 80% recuperación	ED (Crossflow)						
	Q = 200 ml/min								
	Q = 300 ml/min								
	Q = 400 ml/min								
Variación de caudal e incremento del volumen, bajo condiciones de voltaje y porcentaje de recuperación constantes, para determinar comportamiento al doble del volumen inicial	Q = 100 ml/min	V = 2L 6V 80% recuperación	ED (Coflow)						
	Q = 200 ml/min								
	Q = 300 ml/min								
	Q = 400 ml/min								
Variación de caudal y tipo de flujo, a volumen, voltaje y porcentaje de recuperación constantes para contrastar los resultados entre los tipos de flujo y volumen variable	Q = 100 ml/min	V = 2L 6V 80% recuperación	ED (Crossflow)						
	Q = 200 ml/min								
	Q = 300 ml/min								
	Q = 400 ml/min								
Desalinización con OI para comparación de resultados respecto a la tecnología de ED	CE <sub>o</sub> = 5000 µS/cm, 3 Repeticiones.		OI						

Variación de caudal, y volumen de agua a tratar, bajo tipo de flujo Crossflow para determinar el comportamiento del porcentaje de recuperación real del sistema.	Q = 300 ml/min	V = 3L							
	Q = 400 ml/min	6V	80% recuperación						

## 2.4 Análisis de datos

### 2.4.1 Balance iónico

En la naturaleza, los cationes y los aniones presentes en el agua se encuentran en equilibrio debido su propiedad de electroneutralidad. La determinación del porcentaje de error del balance iónico permitirá conocer si la suma de miliequivalentes aniónicos es aproximadamente igual a los miliequivalentes catiónicos, de modo que se pueda verificar qué tan consistentes son los resultados conseguidos en la obtención de las concentraciones de los iones mayoritarios.

Un error de balance iónico se considera aceptable en un rango de  $\pm 10\%$ . La ecuación para determinar el porcentaje de error es como se describe a continuación:

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

### 2.4.2 Diagramas

El diagrama de Stiff consiste en tres ejes horizontales, en donde los cationes se ubican en la parte izquierda del diagrama, y los aniones en el lado derecho. Las concentraciones se expresan como miliequivalentes sobre litros (meq/l). Mediante el diagrama de Stiff se puede analizar a simple vista el tipo de agua al que corresponde la muestra, ya sea agua subterránea natural, agua de mar o salmuera, o agua con intercambio iónico. Este diagrama es importante ya que permite comprender el comportamiento de las especies iónicas en la solución, proporcionando información sobre su estabilidad, especies predominantes y límites de solubilidad.

### **2.4.3 Software**

La representación de la calidad del agua se realizará mediante diagramas de Stiff, graficados mediante el software AquaChem (Versión 11); mientras que los diagramas de dispersión de los datos resultantes de la experimentación serán graficados mediante el software OriginPro (Versión 23b).

Por otro lado, para modelar la reducción del consumo de energía en el sistema de tratamiento avanzado de ósmosis inversa, se simuló la planta en el software Water Application Value Engine (WAVE, versión 1.82).

## **2.5 Análisis de alternativas**

### **2.5.1 Propuesta de alternativas**

De acuerdo con los análisis de los parámetros fisicoquímicos medidos in situ, como la CE y los STD, se encontró que el agua de abastecimiento de la población de Chanduy presenta niveles elevados de salinidad, con valores de alrededor 5000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Por tanto, se planteó tres alternativas, con el objetivo de optimizar los sistemas de tratamiento avanzado (con fines de desalinización) propuestos en la etapa I, y determinar una solución costo-económica viable para la población de Chanduy.

Se plantea las siguientes alternativas:

- ✓ Ósmosis inversa
- ✓ Electrodialisis: Coflow
- ✓ Electrodialisis: Crossflow

### **2.5.2 Criterios de evaluación de las alternativas**

Los criterios para la evaluación de las alternativas serán los siguientes:

- i. **Técnico:** En el aspecto técnico se tomará en consideración distintos factores relacionados al funcionamiento operativo de los sistemas de tratamiento avanzado empleados; los indicadores que se emplearán serán: tasa de desalinización, tiempo de desalinización y porcentaje de recuperación real de agua permeada.

- ii. **Económico:** El indicador que permitirá evaluar este criterio será la energía específica cuantificada en kWh/m<sup>3</sup>. Omitiendo el precio del kWh en Ecuador para permitir hacer una comparativa independiente del costo de electricidad.
- iii. **Social:** El indicador será el límite máximo permisible (LMP) recomendado por la OMS en términos de SDT para consumo de agua (eficiencia de remoción de sales).
- iv. **Ambiental:** En este criterio se evaluará la tasa de salinización del agua de rechazo producto de la aplicación de las tecnologías avanzadas de tratamiento.

**Tabla 2.3: Criterios y factores de evaluación para selección de alternativa óptima de tratamiento de agua salobre [Urdánigo y Verdezoto, 2023].**

<b>Criterio</b>	<b>Factores</b>	<b>Importancia</b>
Técnico	Tasa de desalinización	Se prioriza la rapidez del proceso de desalinización para proponer una solución competitiva que a su vez goce de una baja generación de residuos.
	Tiempo de desalinización	
	Porcentaje de recuperación	
Económico	Energía específica	Una menor cantidad de energía empleada por el sistema de desalinización para proponer una solución costo-energética viable.
Social	Eficiencia de remoción de sales	Brindar seguridad y confianza a los beneficiarios al tener un sistema avanzado de desalinización eficiente que cumpla con los requerimientos de para consumo humano establecidos por la OMS.
Ambiental	Tasa de salinización	A menor cantidad de residuos generados se reduce el impacto ambiental negativo para el ecosistema de la zona de estudio.

Para cuantificar los distintos matices de los criterios técnicos, económicos, sociales y ambientales, se propone agrupar las métricas obtenidas en una calificación global sobre el 100%, donde cada factor aporta un peso ponderado en función de la importancia que genere, como se muestra en la Tabla 2.3. Por lo tanto, se propone la Tabla 2.4 en la cual se desglosa la ponderación de cada factor, y los rangos de calificación asociados a cada uno.

**Tabla 2.4 Porcentaje de ponderación de cada factor para la evaluación de alternativas, junto con su puntuación correspondiente. [Urdánigo y Verdezoto, 2023].**

Factor	Peso (100%)	Puntuación		
		5	10	15
Tasa de desalinización	15%	< 30 $\mu\text{S/cm/min/L}$	$30 \leq x < 60$ $\mu\text{S/cm/min/L}$	$\geq 60$ $\mu\text{S/cm/min/L}$
Tiempo de desalinización	5%	> 3 horas	$1 < x \leq 3\text{h}$	$\leq 1$ hora
Porcentaje de recuperación	10%	< 20%	$20 \leq x < 60\%$	$\geq 60\%$
Eficiencia de desalinización	25%	< 30%	$30 \leq x < 80\%$	$\geq$ al 80%
Energía específica	30%	> 4.00 kWh/m <sup>3</sup>	$2.00 < x \leq 4.00$ kWh/m <sup>3</sup>	$\leq 2.00$ kWh/m <sup>3</sup>
Tasa salinización	15%	> 200 $\mu\text{S/cm/min/L}$	$100 < x \leq 200$ $\mu\text{S/cm/min/L}$	$\leq 100$ $\mu\text{S/cm/min/L}$

## 2.5.3 Alternativa 1: Ósmosis Inversa

### 2.5.3.1 Técnico

Durante la experimentación empleando la tecnología de tratamiento de desalinización de OI, se trató agua sintética con concentraciones de aproximadamente 5000  $\mu\text{S/cm}$  (Tabla 2.5). Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 2.6, en la cual se puede observar el monitoreo de la CE, SDT, presión y caudal del agua permeada y concentrada.

**Tabla 2.5 Condiciones iniciales de experimentación con el tratamiento avanzado de desalinización mediante ósmosis inversa [Urdánigo y Verdezoto, 2023]**

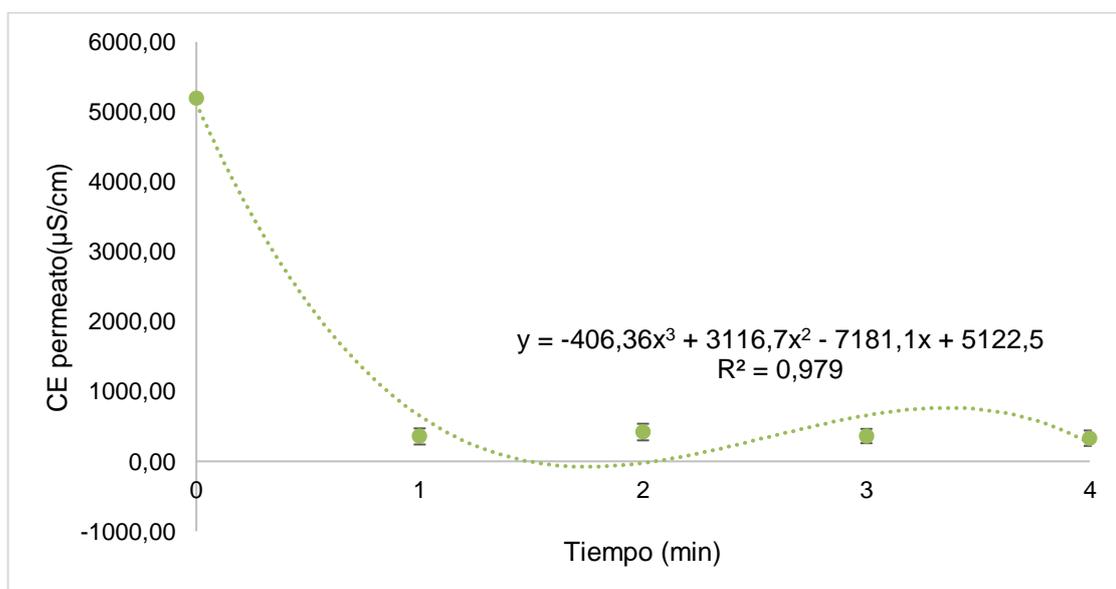
Cod.	CE ( $\mu\text{S/cm}$ )	STD (mg/L)
	Agua sintética	Agua sintética
1	5169	2590
2	5215	2607
3	5205	2604

**Tabla 2.6 Resultados de CE, STD, presión y caudal obtenidos del proceso de desalinización mediante ósmosis inversa [Urdánigo y Verdezoto, 2023]**

Cod.	CE (µS/cm)		STD (mg/L)		Presión (bar)		Caudal (gal/min)	
	Permeado	Rechazo	Permeado	Rechazo	Permeado	Rechazo	Permeado	Rechazo
1	450	5906	226	2956	1.80	8.20	1.10	> 5
2	311	5921	156	2961	1.80	8.00	1.50	> 5
3	233	5939	150	2962	1.80	8.30	1.30	> 5

Los resultados indican que para desalinizar aguas con concentraciones de 5000 µS/cm, se requiere de un caudal aproximado entre 1.10 y 1.50 gal/min, lo cual equivale a 249.83 y 340.69 L/h; esto para desalinizar 250 L de agua sintética en un tiempo aproximado de 4 minutos. Por otro lado, el porcentaje de recuperación de este sistema está establecido por el tipo de membrana (BW30-4040), la cual, de acuerdo con la ficha técnica proporcionada por el fabricante, tiene una recuperación del 15% (Lenntech Filmtec, n.d.).

En la Figura 2.19 se muestra la función polinómica de grado 3 que asemeja el comportamiento de la CE del permeado, la misma que fue derivada para obtener la función de pendientes respecto al tiempo, como se muestra en la Ecuación ( 2.3 ). Finalmente se evaluó esta función en  $t = 4$  min para obtener la tasa de desalinización.



**Figura 2.19 Modelo matemático de la tendencia de desalinización del agua permeada producto de ósmosis inversa [Urdánigo y Verdezoto, 2023].**

$$f'(t:4) = -\frac{60954x^2 - 311670t + 359055}{50} = -1752.78 \mu\text{S/cm/min} \quad (2.3)$$

Debido a que la planta de OI es un sistema que trabaja a escala comercial, se requiere normalizar la tasa de desalinización en función del volumen, con el objetivo de poder comparar las alternativas bajo las mismas condiciones. Por tanto, la tasa de desalinización normalizada en función del volumen es de  $-7.01 \mu\text{S/cm/min/L}$ .

### 2.5.3.2 Económico

La energía específica se refiere a la cantidad de energía consumida o requerida para realizar un proceso. La energía específica empleada por la planta piloto de OI fue obtenida por medio del software WAVE (versión 1.82). Los parámetros que se introdujeron en el modelado fueron: caudal de salida del permeado, pH, concentración de iones, turbidez, carbono orgánico total (TOC), sólidos suspendidos totales (SST), temperatura y tipo de membrana empleada. En consecuencia, la energía específica que se obtuvo fue de  $4.18 \text{ kWh/m}^3$ .

El costo del kWh en Ecuador, para septiembre del 2022, fue de  $0.096 \text{ USD/kWh}$  (GlobalPetrolPrices, 2022). Esto resulta en que la planta piloto de OI tenga un costo energético aproximado de  $\$0.40$  por desalinizar  $1 \text{ m}^3$  de agua.

### 2.5.3.3 Social

Para determinar la eficiencia de remoción de sales, factor que es tomado como referencia para proyectar las repercusiones de la tecnología en la vida y salud de las personas, se parte los datos de la Tabla 2.5 y Tabla 2.6, y se emplea la Ecuación ( 2.4 ).

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

El porcentaje de eficiencia de desalinización para cada experimento se muestra en la Tabla 2.7. De esta manera, la eficiencia media de desalinización resultante es del  $93.62\%$ .

**Tabla 2.7 Porcentaje de eficiencia de desalinización del sistema de ósmosis inversa [Urdánigo y Verdezoto, 2023].**

Cod.	CE (μS/cm)		ED (%)
	Agua sintética	Permeado	
1	5169	450	91,29
2	5215	311	94,04
3	5205	233	95,52

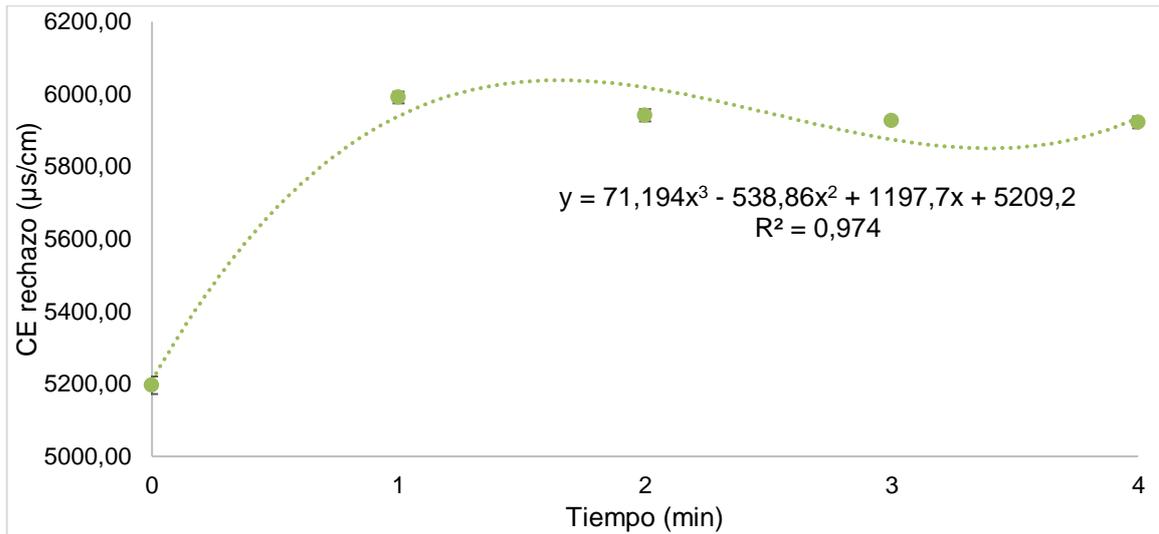
#### **2.5.3.4 Ambiental**

El impacto ambiental de la planta de OI tiene dos ejes importantes: el primero es la generación de aguas concentradas, ricas en sales; mientras que el segundo tiene que ver con la vida útil de las membranas y su disposición final. Sin embargo, el enfoque del impacto ambiental para el análisis de alternativas se basará en las aguas de rechazo.

Como se mencionó anteriormente, en el criterio técnico, la recuperación de agua permeada es de apenas 15% del volumen total que ingresa a la planta. Es decir, alrededor del 85% del agua que ingresa para tratamiento de desalinización se convierte en agua de rechazo, la misma que contiene altas concentraciones de sales y que debe ser gestionada para minimizar el impacto ambiental negativo.

En la Figura 2.20 se muestra la función polinómica de grado 3 que asemeja el comportamiento de la CE del rechazo con respecto al tiempo. Esta función fue derivada para obtener la función de pendientes respecto al tiempo, como se muestra en la Ecuación ( 2.5 ). Finalmente se evaluó esta función en  $t = 4$  min para obtener la tasa de salinización, la misma que se normalizó en función del volumen, resultando finalmente en un valor de  $1.22 \mu\text{S/cm/min/L}$ .

$$f'(t; 4) = \frac{106791x^2 - 538860x + 598850}{500} = 304.13 \mu\text{S/cm/min} \quad (2.5)$$



**Figura 2.20** Modelo matemático de la tendencia de concentración de sales en el agua de rechazo producto de ósmosis inversa [Urdánigo y Verdezoto, 2023].

Recopilando la información expuesta en este apartado se asigna el puntaje correspondiente a cada factor como se muestra en la Tabla 2.8.

**Tabla 2.8** Puntuación asignada para cada factor de evaluación para la tecnología de desalinización mediante ósmosis inversa [Urdánigo y Verdezoto, 2023].

Factor	Peso (100%)	Puntuación		
		5	10	15
Tasa de desalinización	15%	X	-	-
Tiempo de desalinización	5%	-	-	X
Porcentaje de recuperación	10%	X	-	-
Eficiencia de Desalinización	25%	-	-	X
Energía específica	30%	X	-	-
Tasa salinización	15%	-	-	X

## 2.5.4 Alternativa 2: Electrodialisis (Coflow)

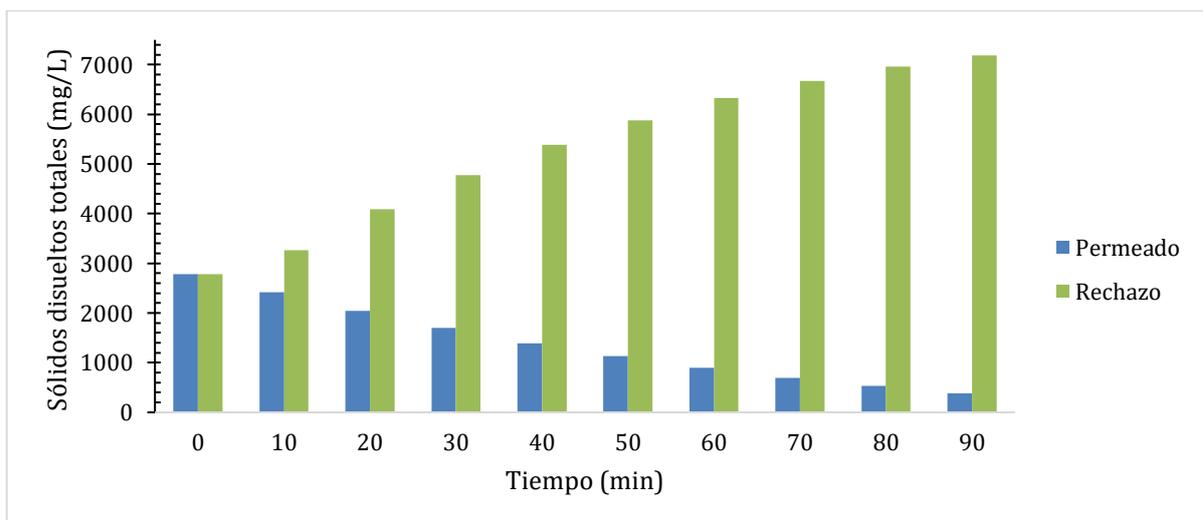
### 2.5.4.1 Técnico

Mediante análisis de los resultados obtenidos en etapas previas por (Espinoza y Franco, 2022), junto con la investigación llevada a cabo durante la fase de experimentación del

presente estudio, se determinó que los parámetros óptimos para el sistema de desalinización mediante ED con la configuración de flujo coflow son:

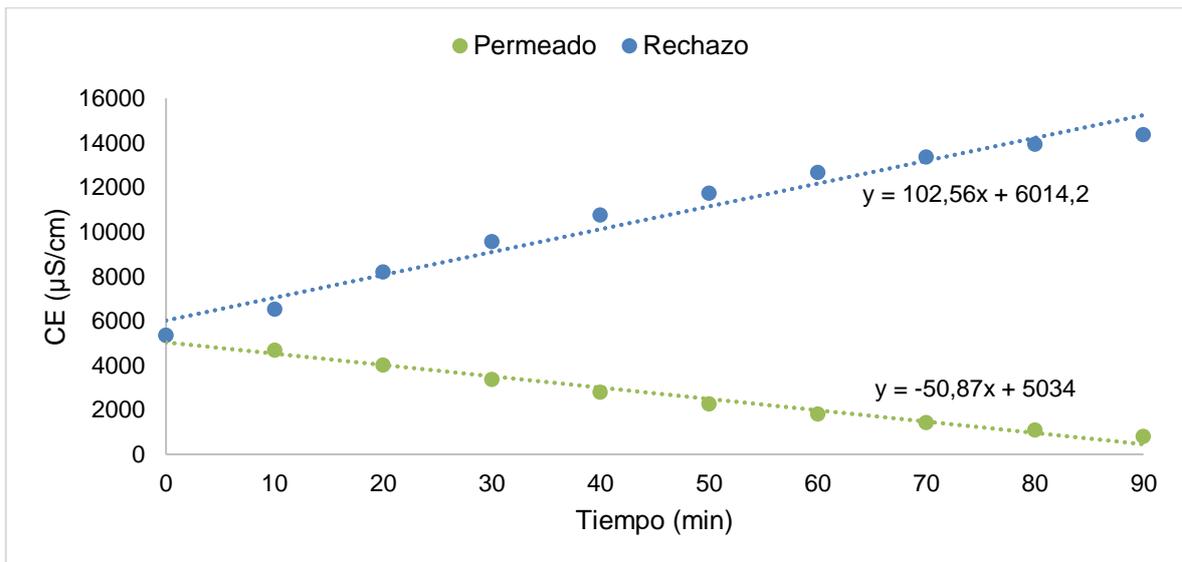
- Pares de membranas = 6
- Caudal = 400 ml/min/canal
- Voltaje = 6 V
- Porcentaje de recuperación = 80%
- Volumen total tratado = 1000 ml

Durante la experimentación se monitoreó la CE y los SDT en intervalos de 10 minutos durante un tiempo total de 90 minutos. Cabe destacar que el tiempo contabilizado fue el requerido para que el sistema de electrodiálisis (coflow) desalinice el agua hasta una concentración inferior a 500 mg/L y 800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , valores recomendados por la OMS para agua de consumo humano en términos de SDT y CE, respectivamente. El monitoreo se realizó tanto para el volumen permeado como para el volumen concentrado, como se muestra en la Figura 2.21 y Figura 2.22.



**Figura 2.21 Variación de los SDT en relación con el tiempo, para agua de permeado y rechazo en electrodiálisis (coflow) [Urdánigo y Verdezoto, 2023].**

La tasa de desalinización se calculó mediante la pendiente de los resultados obtenidos de la CE del permeado en relación con el tiempo (Figura 2.22). De este modo se obtuvo una tasa de desalinización normalizada para un volumen de 1 L, resultante en  $-50.87 \mu\text{S}/\text{cm}/\text{min}/\text{L}$ .



**Figura 2.22 Variación de la CE en relación con el tiempo, para la determinación de tasas de permeado y concentrado en electrodiálisis (coflow) [Urdánigo y Verdezoto, 2023].**

En lo referente al porcentaje de recuperación de agua permeada, el objetivo fue obtener tasas de alrededor del 80%, sin embargo, por el fenómeno conocido como Transporte de Agua, este valor puede variar. Para obtener el porcentaje real de recuperación de agua permeada se realizó un balance de masa, del cual se puede observar los resultados en la Tabla 2.9. De esta manera, el porcentaje real de recuperación es de 66.57%.

**Tabla 2.9 Resultados del balance de masa para obtención del porcentaje de recuperación real de agua permeada en electrodiálisis (coflow) [Urdánigo y Verdezoto, 2023].**

CE Permeado	CE Rechazo	Balace de masa
3548,36	1781,64	5330,00
3108,97	2175,75	5284,72
2656,27	2732,97	5389,24
2223,55	3187,91	5411,45
1844,08	3593,37	5437,45
1504,56	3920,95	5425,51
1197,65	4228,48	5426,13
934,69	4459,12	5393,81
724,98	4649,66	5374,64
529,92	4800,08	5330,00

#### 2.5.4.2 Económico

Con los datos obtenidos por medio del software CS Studio 5, el cual monitorea el voltaje suministrado por el potencióstato al stack, se conoció que la corriente media empleada

por el sistema fue de 0.140 A. Para el aspecto económico se debe cuantificar el consumo energético, esto se logra obteniendo la energía específica que emplea el sistema; y se calcula mediante la Ecuación ( 2.6 ).

$$EE = \frac{V * I * t}{V * 60} * 1000 \quad (2.6)$$

Donde:

- V: Voltaje [V]
- I: Corriente [A]
- t: Tiempo de experimentación [min]
- V: Volumen de agua permeada [ml]
- EE: Energía específica [kWh/m<sup>3</sup>]

$$EE = \frac{6 * 0.140 * 90}{800 * 60} * 1000 = 1.58 \text{ kWh/m}^3$$

Esto resulta en que la planta de ED, bajo la configuración de flujo coflow, tenga un consumo energético de 1.58 kWh/m<sup>3</sup>, con un costo energético aproximado de \$0.15 por desalinizar 1 m<sup>3</sup> de agua salobre.

#### **2.5.4.3 Social**

Para determinar la eficiencia de remoción de sales se partió de la CE inicial del agua del pozo “Adela”, y la CE final del proceso de desalinización del permeado, y se empleó la Ecuación ( 2.4 ). Por consiguiente, se obtuvo una eficiencia de desalinización del 85.07%.

$$\% ED = \frac{5330 - 796}{5330} * 100 = 85.07 \%$$

#### **2.5.4.4 Ambiental**

A diferencia de OI, en el tratamiento de desalinización mediante ED se pueden obtener porcentajes mayores de agua permeada, evitando generar excesivos volúmenes de agua concentrada de sales, lo que facilita el post-tratamiento de los residuos generados

en el proceso. Por otro lado, en la Figura 2.22 se expone también la tasa de salinización resultado del proceso de remoción de sales del permeado. Este valor se obtuvo mediante la pendiente entre el tiempo y la CE del rechazo. Normalizando la tasa de salinización, para un 1 L de agua, resulta en valor de 102.56  $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{min}/\text{L}$ .

Recopilando la información expuesta en este apartado se asigna el puntaje correspondiente a cada factor como se muestra en la Tabla 2.10.

**Tabla 2.10 Puntuación asignada para cada factor de evaluación para la tecnología de desalinización mediante electrodiálisis (coflow) [Urdánigo y Verdezoto, 2023].**

Factor	Peso (100%)	Puntuación		
		5	10	15
Tasa de desalinización	15%	-	X	-
Tiempo de desalinización	5%	-	X	-
Porcentaje de recuperación	10%	-	-	X
Eficiencia de Desalinización	25%	-	-	X
Energía específica	30%	-	-	X
Tasa salinización	15%	-	X	-

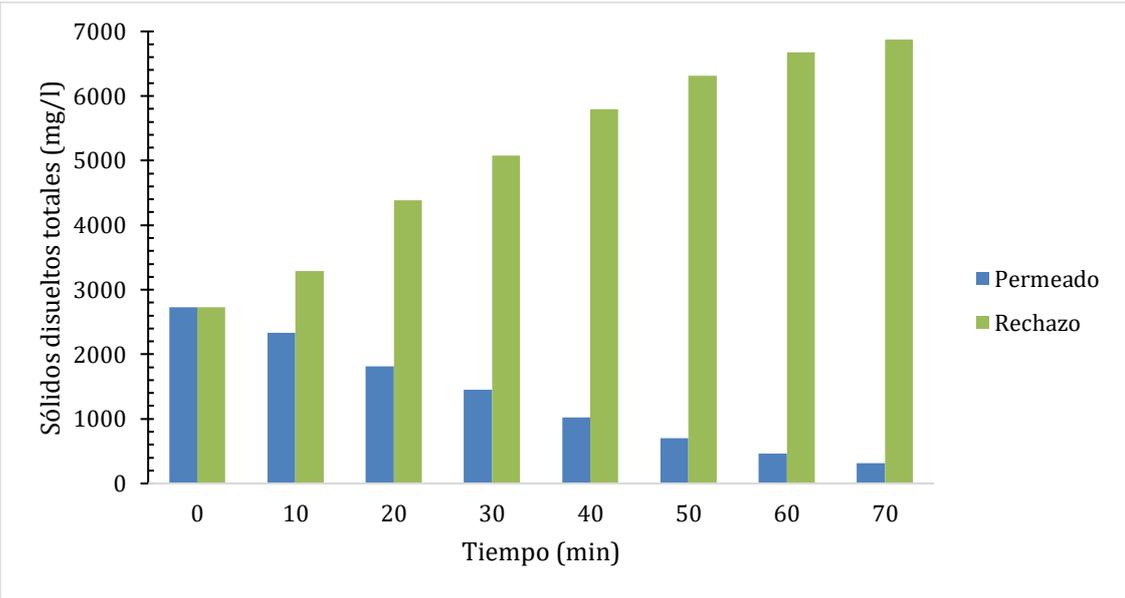
## 2.5.5 Alternativa 3: Electrodiálisis (Crossflow)

### 2.5.5.1 Técnico

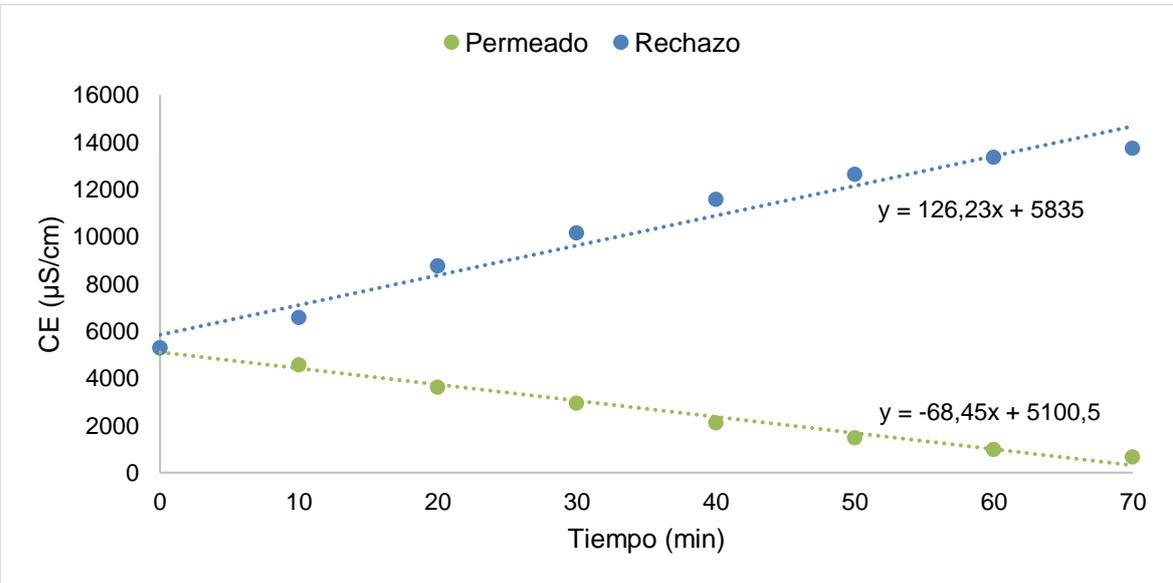
Partiendo de la experimentación con el sistema de ED (configuración de flujo coflow), se estableció parámetros de funcionamiento similares para recrear las condiciones óptimas de funcionamiento, y validarlas sobre la configuración de flujo Crossflow; de igual manera, se llevó a cabo distintos experimentos bajo condiciones de laboratorio para determinar el comportamiento e identificar las diferencias entre cada tipo de flujo en caso de existir. Los parámetros de funcionamiento óptimos empleados son:

- Pares de membranas = 6
- Caudal = 400 ml/min por canal
- Voltaje = 6 V
- Porcentaje de recuperación = 80%
- Volumen total tratado = 1000 ml

Se monitoreó los parámetros de CE y SDT de manera continua en intervalos de 10 minutos, durante un tiempo total de 70 minutos; tiempo empleado para reducir los parámetros iniciales a valores inferiores a los estipulados por la OMS. La Figura 2.23 y Figura 2.24 muestran el compendio de los datos recopilados.



**Figura 2.23 Variación de los SDT en relación con el tiempo, para agua de permeado y rechazo en electrodiálisis (crossflow) [Urdánigo y Verdezoto, 2023].**



**Figura 2.24 Variación de la CE en relación con el tiempo, para la determinación de tasas de permeado y concentrado en electrodiálisis (crossflow) [Urdánigo y Verdezoto, 2023].**

La tasa de desalinización se obtuvo de la misma forma que para la configuración de flujo coflow, dando como resultado una tasa normalizada de desalinización de -68.45  $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{min}/\text{L}$  (Figura 2.24).

Para obtener el porcentaje real de recuperación de agua permeada se realizó el balance de masa, del cual se puede observar los resultados en la Tabla 2.11. Por tanto, el porcentaje real de recuperación es del 64.65%.

**Tabla 2.11 Resultados del balance de masa para obtención del porcentaje de recuperación real de agua permeada en electrodiálisis (crossflow) [Urdánigo y Verdezoto, 2023].**

<b>CE Permeado</b>	<b>CE Rechazo</b>	<b>Balance de masa</b>
3420,08	1869,92	5290,00
2954,59	2320,60	5275,20
2333,93	3096,50	5430,43
1894,30	3584,30	5478,60
1364,15	4089,78	5453,93
952,97	4460,93	5413,90
636,17	4715,44	5351,61
433,17	4856,83	5290,00

### **2.5.5.2 Económico**

Acorde con el monitoreo de la corriente eléctrica llevada a cabo por el software CS Studio 5, la corriente media empleada para desalinizar el agua salobre fue de 0.188 A. De manera similar se realizó el cálculo de la energía específica utilizada por el sistema de ED (configuración Crossflow), repitiendo el uso de la Ecuación ( 2.6 ). Como resultado de este cálculo, se obtuvo un valor de 1.65 kWh/m<sup>3</sup>.

$$EE = \frac{6 * 0.188 * 90}{800 * 60} * 1000 = 1.65 \text{ kWh/m}^3$$

Esto resulta en que la planta de electrodiálisis, bajo la configuración Crossflow, tenga un costo aproximado de \$0.15 por desalinizar 1 m<sup>3</sup> de agua salobre.

### 2.5.5.3 Social

Para determinar la eficiencia de remoción de sales se partió de los datos de CE inicial del agua y CE final del permeado, empleando la Ecuación ( 2.4 ). Por consiguiente, se obtuvo una eficiencia de desalinización del 87.33%.

$$\% ED = \frac{5290 - 670}{5290} * 100 = 87.33 \%$$

### 2.5.5.4 Ambiental

En la Figura 2.24 se expone la tasa de salinización, resultado del proceso de transporte de iones del flujo concentrado al flujo permeado. Este valor se calculó mediante la pendiente entre el tiempo y la CE del rechazo, resultando en una tasa normalizada de salinización de 126.23  $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{min}/\text{L}$ .

Finalmente, recopilando la información expuesta en este apartado se asigna el puntaje correspondiente a cada factor como se muestra en la Tabla 2.12.

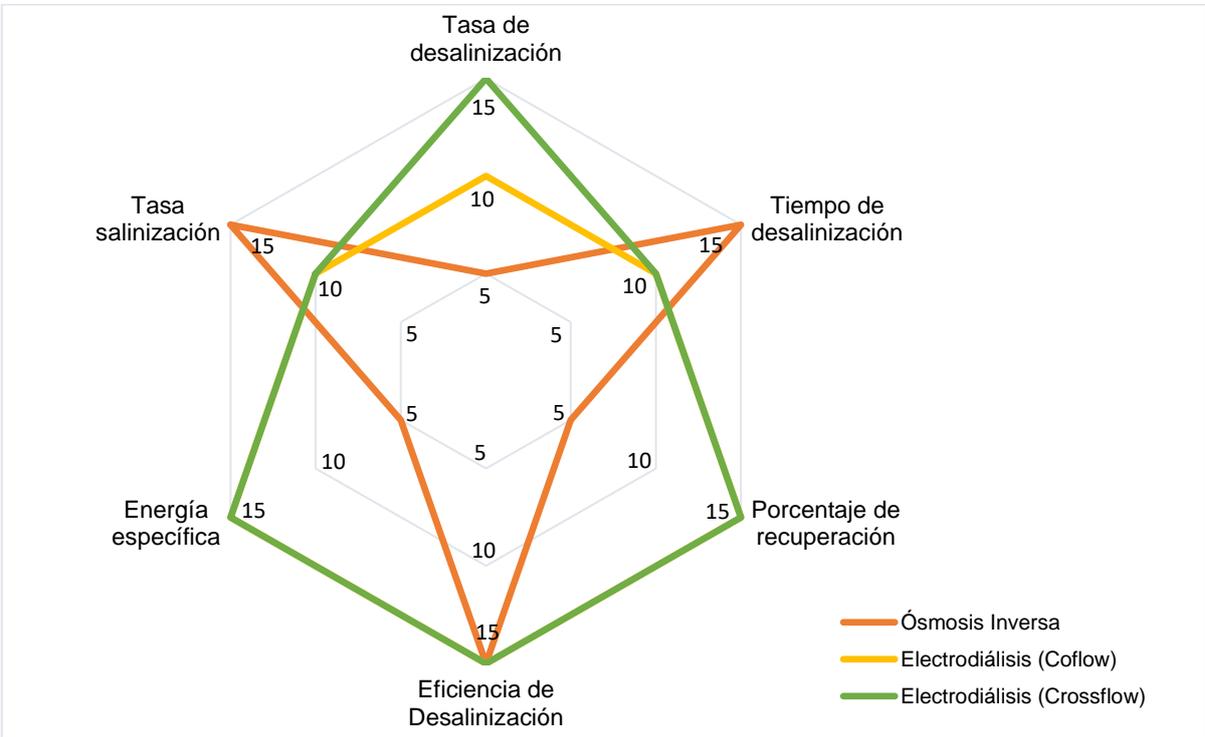
**Tabla 2.12 Puntuación asignada para cada factor de evaluación para la tecnología de desalinización mediante electrodiálisis (crossflow) [Urdánigo y Verdezoto, 2023].**

Factor	Peso (100%)	Puntuación		
		5	10	15
Tasa de desalinización	15%	-	-	X
Tiempo de desalinización	5%	-	X	-
Porcentaje de recuperación	10%	-	-	X
Eficiencia de Desalinización	25%	-	-	X
Energía específica	30%	-	-	X
Tasa salinización	15%	-	X	-

### 2.5.6 Selección de alternativa óptima

La Figura 2.25 muestra el compendio de las puntuaciones asignadas entre 5 y 15 puntos a cada alternativa de desalinización para cada uno de los 6 factores a evaluar de los criterios: técnico, social, económico y ambiental; en la cual se puede ver los puntos

fuertes y las falencias de cada tecnología. OI presenta una notable fortaleza en el tiempo empleado, la eficiencia de desalinización y concentraciones de salinidad bajas en el rechazo; mientras se ve fuertemente limitada en la tasa de desalinización, tiene un alto consumo energético y genera gran porcentaje de aguas de rechazo. En cambio, la tecnología de ED destaca por su rendimiento energético, alto porcentaje de recuperación de agua permeada y eficiencia de desalinización. Sin embargo, muestra una mayor tasa de salinización y tiempo de desalinización en comparación con la alternativa de OI, aunque no se queda muy rezagada. En general, esto coloca a ambas alternativas de ED en una posición favorable. Finalmente, la diferencia entre la distribución de flujo coflow y crossflow radica en la tasa y el tiempo de desalinización del permeado, donde la tecnología de crossflow se muestra superior en comparación.



**Figura 2.25 Esquema radial de las fortalezas y limitaciones de los factores evaluados en cada alternativa de desalinización [Urdánigo y Verdezoto, 2023].**

La Tabla 2.13 muestra los puntajes netos ponderados obtenidos por las alternativas propuestas en cada uno de los factores de evaluación. Donde se evidencia mejor desempeño de ED con configuración de flujo tipo crossflow. En el criterio técnico esta alternativa presenta tasa de desalinización de  $-68.45 \mu\text{S}/\text{cm}/\text{min}/\text{L}$ , tiempo de desalinización de 70 min y un porcentaje de recuperación real del 64.65%. Por otro lado,

en el criterio social presenta un porcentaje de eficiencia de desalinización del 87.33%, cumpliendo los requerimientos normativos para agua de consumo humano. En lo que concierne al criterio económico el sistema tiene un consumo energético de 1.65 kWh/m<sup>3</sup> que representa un costo energético de \$0.15/m<sup>3</sup>. Finalmente, en el criterio ambiental se tiene una tasa de salinización de 126.23 µS/cm/min/L. Datos que permiten asignar un puntaje del 93% a esta alternativa, lo que la posiciona como la tecnología avanzada de desalinización óptima.

**Tabla 2.13 Comparación de las puntuaciones de las distintas alternativas en relación a sus ponderaciones individuales. [Urdánigo y Verdezoto, 2023].**

Factor	Peso (100%)	Tecnologías de Desalinización		
		Ósmosis Inversa	Electrodialisis (Coflow)	Electrodialisis (Crossflow)
Tasa de desalinización	15%	15	5	10
Tiempo de desalinización	5%	15	10	10
Porcentaje de recuperación	10%	5	10	10
Eficiencia de Desalinización	25%	15	10	10
Energía específica	30%	5	15	15
Tasa salinización	15%	5	15	15
<b>Total Ponderado</b>	<b>100%</b>	63%	88%	<b>93%</b>

# CAPÍTULO 3

## 3. DISEÑOS Y ESPECIFICACIONES

### 3.1 Diseños

#### 3.1.1 Población futura

Para establecer una población de diseño se precisa estimar la población futura de la parroquia Chanduy. Partimos proponiendo un tiempo de vida útil del sistema de 25 años. Lo que señala una proyección al año 2049. Para una mejor estimación de la población se propone se propone analizar los resultados de tres métodos de proyección: exponencial, geométrico y aritmético.

Los datos poblacionales de la parroquia Chanduy fueron extraídos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC, 2023), y corresponden a los censos de población y vivienda de los años 1990, 2001 y 2010, como se muestra en la Tabla 3.1.

**Tabla 3.1 Datos poblacionales de los últimos censos de la parroquia Chanduy, Santa Elena [INEC, 2023].**

Año	Población
1990	11291
2001	14940
2010	16363

#### 3.1.1.1 Método Exponencial

El método exponencial sigue el modelo representado por la ecuación ( 3.1 ). Donde  $P_{CA}$  hace referencia a censo poblacional más reciente,  $P_{CP}$  a la población del censo anterior y  $P_f$  a la población futura. Además,  $T_{CA}$  se refiere al año del censo más reciente,  $T_{CP}$  al año del censo anterior, y  $T_f$  al año el cual se desea proyectar la población.

$$P_f = P_{CA} * e^{k(T_f - T_{CA})} \quad (3.1)$$

En cuanto al factor k, este es calculado mediante la ecuación ( 3.2 ).

$$k = \frac{\ln(P_{CP}) - \ln(P_{CA})}{T_{CP} - T_{CA}} \quad (3.2)$$

Para una mayor fidelidad de los datos, el valor de k utilizado en cada etapa corresponde al promedio de todos los k anteriores. Por tanto, el valor k empleado para estimar la población futura corresponde a 0.0178. Así se garantizó que el modelo matemático contemple todo el periodo de tiempo comprendido entre los años de 1990 hasta 2049; resultando en un total de 32741 habitantes proyectados, como lo indica Tabla 3.2.

**Tabla 3.2 Estimación de la población futura de Chanduy hasta el año 2049 mediante método exponencial [Urdánigo y Verdezoto, 2023].**

Año	Población
1990	11291
2001	14940
2010	16363
2024	20989
2029	22941
2034	25074
2039	27406
2044	29955
2049	32741

**3.1.1.2 Método Geométrico**

Otro método empleado para estimar poblaciones futuras es el método geométrico, que propone la ecuación ( 3.3 ), para aproximar el número de habitantes de una comunidad en un momento del futuro, en base a datos recopilados.

$$P_f = P_{CA}(1 + r)^{T_f - T_{CA}} \tag{ 3.3 }$$

El factor r fue calculado mediante la ecuación ( 3.4 ). Cabe destacar, que  $P_0$  hace referencia a la población del primer censo que se tiene registro, y  $T_0$  a su año correspondiente.

$$r = \left( \frac{P_{CA}}{P_0} \right)^{\frac{1}{T_{CA} - T_0}} - 1 \tag{ 3.4 }$$

La Tabla 3.3 muestra la población proyectada cada 5 años a partir del año 2024 hasta el año 2049.

**Tabla 3.3 Estimación de la población futura de Chanduy hasta el año 2049 mediante método geométrico [Urdánigo y Verdezoto, 2023].**

<b>Año</b>	<b>Población</b>
1990	11291
2001	14940
2010	16363
2024	21216
2029	23278
2034	25541
2039	28024
2044	30748
2049	33737

### 3.1.1.3 Método Aritmético

En contraste con los métodos anteriores, el método aritmético propone un modelo matemático lineal para estimar la población futura de una comunidad. Para calcular el número de habitantes a futuro con el método aritmético usamos la ecuación ( 3.5 ).

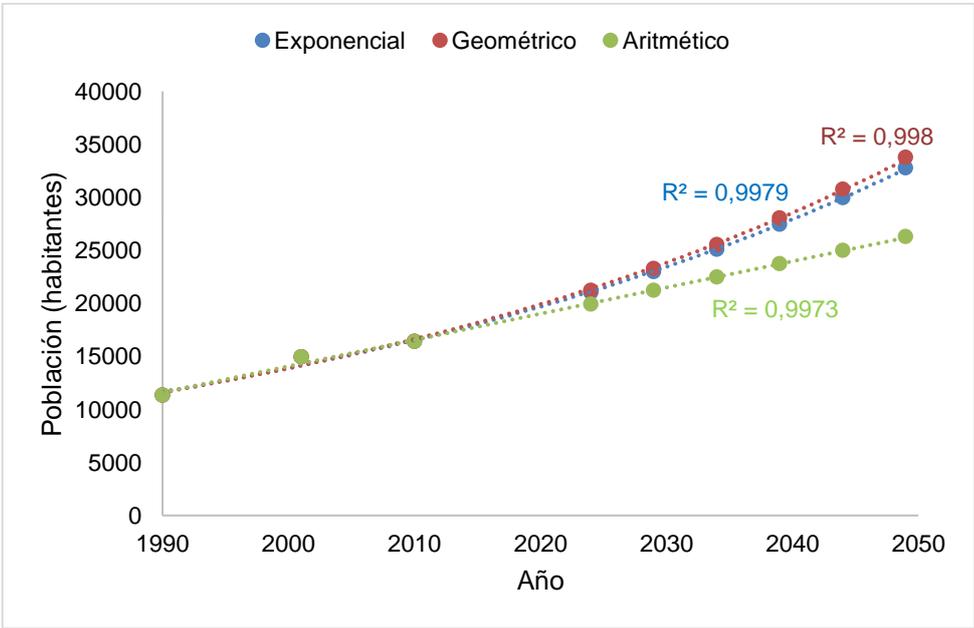
$$P_f = P_{CA} + \frac{P_{CA} - P_0}{T_{CA} - T_0} (T_f - T_{CA}) \quad ( 3.5 )$$

Al ingresar los datos de los últimos censos poblacionales en la ecuación ( 3.5 ), se obtiene la población futura estimada hasta el año 2049, como lo muestra la Tabla 3.4

**Tabla 3.4 Estimación de la población futura de Chanduy hasta el año 2049 mediante método aritmético [Urdánigo y Verdezoto, 2023].**

<b>Año</b>	<b>Población</b>
1990	11291
2001	14940
2010	16363
2024	19913
2029	21181
2034	22449
2039	23717
2044	24985
2049	26253

Finalmente, con la información recopilada de los métodos propuestos, se elaboró un gráfico que muestra el crecimiento poblacional en función del año, según el modelo matemático proyectado. Se analizó la Figura 3.1 para seleccionar el método más adecuado para representar el crecimiento de la población. Se observó que tanto el método exponencial como el geométrico presentaban un comportamiento similar, donde el crecimiento poblacional tuvo una tendencia exponencial; además de ajustarse a los datos de los censos existente. De esta manera, se estableció el coeficiente de determinación para medir la variabilidad en los datos, y determinar cuál método tenía el mejor ajuste. Se llegó a la conclusión de que el método geométrico era el que mejor se ajustaba al crecimiento poblacional esperado para la parroquia Chanduy. Según este método, se proyecta que la población alcanzará los 33737 habitantes para el año 2049.



**Figura 3.1 Estimación del crecimiento poblacional de la parroquia Chanduy, desde el año 1990 hasta 2050; métodos exponencial, geométrico y aritmético [Urdánigo y Verdezoto, 2023].**

**3.1.1.4 Población de diseño**

El presente proyecto busca diseñar y optimizar un sistema descentralizado de tratamiento de agua, con fines de desalinización, en la parroquia de Chanduy. Este sistema estará enfocado para la comuna Manantial de Chanduy, debido a que el pozo “Adela” se encuentra localizado en este poblado. De esta manera, se busca abastecer de agua para consumo humano, en términos de salinidad, a cerca de 480 viviendas de

la zona, con un estimado de 5 habitantes por predio, dando un total de 2400 habitantes abastecidos por cada sistema descentralizado.

### 3.1.2 Dotación de diseño

Dado que el GAD de Chanduy no proporciona los datos necesarios para calcular la dotación de agua requerida por sus habitantes, se hizo uso de la normativa CPE INEN 5 (INEN, 1992). Esta establece los límites de consumo de una población en función de la cantidad de habitantes, y de las condiciones climáticas del área donde se sitúa la comunidad. Como se expuso anteriormente, la parroquia Chanduy presenta un clima cálido, y se busca abastecer a alrededor de 2400 habitantes por planta desalinizadora. De modo que, según Tabla 3.5 se debe asumir una dotación de entre 170 a 200 L/hab/día; sin embargo, dado que la comunidad se asienta en una región semiárida donde el recurso hídrico es limitado se selecciona una dotación de 170 L/hab/día.

**Tabla 3.5 Dotación media futura recomendada por la CPE INEN 5 [INEN, 1992].**

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

### 3.1.3 Caudal de diseño

El presente proyecto contempla tres distintos caudales de diseño. El caudal medio, que se define como el promedio aritmético de los consumos registrados en un año calendario. Este caudal emplea la dotación futura, la población proyectada y un valor constante que permite obtener el resultado en litros por segundo, tal y como se muestra en la ecuación ( 3.6 ).

$$Q_m = \frac{\text{Dotación} * \text{Población}}{86400} \quad ( 3.6 )$$

$$Q_m = \frac{170 * 2400}{86400} = 4.72 \frac{L}{s}$$

El caudal máximo diario hace referencia al caudal en un día de máximo consumo, al final del periodo de diseño. Para el cálculo de este caudal se emplea la ecuación ( 3.7 ), y un factor KMD que oscila entre 1.3 y 1.5 según la normativa. Para el presente proyecto se escoge un valor de KMD igual a 1.3, debido a baja disponibilidad de agua en la zona.

$$Q_{MD} = KMD * Q_m \quad (3.7)$$

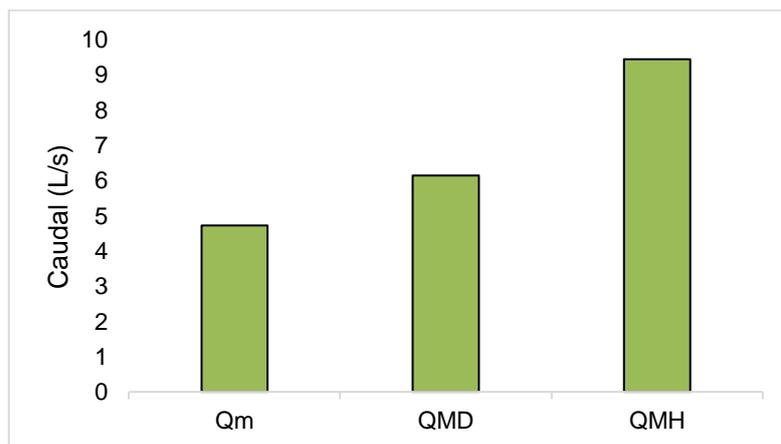
$$Q_{MD} = 1.3 * 4.72 = 6.14 \frac{L}{s}$$

Por otro lado, el caudal máximo horario representa el pico de consumo en una hora al final del periodo de diseño. Este caudal se obtiene mayorando el caudal medio por un factor KMH, que adopta valores de entre 2.0 y 2.3, tal y como lo muestra en la ecuación ( 3.8 ). Dadas las características del presente proyecto se opta por un KMH igual a 2.0.

$$Q_{MH} = KMH * Q_m \quad (3.8)$$

$$Q_{MH} = 2.0 * 4.72 = 9.44 \frac{L}{s}$$

De este modo, la Figura 3.2 muestra los resultados de los tres caudales de diseño. Donde el caudal medio (Qm) resultó en 4.72 l/s; el caudal máximo diario (QMD) arrojó un valor de 6.14 l/s; y el caudal máximo horario (QMH) fue de 9.44 l/s.



**Figura 3.2 Caudales de diseño para la planta descentralizada de ED a ser implementada en Chanduy [Urdánigo y Verdezoto, 2023].**

### 3.1.4 Medición de parámetros in-situ

En la etapa de muestreo se recolectó muestras de la fuente de agua subterránea denominada pozo “Adela”. Este punto fue escogido debido a que se emplea por la población tanto para consumo humano, como para actividades domésticas. Además, tiene una conductividad eléctrica representativa de la zona de estudio, la cual es de aproximadamente 5000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; y cuenta con un nivel de turbidez inferior a 2 NTU, lo cual es recomendable para evitar obstrucción de las membranas catiónicas y aniónicas en el stack de electrodiálisis.

De esta manera, se realizó la medición de CE, SDT, pH y T en campo. La Tabla 3.6 muestra los resultados de estos parámetros, donde se evidencia que el agua subterránea de la zona de estudio presenta un pH ligeramente alcalino de 7.39. De acuerdo con la NTE INEN 1108 (2019), el rango de pH para agua de consumo humano debe estar entre 6.5 y 8.0, de modo que el agua del pozo “Adela” se encuentra dentro de los límites aceptables. Sin embargo, la CE presenta un valor de 5350  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , el cual es superior al límite máximo permisible de 800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , establecido por la OMS sobre el agua apta para consumo humano.

**Tabla 3.6 Parámetros fisicoquímicos medidos in situ al agua del pozo “Adela” [Urdánigo y Verdezoto, 2023].**

CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	SDT (mg/L)	pH	T ( $^{\circ}\text{C}$ )
5350	2810	7.39	28.40

### 3.1.5 Medición de parámetros en laboratorio

Se realizó el análisis de iones mayoritarios en el agua muestreada para identificar algunos de los factores que contribuyen a la salinidad del agua muestreada. En la Tabla 3.7 se pueden observar iones como el cloruro, sodio y los sulfatos, cuyas concentraciones superan los límites establecidos por la OMS dentro del umbral gustativo para consumo humano. Por ejemplo, el agua muestreada contiene 813 mg/L de sodio, mientras que la OMS recomienda límites inferiores a 200 mg/L; de manera similar, el ion cloruro tiene una concentración de 1000 mg/L en el agua del pozo, pese a que la OMS sugiere que los valores del agua se mantengan por debajo de 300 mg/L para evitar un sabor salado, poco agradable al gusto. Tanto el cloruro como el sodio son iones que

contribuyen a la conductividad eléctrica del agua, lo que se refleja en el valor de este parámetro en el agua de la zona de estudio. Así mismo, el ion sulfato presenta una alta concentración de 920 mg/L, donde la OMS recomienda que de existir fuentes de agua con concentraciones superiores a los 500 mg/L, se debe notificar a las autoridades, debido a los efectos gastrointestinales que puede ocasionar su consumo excesivo (World Health Organization, 2011).

**Tabla 3.7 Resultado del análisis de iones de la muestra de agua del pozo “Adela” [Urdánigo y Verdezoto, 2023].**

Concentración de iones (mg/L)								
Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
208.0	111.8	920.0	1000.0	4.7	0.011	12.0	813.0	258.0

El error de balance iónico se obtuvo como método para verificar la precisión de los resultados obtenidos de las concentraciones de los iones. En la Tabla 3.8, se muestra los resultados de la suma de los aniones y cationes para el cálculo del error. Donde se obtuvo 51.7 mEq/L de la suma de aniones, y 55.4 mEq/L de la suma de cationes.

**Tabla 3.8 Suma de aniones y cationes para cálculo de error de balance iónico [Urdánigo y Verdezoto, 2023].**

Suma	mEq/L
Aniones	51.7
Cationes	55.4

$$Error\ iónico = \frac{\sum cationes - \sum aniones}{\sum cationes + \sum aniones} * 100 = 3.40 \%$$

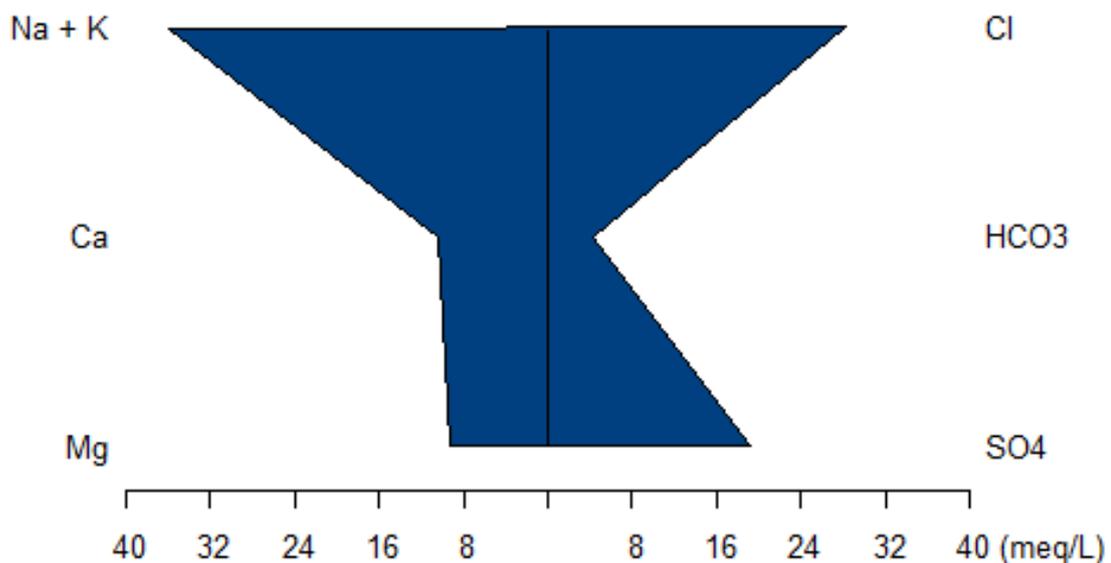
El resultado final del balance iónico fue de 3.40%, por lo que la medición fue aceptada al encontrarse dentro del rango aceptable de  $\pm 10\%$ .

Por otro lado, la

Figura 3.3 representa el diagrama de Stiff, con los resultados de las concentraciones de iones en mEq/L, en la cual se expone los cationes: Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>; y los aniones: Cl<sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. Este diagrama permitió determinar que el agua muestreada es de tipo

clorurada sódica-sulfatada, debido a las concentraciones de 35 mEq/L de sodio-potasio, 28 mEq/L del ion cloro y 19 mEq/L de sulfatos.

Las características del agua pueden deberse a factores geológicos y antrópicos. En lo referente al factor geológico, el pozo "Adela" se encuentra ubicado en la Formación Tablazo, que es una unidad geológica principalmente compuesta por rocas sedimentarias, resultado de la acumulación de sedimentos marinos. El  $\text{Ca}^{2+}$  es un ion común en el agua en este tipo de formación, ya que hay presencia de minerales como la calcita y la dolomita. La presencia de ion  $\text{SO}_4^{2-}$ , por su parte, puede deberse a minerales sulfurados como pirita y yeso, comunes en la formación. Por otro lado, la existencia de  $\text{Cl}^-$  y  $\text{Na}^+$  en el agua, puede estar ligada tanto a infiltraciones de agua de mar, como a la presencia de minerales como la halita (GAD Chanduy, 2020).



**Figura 3.3 Diagrama de Stiff del pozo "Adela" que muestra el tipo de agua de la zona de estudio [Urdánigo y Verdezoto, 2023].**

En cuanto al factor antrópico, la calidad del agua se ve influenciada por una importante actividad acuícola, la misma que emplea productos químicos en sus procesos; lo que explica la presencia de  $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$  en el agua. Además, el agua que emplean en camaroneras es de origen marino, lo que aporta altas concentraciones de  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ . Cuando el agua usada en estos procesos se infiltra en el suelo, lleva consigo una alta

concentración de estos iones, los mismos que modifican el estado natural de los acuíferos otorgando las propiedades expuestas al agua.

La calidad del agua es un aspecto fundamental para la salud y bienestar de la población. Del análisis de la calidad del agua de la fuente subterránea "Adela", se ha evidenciado una alta presencia de salinidad en el agua de consumo humano. Para hacer frente a este desafío y garantizar el acceso de agua segura para todos, se plantea la implementación de un sistema descentralizado de tratamiento que permita desalinizar el agua subterránea. Contribuyendo a cumplir con el Objetivo de Desarrollo Sostenible #6 de la OMS, y considerando el desarrollo de un proceso de sostenible, considerando los recursos disponibles y su impacto ambiental.

### **3.1.6 Diseño de sistemas de pretratamiento y postratamiento**

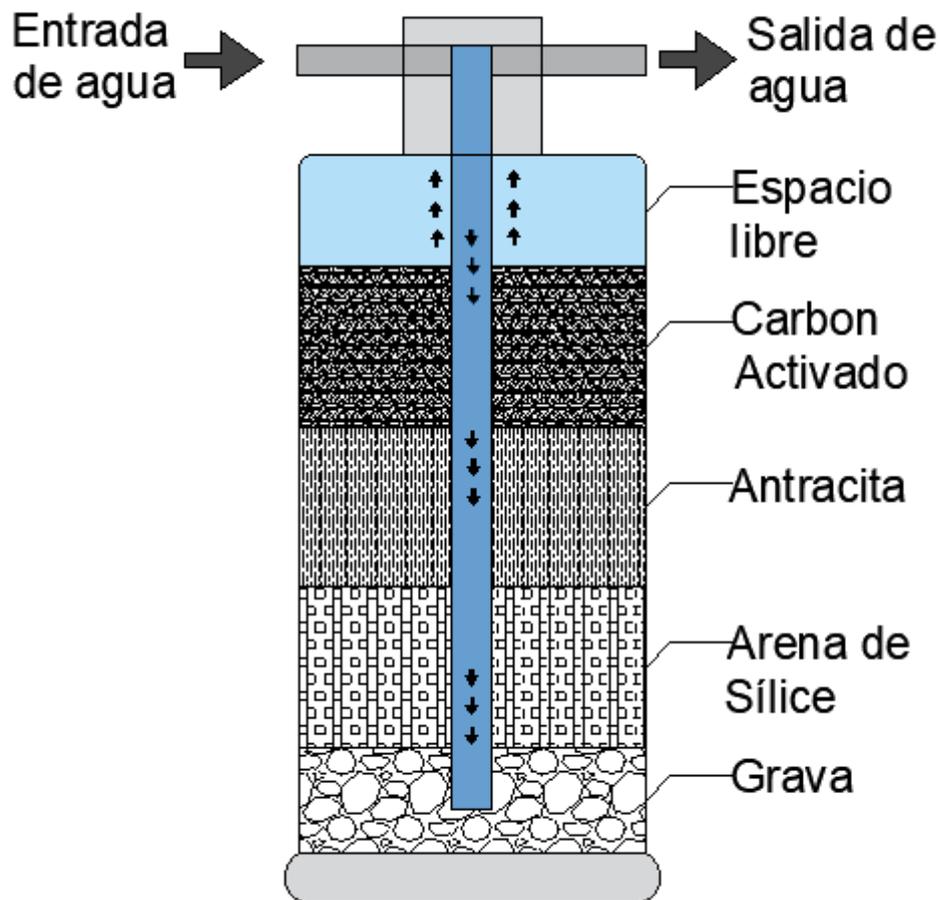
Con el fin de garantizar un proceso de desalinización eficiente y seguro, se propone un sistema de pretratamiento para el agua a tratar, un tanque de almacenamiento, y un postratamiento para el agua concentrada de iones. El pretratamiento ayudará a disminuir la concentración de turbidez para proteger las membranas que se utilizan en el proceso de electrodiálisis. El proceso de postratamiento consiste en evaporar el agua de rechazo (contiene altas concentraciones de sal) para de esta manera gestionar los residuos del proceso de tratamiento (alta concentración de sal en el agua).

#### **3.1.6.1 Filtración multimedia**

Puesto a que el agua salobre del pozo puede contener sólidos suspendidos, sedimentos, algas, dureza, y demás partículas que pueden obstruir y alterar la vida útil de las membranas empleadas en electrodiálisis, es necesario eliminar estas impurezas. Esto se puede llevar a cabo a través de la implementación de un filtro multimedia, que se acople al sistema descentralizado de tratamiento de agua, de modo que se garantice una operación eficiente del sistema de electrodiálisis, y una mejora en la vida útil de las membranas.

El filtro multimedia es un sistema de filtración compuesto por medios granulares de distintos tamaños, donde las capas superiores atrapan las partículas más grandes, de

manera que las más pequeñas se quedan retenidas en las capas inferiores (Merinsac, n.d.). A continuación, se presenta la selección de los medios filtrantes para el filtro multimedia, como se muestra en la Figura 3.4.



**Figura 3.4 Esquema del filtro multimedia para pretratamiento de agua subterránea [Urdánigo y Verdezoto, 2023].**

Para retener las partículas suspendidas de mayor tamaño en el agua se propone una primera capa de grava que brinde soporte a los medios filtrantes más finos, evitando que estos se desplacen o se agiten durante el flujo del agua. Como segunda capa se propuso una cama de arena de sílice, la cual se encargará de retener partículas de distintos tamaños, como sedimentos, arcillas y materia orgánica. La siguiente capa se compone de antracita, un medio más fino que la arena de sílice y que permite la retención de partículas de menor diámetro, especialmente facilitando la retención de sólidos en suspensión, eliminando la turbidez más ligera (AQUA SYSTEMS, 2023). Finalmente, la última capa se propone que sea de carbón activado, debido a que es altamente poroso

y tiene propiedades que le permiten absorber sustancias que afectan el color y sabor del agua, además de absorber contaminantes orgánicos, y reducir sulfatos, cloruros y dureza total del agua (Lévano, 2017).

Una vez que el agua subterránea pasa por el proceso de filtración inicial, el flujo se redirecciona mediante bombas hacia tanques para la desalinización por medio del sistema de tratamiento de electrodiálisis, con tipo de flujo crossflow.

### 3.1.6.2 Tanque de almacenamiento

Con el fin de garantizar la continuidad del servicio mientras el sistema está desalinizando, se propone la construcción de un tanque de almacenamiento de agua tratada que surta a la población, de 2400 habitantes, del líquido vital de manera ininterrumpida. Para esto se diseña un tanque de almacenamiento cilíndrico con capacidad del 30% del volumen requerido en un día. El detalle de los cálculos del volumen del tanque de almacenamiento de agua permeada ( $V_t$ ), se muestran a continuación. Donde el  $Q_{MD}$  hace referencia al Caudal medio diario, y  $t$  se refiere al tiempo.

$$V_t = 30\% * Q_{MD} * t \quad (3.9)$$

$$V_t = 30\% * 407.80 \frac{m^3}{día} * 1 \text{ día}$$

$$V_t = 122.40 \text{ m}^3$$

El volumen del tanque de almacenamiento que se requiere es de  $122.40 \text{ m}^3$ . De esta forma, se propone una altura máxima de 2.50 m para el cilindro de almacenamiento, por lo que el área de la base ( $A_b$ ) y el diámetro ( $d$ ) del tanque son:

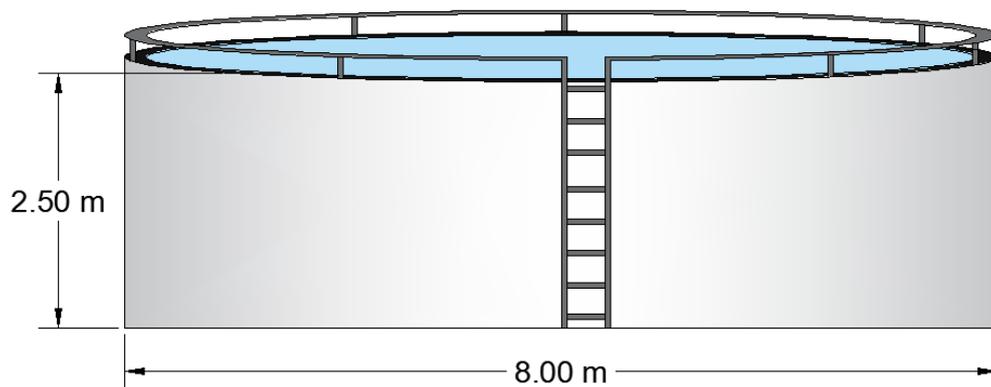
$$A_b = \frac{V}{h} \quad (3.10)$$

$$A = \frac{122.4 \text{ m}^3}{2.5 \text{ m}} = 48.96 \text{ m}^2$$

$$d = 2 * \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (3.11)$$

$$d = 2 * \sqrt{\frac{48.96}{\pi}} = 7.89 \text{ m}$$

Finalmente, las dimensiones del tanque de almacenamiento propuesto para mantener la continuidad del servicio son de 2.50 m de altura, y 8.00 m de diámetro, dando un volumen máximo de 125.7 m<sup>3</sup>.



**Figura 3.5 Dimensionamiento de tanque de almacenamiento para el agua permeada [Urdánigo y Verdezoto, 2023].**

### 3.1.6.3 Piscina de sedimentación de salmueras

Con el objetivo de minimizar el impacto ambiental que pueda producir el agua de rechazo producto del tratamiento se propone un sistema de piscinas de evaporación como parte de un postratamiento. La finalidad de esta propuesta es obtener los minerales y nutrientes del agua residual y convertirlos en materia prima de otras industrias en vez de regresarlos a un cuerpo de agua y alterar el equilibrio de los ecosistemas. Esta propuesta contempla la construcción de una serie de 12 piscinas de evaporación de salmueras con la capacidad de tratar hasta 183 m<sup>3</sup> de agua al día, volumen que corresponde con la cantidad de agua residual que produciría el sistema tras un día de operación. A continuación, se detallan los cálculos realizados.

Partiendo del caudal medio diario requerido por la población, que corresponde al caudal de salida de la planta, y conociendo el porcentaje de recuperación real de la planta de ED, se calculó el caudal de ingreso al sistema y el volumen de rechazo:

$$Q_{\text{ingreso}} = \frac{Q_{MD}}{\%Rec} \quad (3.12)$$

$$Q_{\text{ingreso}} = \frac{4.72}{0.69} = 6.84 \frac{l}{s} = 591 \frac{m^3}{\text{dia}}$$

$$Q_{\text{rechazo}} = Q_{\text{ingreso}} * (1 - \%Rec) \quad (3.13)$$

$$Q_{\text{rechazo}} = 591 \frac{m^3}{\text{dia}} * (1 - 0.69) = 183.21 \frac{m^3}{\text{dia}}$$

$$V_{\text{rechazo}} = Q_{\text{rechazo}} * t \quad (3.14)$$

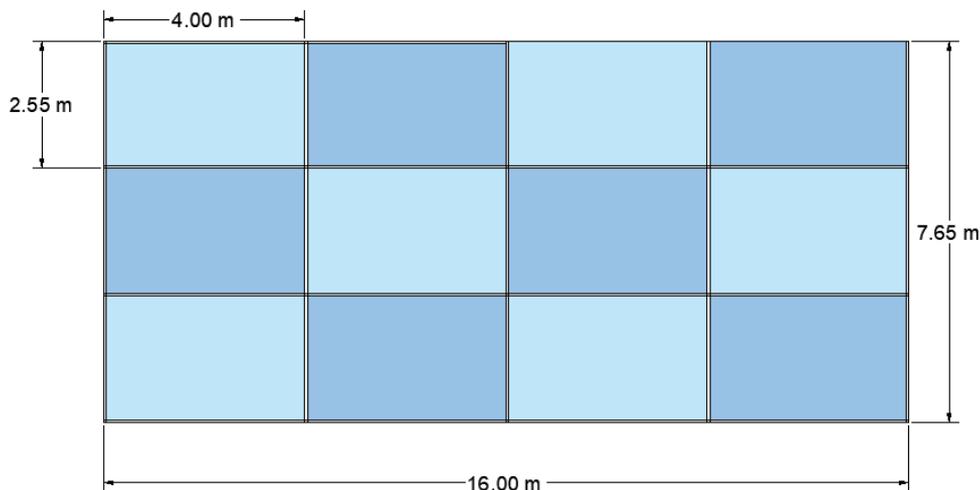
$$V_{\text{rechazo}} = 183.21 \frac{m^3}{\text{dia}} * 1 \text{ día} = 183.21 m^3$$

Una vez definido el volumen a tratar se divide para las 12 piscinas, resultando un volumen por piscina de 15.27 m<sup>3</sup>, y se propone una profundidad de cada piscina de 1.50 m y una base rectangular con ancho de 4.00 m para maximizar el área de incidencia del sol.

$$A = \frac{V}{h} = \frac{15.27 m^3}{1.50 m} = 10.18 m^2$$

$$\text{Largo} = \frac{A}{\text{ancho}} = \frac{10.18}{4} = 2.55 m$$

En resumen, el diseño de las piscinas de evaporación de salmueras constará de 12 unidades, con 4.00 m de ancho, 2.55 m de largo, y una profundidad de 1.50 m. El total de capacidad de recepción de agua concentrada de sales será de 15.30 m<sup>3</sup>. Y se requerirá de 122.4 m<sup>2</sup> de terreno para las 12 piscinas, como se puede ver la Figura 3.6.



**Figura 3.6 Dimensionamiento de piscinas de evaporación de salmueras para postratamiento de agua de rechazo [Urdánigo y Verdezoto, 2023].**

En la Figura 3.7 se muestra el esquema para el sistema descentralizado de tratamiento con fines de desalinización, para una comunidad en la parroquia Chanduy. El tren de tratamiento consiste en la captación de agua de pozo por medio de una bomba, que conduzca el agua hacia un filtro multimedia que elimine sólidos suspendidos y turbidez que pueda afectar la vida útil de las membranas. Seguidamente, el agua filtrada será conducida a un sistema de desalinización mediante electrodiálisis, con un tipo de flujo crossflow.

El sistema de electrodiálisis contendrá 3 componentes principales, entre los que consta una bomba peristáltica que regula el caudal de entrada hacia las membranas, una fuente energía que imparta de voltaje constante al sistema, y un stack de membranas eléctricamente cargadas, que permitirán la desalinización al remover iones de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  del agua permeada. Adicionalmente, el sistema deberá contar con sistemas de monitoreo y control para garantizar el correcto funcionamiento de la planta, y la calidad deseada del agua, en términos de salinidad.

El agua tratada será conducida a la red de distribución para el consumo humano, y un 30% del volumen requerido diario será almacenado en un tanque de almacenamiento. Y finalmente, el agua de rechazo pasará a piscinas de sedimentación de salmueras para reducir el impacto ambiental, y obtener el producto de la sal para su aprovechamiento en otras industrias.

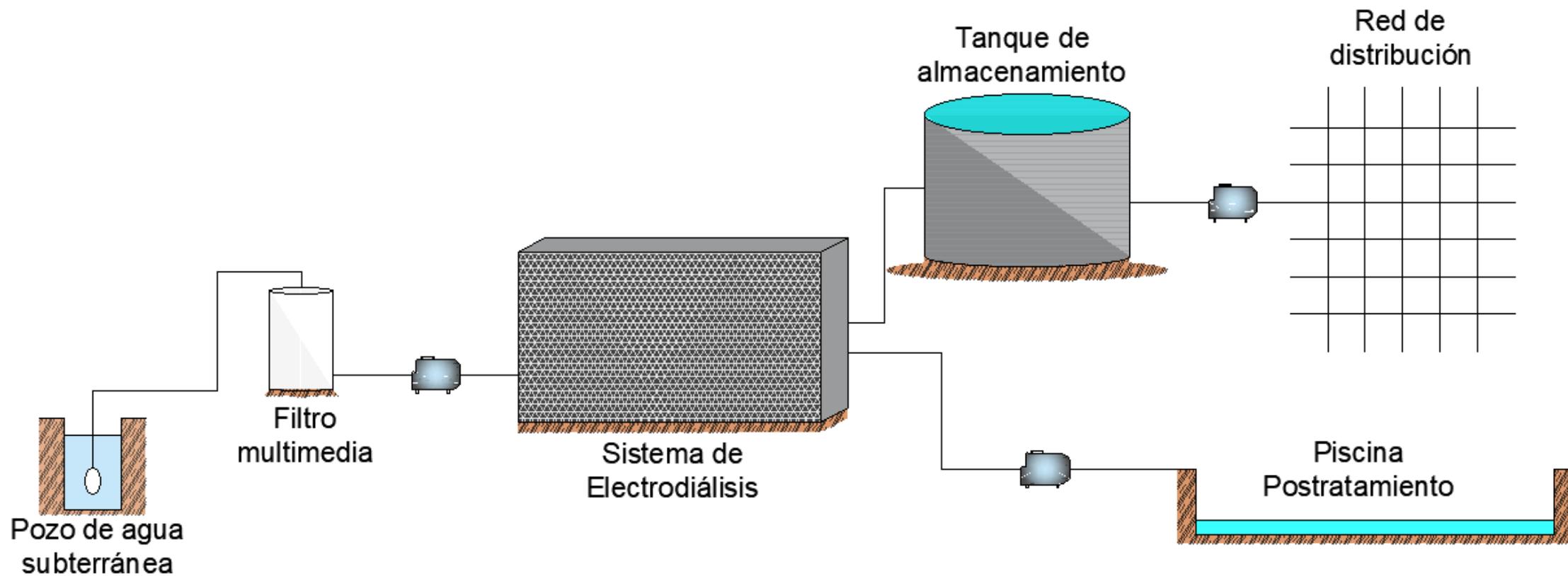


Figura 3.7 Diagrama del tren de tratamiento de la planta de desalinización utilizando electrodiálisis para la comunidad de Chanduy [Urdánigo y Verdezoto, 2023].

### **3.2 Optimización del sistema de electrodiálisis**

Del análisis de alternativas ejecutado en el capítulo 2, el sistema de electrodiálisis, con tipo de flujo crossflow, fue seleccionado como la alternativa óptima para la desalinización del agua subterránea en la parroquia Chanduy. Esto debido a que en comparación con coflow, contaba con una tasa de desalinización 26% más rápida, y reducía el tiempo de operación en un 22%, para desalinizar el agua bajos los límites máximos permisibles indicados según la OMS; es decir, 800  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para CE, y 500 mg/L para SDT.

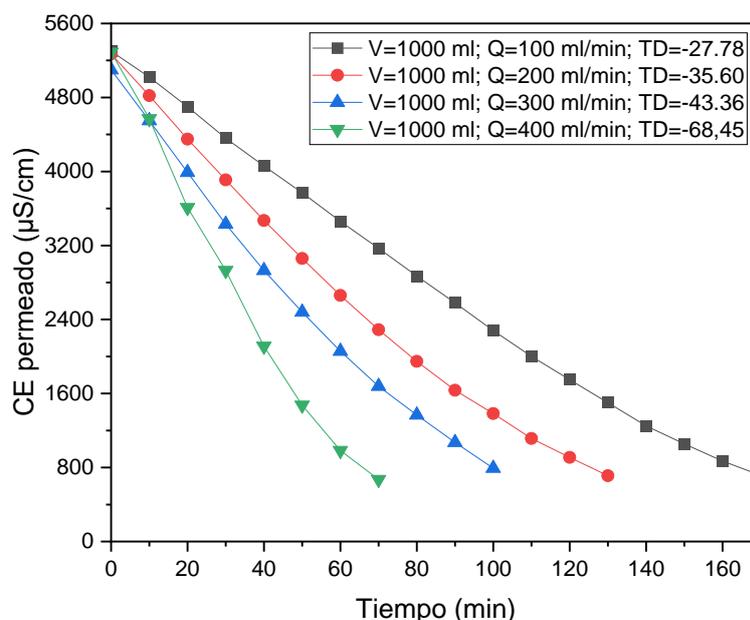
El objetivo de esta sección es determinar el caudal y volumen óptimo del sistema de electrodiálisis, utilizando un flujo crossflow con el fin de determinar la escalabilidad del sistema, tratando el mayor volumen de agua en un determinado tiempo con el menor consumo energético. Para ello, se propone variar el caudal desde 100 ml/min hasta 400 ml/min, e incrementar el volumen de agua a tratar de 1000 ml a 2000 ml. De manera que se analice el comportamiento de los caudales de 100, 200, 300 y 400 ml/min, tanto para 1000 ml, como para 2000 ml, y su incidencia en la energía específica, tiempo, y porcentaje de recuperación real de agua permeada.

El agua que se empleó en los procesos de desalinización fue agua muestreada de la zona de estudio, con características de 5350  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en su CE, y 2810 mg/L de SDT. Para esto se aplicó voltaje de 6 V para todos los experimentos, empleando 6 pares de membranas en la configuración del stack de electrodiálisis, y un porcentaje teórico de recuperación del 80%.

#### **3.2.1 Efecto de variación de caudal sobre tasa de desalinización y tiempo de operación**

Para identificar el efecto del caudal en la tasa de desalinización (TD) y el tiempo de operación, se varió el caudal de alimentación entre 100, 200, 300 y 400 ml/min, manteniendo un volumen constante de 1000 ml. La Figura 3.8 muestra el efecto de la variación de caudal en la conductividad eléctrica versus el tiempo de operación del sistema de tratamiento. Los resultados demuestran que la TD aumenta en función del aumento del caudal. Por ejemplo, la TD aumentó desde -27.78 hasta -68.45  $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{min}$  incrementando el caudal de 100 a 400 ml/min, respectivamente. Con tasas intermedias de -35.60  $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{min}$  para 200 ml/min, y 43.36  $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{min}$  para 300 ml/min.

Este sistema de electrodiálisis requirió de menor tiempo de operación al utilizar un mayor caudal para realizar el proceso de tratamiento; para ejemplificar, el tiempo disminuyó de 170 min (Q=100 ml/min) a 70 min (Q=400 ml/min), esta configuración permite alcanzar el LMP de 800  $\mu\text{S}/\text{cm}$  recomendado por la OMS con un mayor caudal de agua. Estudios recientes han reportado resultados similares a los determinados en este estudio. Por ejemplo, bajo condiciones experimentales de volumen tratado igual a 200 ml, al incrementar el caudal de 10 hasta 50 ml/min, el tiempo de desalinización disminuyó en un 58% (Espinoza & Franco, 2022).

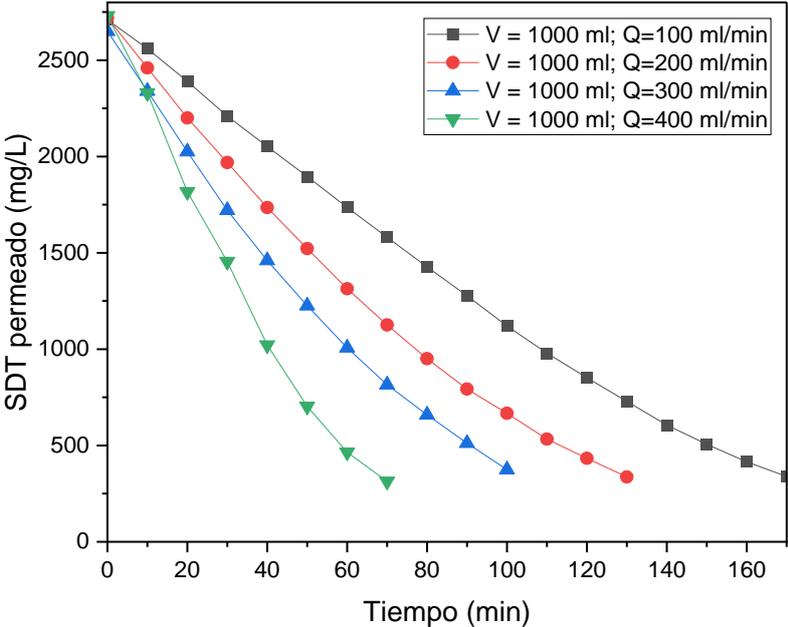


**Figura 3.8 Efecto de la variación de caudal en la tasa de desalinización de electrodiálisis (crossflow), con volumen constante de 1000 ml [Urdánigo y Verdezoto, 2023].**

Se analizó fue la presencia de SDT en el agua y su variación en función del tiempo para cada experimento, con el fin de encontrar una tendencia al variar el caudal de alimentación. En los resultados se encontró que los SDT disminuyeron en el agua tratada cuando mayor fue el caudal impartido al sistema, hasta situarse por debajo del LMP de 500 mg/L. Este resultado era esperado debido a que los SDT y la CE tienen una relación directa; es decir los SDT son aproximadamente el 64% de la CE.

En la Figura 3.9 se muestra el comportamiento de los SDT para los cuatro caudales analizados. Donde se observa que al caudal de 100 ml/min le toma 160 minutos situar la

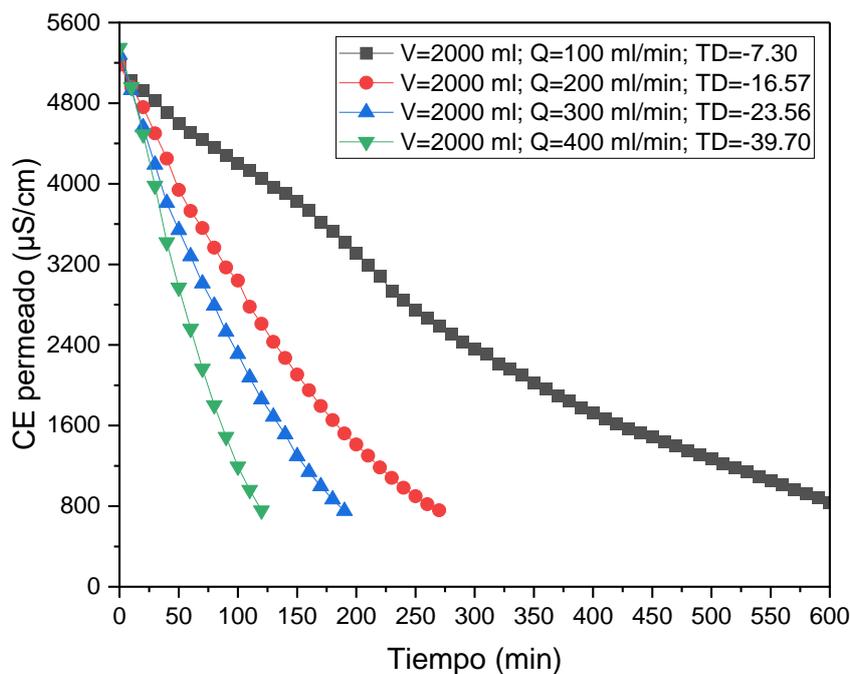
cantidad de sólidos disueltos por debajo del límite. Mientras que al caudal de 200 ml/min y 300 ml/min les toma 120 y 100 minutos, respectivamente. De este modo, se observa una disminución progresiva del tiempo de desalinización; hasta llegar al caudal de 400 ml/min, al cual le toma 60 minutos posicionarse dentro del límite, lo que significa una reducción del 59% en el tiempo empleado respecto al caudal de 100 ml/min.



**Figura 3.9 Incidencia de la variación del caudal en la disminución de la concentración de los SDT a través del tiempo, con volumen constante de 1000 ml [Urdánigo y Verdezoto, 2023].**

Con fines de escalabilidad piloto del sistema, se replicaron los experimentos de la etapa anterior con el doble del volumen, es decir con 2000 ml. Nuevamente se evaluaron caudales de 100, 200, 300 y 400 ml/min para determinar si existe relación entre los datos obtenidos cuando el volumen a tratar era de 1000 ml. Se realizó la gráfica de CE del permeado versus tiempo de operación, representada en la Figura 3.10, donde se muestran en conjunto los resultados de los cuatro experimentos. Los resultados ratifican que el aumento del caudal tiene un impacto positivo en la tasa de desalinización y el tiempo empleado. Para ejemplificar, con un caudal de 100 ml/min, se requieren 600 minutos para alcanzar valores de CE eléctrica por debajo de los 800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , lo que da como resultado una TD de  $-7.3 \mu\text{S}/\text{cm}/\text{min}$ . En el segundo experimento, con un caudal

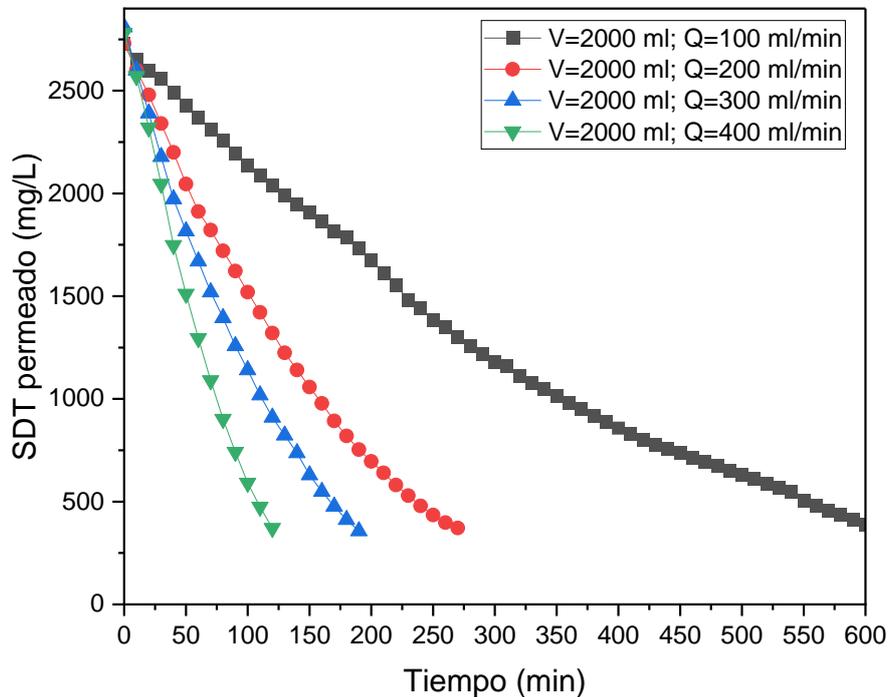
de alimentación de 200 ml/min, se observa un proceso 65% más rápido, ya que solo se necesitaron 270 minutos para desalinizar el volumen de agua, presentando una tasa de  $-16.57 \mu\text{S/cm/min}$ . De igual manera con un el caudal de 300 ml/min, se observa una reducción en el tiempo de operación, ya que necesitó de 190 minutos, y presentó una tasa de  $-23.56 \mu\text{S/cm/min}$ . Y finalmente, en el caso del experimento con un caudal de 400 ml/min, se evidenció una TD de  $-39.70 \mu\text{S/cm/min}$  y una duración de 120 minutos; destacándose como la configuración más rápida en desalinizar el agua.



**Figura 3.10 Efecto de la variación de caudal en la tasa de desalinización de electrodiálisis (crossflow), con volumen constante de 2000 ml [Urdánigo y Verdezoto, 2023].**

Al analizar los SDT en cada experimento para el incremento del volumen a 2000 ml, se observa nuevamente la relación que guarda con la CE. La Figura 3.11 muestra la disminución de la concentración de SDT en cada uno de los experimentos en función del tiempo, hasta llegar a concentraciones inferiores a 500 mg/L. Se puede observar que el tiempo que le toma a 100 ml/min, es de 560 minutos; mientras que para 200 y 300 ml/min, fue de 240 y 170 minutos, respectivamente. De esta manera, se expone que nuevamente al caudal de 100 ml/min es al que más tiempo le toma alcanzarlos valores permisibles,

mientras que el caudal de 400 ml/min, con un tiempo de operación de 110 minutos, se posiciona como la configuración más rápida.

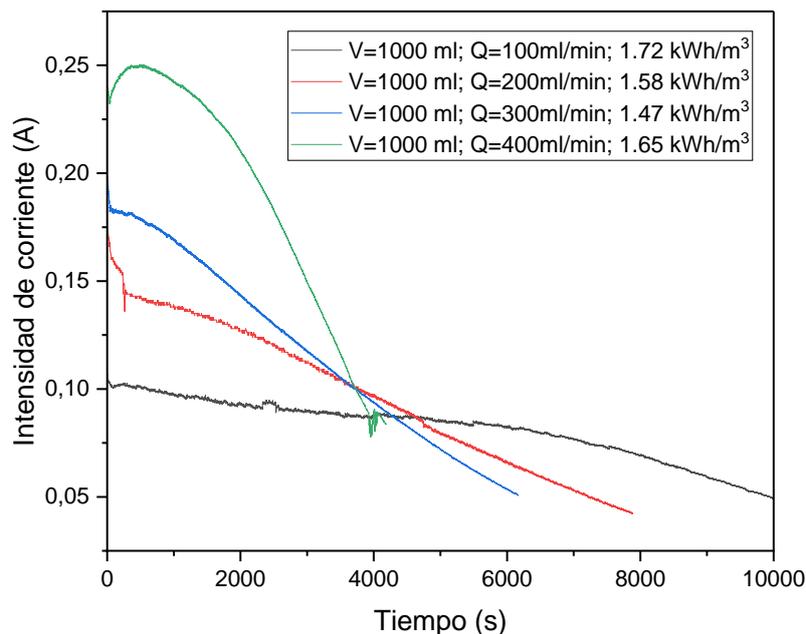


**Figura 3.11 Incidencia de la variación del caudal en la disminución de la concentración de los SDT a través del tiempo, con volumen constante de 2000 ml [Urdánigo y Verdezoto, 2023].**

### 3.2.2 Efecto de la variación de caudal en el consumo energético

Con el fin de optimizar el consumo energético del sistema y encontrar una relación de costo-beneficio viable para el proyecto, se experimentó con los mismos caudales de alimentación del apartado anterior, para las mismas condiciones de volumen constante, tanto de 1000 ml como de 2000 ml. La Figura 3.12 ilustra las curvas de intensidad de corriente (I) versus el tiempo de los cuatro experimentos para el volumen de 1000 ml. Las curvas tienden a iniciar en una intensidad de corriente mayor e ir disminuyendo a medida que el tiempo avanza; sin embargo, el comportamiento su comportamiento difiere entre cada experimento. Por ejemplo, mientras la curva ligada al caudal de 100 ml/min muestra una reducción suave de la intensidad de corriente durante el tiempo que dura la experimentación, las curvas de los caudales de 200 y 300 ml/min presentan una fuerte reducción de la intensidad en los primeros segundos del experimento, para luego

continuar con un descenso un poco más controlado que puede guardar relación con una tendencia lineal. Finalmente, la curva asociada al caudal de 400 ml/min presenta un aumento progresivo de intensidad eléctrica durante los primeros segundos para finalmente decrecer rápidamente. Estos comportamientos distintos entre cada curva sugieren que el consumo energético de cada experimento requiera un análisis adicional.



**Figura 3.12 Influencia de la variación del caudal en la intensidad de corriente obtenida del proceso de desalinización, con un volumen constante de 1000 ml [Urdánigo y Verdezoto, 2023].**

De este modo, y para estimar un valor de consumo energético comparable entre cada experimento se recurre a la energía específica requerida. Para ello se precisa obtener la intensidad de corriente promedio para cada experimento. Sin embargo, se debe recordar que el tiempo de desalinización del agua también juega un papel fundamental en su obtención, como se explicó en la Ecuación 2.6, en el análisis de alternativas del capítulo 2. Por tanto, a pesar de que la intensidad media para el caudal de 100 ml/min sea la más baja (0.081 A), el tiempo empleado que le tomó a este experimento, le otorga una energía específica de 1.72 kWh/m<sup>3</sup>, siendo este el consumo energético más alto de entre las variaciones de caudal estudiadas.

Por otra parte, el caudal de 300 ml/min se posiciona como la alternativa más económica debido al equilibrio entre tiempo de operación de 100 min e intensidad de corriente de 0.11 A, con un consumo de 1.47 kWh/m<sup>3</sup>. Sin embargo, al analizar el caudal de 400 ml/min se determinó que, a pesar de ser la alternativa con mayor demanda de intensidad eléctrica (0.188A), y tener un consumo energético específico de 1.65 kWh/m<sup>3</sup>, que supera en un 12% el de la alternativa más económica, su bajo tiempo de desalinización le permite tratar 66% más volumen de agua que el flujo de 300 ml/min en un tiempo determinado. Estas prestaciones son las que posicionan al caudal de 400 ml/min como a la configuración óptima que logra desalinizar mayor cantidad de agua a un menor costo energético en un periodo de tiempo constante.

En la Tabla 3.9 se muestra se muestra la influencia del aumento del caudal en la energía específica requerida, y por ende en el costo energético. Se puede observar que, para un volumen a tratar de 1000 ml, bajo un caudal de 400 ml/min, el tiempo empleado es de 70 minutos, y la corriente media requerida es de 0.188 A. Por ende, la energía específica requerida es de 1.65 kWh/m<sup>3</sup>, con un precio de \$0.16 por cada m<sup>3</sup> de agua desalinizada para Ecuador.

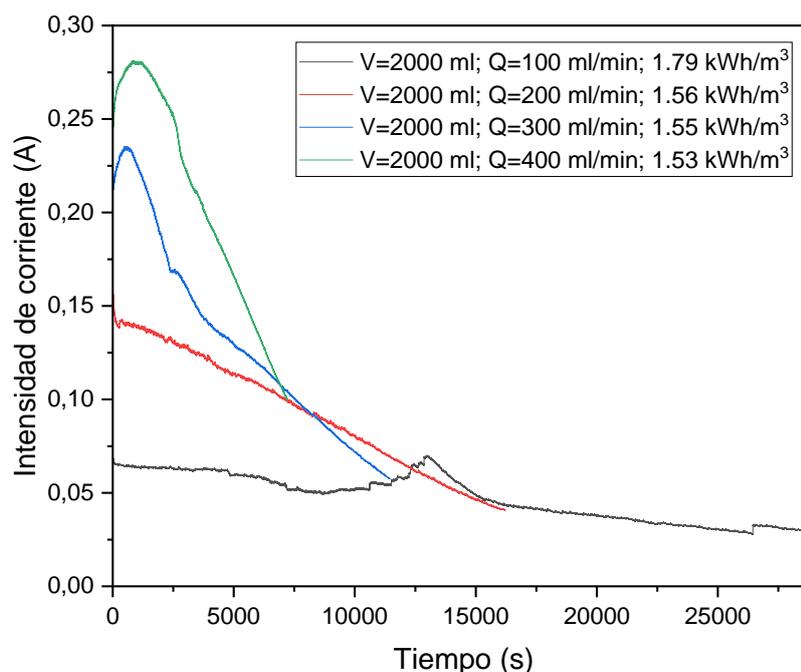
**Tabla 3.9 Efecto de la variación de caudal en parámetros de diseño, manteniendo un volumen constante de 1000 ml [Urdánigo y Verdezoto, 2023].**

Caudal (ml/min)	Tasa de Desalinización (μS/cm/min)	Tiempo (min)	Corriente Promedio (A)	Energía Específica (kWh/m <sup>3</sup> )	Costo Energético (USD/m <sup>3</sup> )
100	-27.78	170	0.081	1.72	0.165
200	-35.60	130	0.097	1.57	0.152
300	-43.36	100	0.117	1.47	0.141
400	-68.45	70	0.188	1.65	0.158

### 3.2.3 Pruebas iniciales de escalabilidad piloto

Para determinar escalabilidad en el sistema se analizó la incidencia de los caudales de 100, 200, 300 y 400 ml/min actuando sobre un volumen de 2000 ml, con la misión de determinar si es viable el incremento del volumen tratado por el sistema en cada proceso. La experimentación expuso que el aumento del volumen de agua a tratar no modifica el comportamiento general de la curva de demanda de intensidad eléctrica versus tiempo requerida por el sistema. La Figura 3.13 muestra nuevamente que la corriente inicial es

mayor cuando el caudal aumenta. Al analizar cada una de las curvas asociadas a los caudales, se observa que la curva que muestra la intensidad de corriente del experimento con caudal de 100 ml/min presenta una forma aplanada, con un pico no muy pronunciado que puede tener origen en una perturbación en el sistema durante la experimentación. Por su parte, las demás curvas, asociadas a caudales de 200, 300 y 400 ml/min presentan una conducta creciente en los primeros minutos del experimento y luego un rápido descenso hasta completar el proceso de desalinización.



**Figura 3.13 Influencia de la variación del caudal en la intensidad de corriente obtenida del proceso de desalinización, con un volumen constante de 2000 ml [Urdánigo y Verdezoto, 2023].**

Al calcular la energía específica de cada uno de los experimentos se observó que el caudal de 100 ml/min requirió una energía específica mayor que las demás configuraciones, con un consumo de 1.79 kWh/m<sup>3</sup>, debido principalmente a la larga duración del experimento. En contraste, la energía específica de las experimentaciones de 200, 300 y 400 ml/min se mostró muy similar para los tres casos, siendo de 1.56, 1.55 y 1.53 kWh/m<sup>3</sup>, respectivamente. Con la particularidad de que, para un volumen de 2000 ml, el caudal de 400 ml/min presentó esta vez la energía específica más baja. Esto se debe a la combinación entre la intensidad de corriente promedio de 0.204 A y el tiempo

de 120 minutos. En síntesis, el tiempo que le tomó al caudal de 400 ml/min desalinizar el volumen, permite posicionar a este caudal como el parámetro óptimo, y más económico en términos energéticos.

Finalmente, en la Tabla 3.10 se muestra los resultados técnicos y energéticos obtenidos para cada variación de caudal, bajo un volumen de 2000 ml. Recalcando que el caudal óptimo de 400 ml/min permite desalinizar el agua en un tiempo de 120 minutos, con la menor energía específica, 1.53 kWh/m<sup>3</sup>, lo que resulta en un menor costo energético de entre las demás opciones de variación de caudal. De este modo, el proceso requeriría de \$0.15 por cada m<sup>3</sup> de agua tratada. Estos resultados son prometedores en términos de escalabilidad del sistema a nivel piloto debido a que tratar un mayor caudal no resultaría en un aumento del costo energético.

**Tabla 3.10 Efecto de la variación de caudal en parámetros de diseño, manteniendo un volumen constante de 2000 ml [Urdánigo y Verdezoto, 2023].**

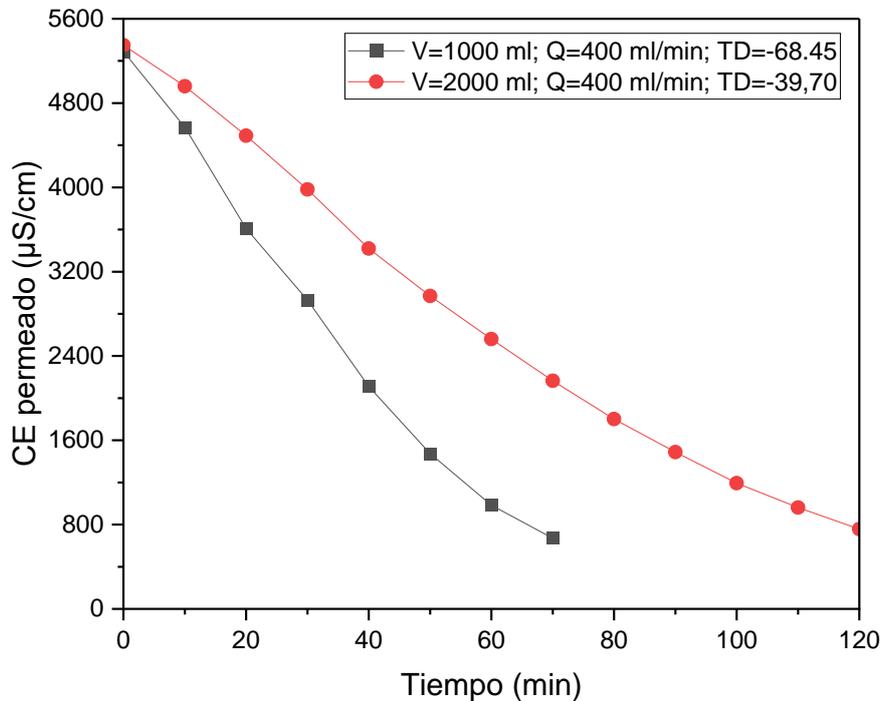
Caudal (ml/min)	Tasa de Desalinización (μS/cm/min)	Tiempo (min)	Corriente Promedio (A)	Energía Específica (kWh/m <sup>3</sup> )	Costo Energético (USD/m <sup>3</sup> )
100	-7.30	600	0.048	1.79	0.171
200	-16.57	270	0.093	1.56	0.150
300	-23.56	190	0.130	1.55	0.148
400	-39.70	120	0.204	1.53	0.147

### 3.2.4 Escalabilidad del volumen de agua a tratar en el sistema de electrodiálisis

Una vez determinado que el caudal óptimo es de 400 ml/min, se realizó la comparativa entre los volúmenes de 1000 ml y 2000 ml, con el fin de determinar la escalabilidad del sistema de electrodiálisis, y su capacidad para tratar volúmenes superiores. En la Figura 3.14 se muestra cómo disminuye la conductividad eléctrica de las variaciones de volúmenes, en función del tiempo, bajo un caudal constante. Como se puede observar, el volumen de 1000 ml requiere de un tiempo de desalinización de 70 minutos, con una tasa asociada de -68.45 μS/cm/min; mientras que, para el doble del volumen, el tiempo de desalinización aumenta a 120 minutos, y la TD desciende en un 42%.

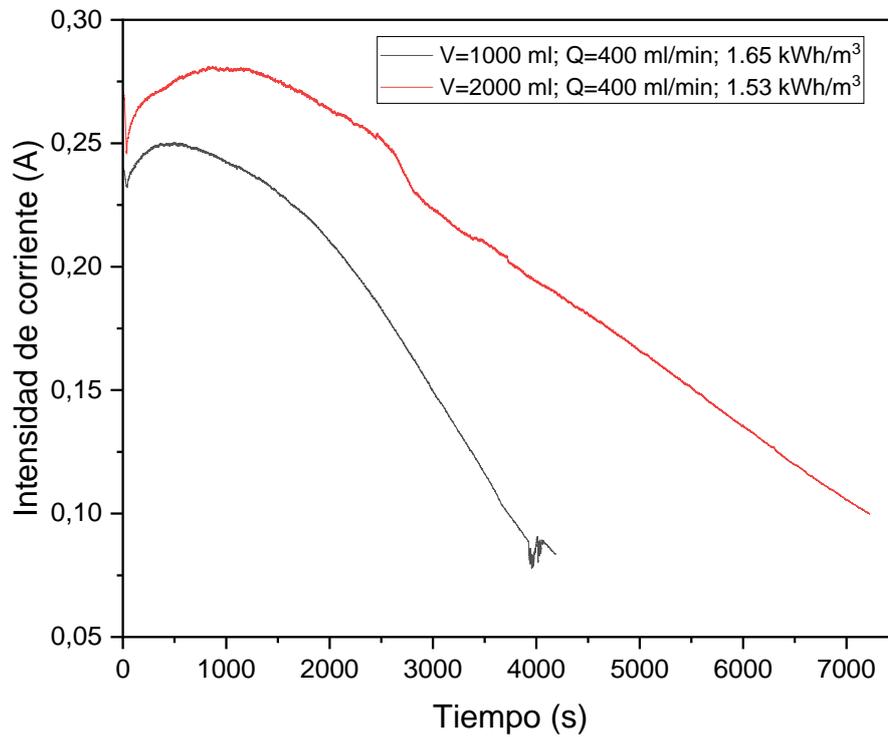
Pese a que el tiempo de desalinización es superior para un volumen de 2000 ml, si se intentase desalinizar el mismo volumen en dos procesos de 1000 ml, cada uno, el tiempo

implicado sería de 140 minutos en total. Sin embargo, podemos observar que, desalinizando el volumen de 2000 ml en un único proceso, se requiere un 14% menos de tiempo. Lo que llevado a gran escala implica una optimización considerable del proceso de desalinización.



**Figura 3.14 Efecto de la variación de volumen en la tasa de desalinización, para un caudal constante de 400 ml/min [Urdánigo y Verdezoto, 2023].**

En la Figura 3.15 se muestra el perfil de corriente en función del tiempo para las variaciones de voltaje. Como se puede observar, la corriente del volumen de 1000 ml es inferior a la del 2000 ml, 0.188 A y 0.204 A respectivamente. Sin embargo, dado a que el tiempo y el volumen son factores importantes en la obtención de la energía específica (Ecuación 2.6), esto conlleva a que el consumo energético para el volumen de 1000 ml sea 1.65 kWh/m<sup>3</sup>, mientras que para el volumen de 2000 ml sea 1.53 kWh/m<sup>3</sup>. Esto implica un ahorro del 7% en el consumo energético operacional del sistema de electrodiálisis. De manera similar, Espinoza & Franco (2022) reportaron resultados similares, donde al emplear un caudal de 100 ml/min, e incrementar el volumen de agua a tratar de 200 a 1000 ml, encontraron que la energía específica se reducía en un 47%.



**Figura 3.15 Influencia de la variación del volumen en la intensidad de corriente obtenida del proceso de desalinización, con un caudal constante de 400 ml/min [Urdánigo y Verdezoto, 2023].**

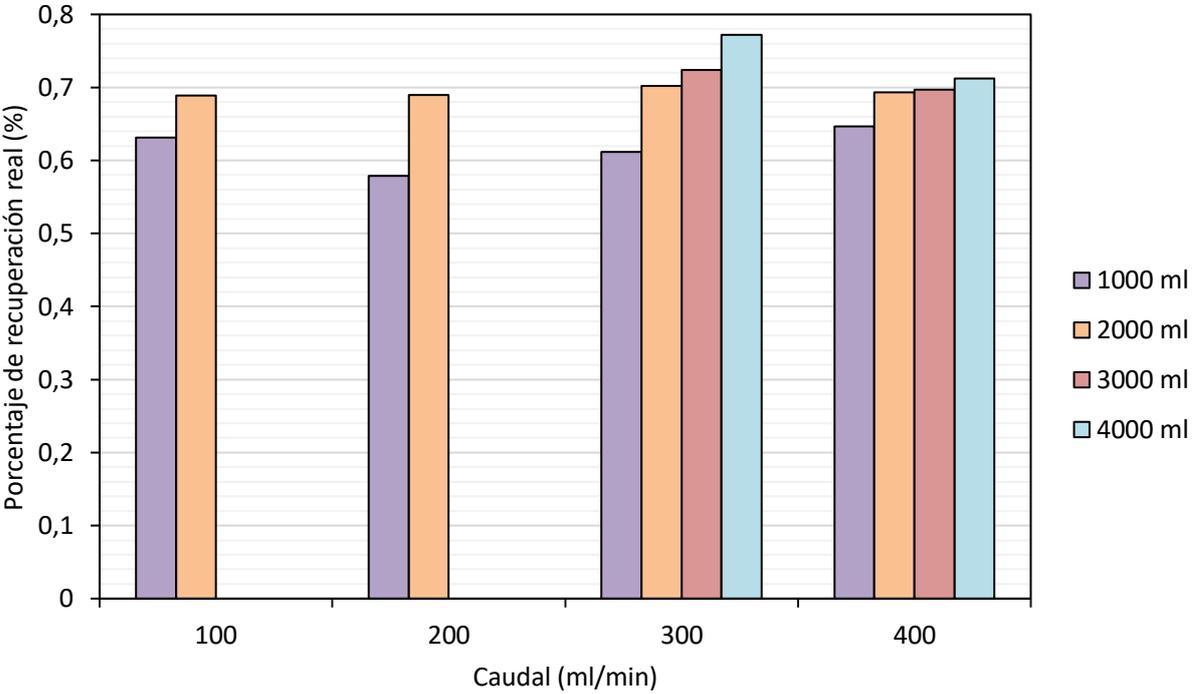
Con lo expuesto anteriormente, se concluye que un volumen de 2000 ml presenta mejores prestaciones técnicas y económicas para la desalinización mediante electrodiálisis crossflow. Esto asociado con un caudal de 400 ml/min, un voltaje de 6V y un agua de alrededor de 5300  $\mu\text{S}/\text{cm}$  de conductividad eléctrica inicial, resulta en un costo energético operacional del \$0.15 por cada m<sup>3</sup> de agua desalinizada para el sistema.

### 3.2.5 Porcentaje de recuperación real

Los resultados de la experimentación ejecutadas bajo un porcentaje de recuperación teórico del 80% significan que, de los 1000 ml de agua a tratar, teóricamente el 20% se convertiría en agua de rechazo (agua concentrada de iones), y el 80% sería agua apta para consumo humano, en términos de salinidad. Sin embargo, en procesos de electrodiálisis existe un fenómeno denominado transporte de masa, en donde al

concentrarse gran cantidad de iones en el agua de rechazo, el volumen de agua permeada se reduce y se transporta al volumen de agua de rechazo. Esto genera que el porcentaje de recuperación de agua tratada sea inferior en ocasiones. Por lo tanto, fue necesario realizar un balance de masas durante el monitoreo de la CE, con el fin de determinar el porcentaje de recuperación real del sistema, bajo los distintos parámetros de funcionamiento. El detalle del cálculo del balance de masa se muestra en “Anexo A: Cálculo del balance de masa”.

Del balance de masas llevado a cabo, se obtuvo como resultado lo expuesto en la Figura 3.16, donde se puede observar que se llevó a cabo la experimentación con volúmenes de 1000, 2000, 3000 y 4000 ml, variando los caudales entre 100, 200, 300 y 400 ml/min. Esto con el fin de determinar el comportamiento del porcentaje de recuperación real del agua permeada al variar caudales y volúmenes. Sin embargo, debido a los altos tiempos de desalinización (mayores a 10 horas) que demandó el sistema de ED, no se experimentó con volúmenes de 3000 y 4000 ml, para caudales de 100 y 200 ml/min; recalando que en el presente proyecto se busca optimizar los parámetros de operación de la planta de electrodiálisis, con el fin de obtener un tratamiento costo-efectivo y sostenible.



**Figura 3.16 Efecto de la variación del volumen y el caudal en el porcentaje de recuperación real del agua permeada en el sistema de ED [Urdánigo y Verdezoto, 2023].**

En la Figura 3.16, se observa que el caudal no es un factor que influye sustancialmente en el porcentaje de recuperación. Por ejemplo, con un volumen constante de 1000 ml, los porcentajes reales de recuperación fueron 63.11, 57.87, 61.19 y 64.65% para los caudales de 100, 200, 300 y 400 ml/min respectivamente. Esto resulta en una variación del 10.5% (mayor diferencia), que corresponde a los caudales de 200 y 400 ml/min. Mientras que para un volumen constante de 2000 ml la diferencia entre los porcentajes de recuperación real es despreciable. Por ejemplo, el porcentaje de recuperación real fue de 68.86% para un caudal de 100 ml/min y de 70.23% para un caudal de 300 ml/min; es decir una variación del 2.2%. Estos resultados evidencian que el porcentaje de recuperación real es poco susceptible a variaciones de caudal. Probablemente, los resultados implican que estas variaciones porcentuales son atribuibles al error experimental.

Del mismo modo, al analizar la posibilidad de que incrementar el volumen para un caudal constante pueda tener un efecto en el porcentaje de recuperación real, se estudió el comportamiento del sistema manteniendo un caudal de 300 ml/min para volúmenes de 1000, 2000, 3000 y 4000 ml. Estos experimentos mostraron porcentajes de recuperación real del 61.19, 70.26, 72.42 y 77.20%, respectivamente. Estos resultados podrían indicar una tendencia al incremento del porcentaje de recuperación real con el aumento del volumen. Sin embargo, como se mostró en el párrafo anterior, el porcentaje de recuperación puede estar sujeto a errores experimentales. Otro punto destacable es que, aunque al mantener el caudal en 300 ml/min se observa una mejora del 21% al aumentar el volumen de 1000 ml (con un porcentaje de recuperación del 61.19%) a 4000 ml (con un 77.20% de recuperación), realizar el mismo incremento con un caudal de 400 ml/min solo resulta en una diferencia de un 9%. Y, bajo el mismo caudal, pasar de 2000 ml (69.32%) a 3000 ml (69.68%) supondría una variación mínima, de tan solo el 0.5%.

De esta manera se concluye que no existe evidencia suficiente para asegurar que el incremento del volumen de agua tratado, o del caudal de entrada influyan directamente en el porcentaje de recuperación real del sistema avanzado de tratamiento.

### **3.3 Especificaciones técnicas**

Las especificaciones técnicas del presente proyecto que se detallan en la sección “Anexo C: Especificaciones técnicas” hacen referencia al detalle, consideraciones y especificaciones que fueron tomadas en consideración como punto de partida para las actividades, rubros y cantidades necesarias para la elaboración del presupuesto referencial que se requeriría para la construcción de una planta de electrodiálisis. Cabe destacar que se ha planteado un presupuesto de alto nivel y que por lo mismo éste es únicamente referencial y no debe considerarse como absoluto.

# CAPÍTULO 4

## 4. ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL

### 4.1 Descripción del proyecto

En el presente proyecto se llevó a cabo el estudio y evaluación del impacto ambiental, para comprender las posibles consecuencias de la implementación de un sistema de tratamiento avanzado de agua con fines de desalinización en la parroquia Chanduy, provincia de Santa Elena, y plantear medidas de prevención o mitigación. Esto con el propósito de que la propuesta se vea alineada a los ODS específicos 6.3, 6.4 y 6.b, los mismos que hacen referencia al uso eficiente del recurso hídrico disponible, minimizando la cantidad de desechos, y propiciando el desarrollo sostenible de las comunidades.

La metodología elegida para el estudio fue el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), que considera las etapas de construcción, operación y mantenimiento, así como el cierre del proyecto. Esta metodología permitió evaluar los impactos ambientales a lo largo de todo el ciclo de vida de las acciones propuestas. Así mismo, fue necesario obtener un permiso de uso y aprovechamiento de agua subterránea para el pozo “Adela”, además de registrar la actividad en el Sistema Único de Información Ambiental (SUIA). La valoración del impacto ambiental se realizó de forma cualitativa con cálculo de índice de impacto.

Con el fin de minimizar el impacto ambiental en la zona de estudio, se escogió la propuesta de electrodiálisis frente a la de ósmosis inversa, ya que presentó un menor consumo energético y un alto porcentaje de recuperación de agua permeada, minimizando así la cantidad de agua de rechazo producida. Finalmente, para mitigar los impactos ambientales negativos se propone como medidas la disposición controlada de las aguas concentradas, su reutilización y su implementación en otros sectores industriales.

### 4.2 Línea base ambiental

La línea de base ambiental detalla los elementos y factores del medio en su condición actual. Para ello se considera la información recopilada por el GAD parroquial de

Chanduy (2020), en su publicación “Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial (PDOT) de la parroquia Chanduy”.

#### **4.2.1 Clima**

La parroquia de Chanduy tiene temperaturas que varían desde los 21.0°C hasta los 26.6°C, con una temperatura media anual de 24.3°C, como se mencionó previamente en el capítulo 2. Así mismo, la precipitación media anual en esta parroquia va desde los 300 mm a los 600 mm, recalcando que en el año 2013 el Inahmi reportó una precipitación media anual de 265 mm/año.

Las temperaturas y niveles de precipitación fluctúan a lo largo del año, dependiendo de la estación y las condiciones climáticas como la corriente cálida del Niño o la corriente fría de Humboldt; siendo de diciembre a marzo los meses en los que se presentan intensas lluvias en la región, y así mismo un incremento en la temperatura. Mientras que el resto del año se evidencian pocas o casi nulas precipitaciones, contribuyendo a que la región sea semiárida, y enfrente problemas de sequías.

#### **4.2.2 Hidrósfera**

Tal como se expuso en el capítulo 2, la parroquia Chanduy tiene 54 fuentes hídricas superficiales, de las cuales 4 son de carácter perenne, mientras que las demás son de tipo intermitentes. Según lo establecido en el PDOT, en las áreas áridas donde se encuentran los ríos de flujo intermitente, es común que experimenten crecimientos imprevistos y repentinos durante la temporada de lluvias, lo que ocasiona inundaciones y afectaciones al medio ambiente y la población.

Por otro lado, en Chanduy hay aproximadamente 27 puntos de extracción de agua subterránea que son utilizados por la comunidad para consumo humano, riego y acuicultura. Según los datos proporcionados por el PDOT, las conductividades eléctricas registradas oscilan entre 800 y 5000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , lo que indica que los pozos naturales han experimentado una disminución en su calidad original y presentan salinidad. Uno de los posibles factores responsables de esto podría ser la intrusión salina por la presencia de granjas camaroneras.

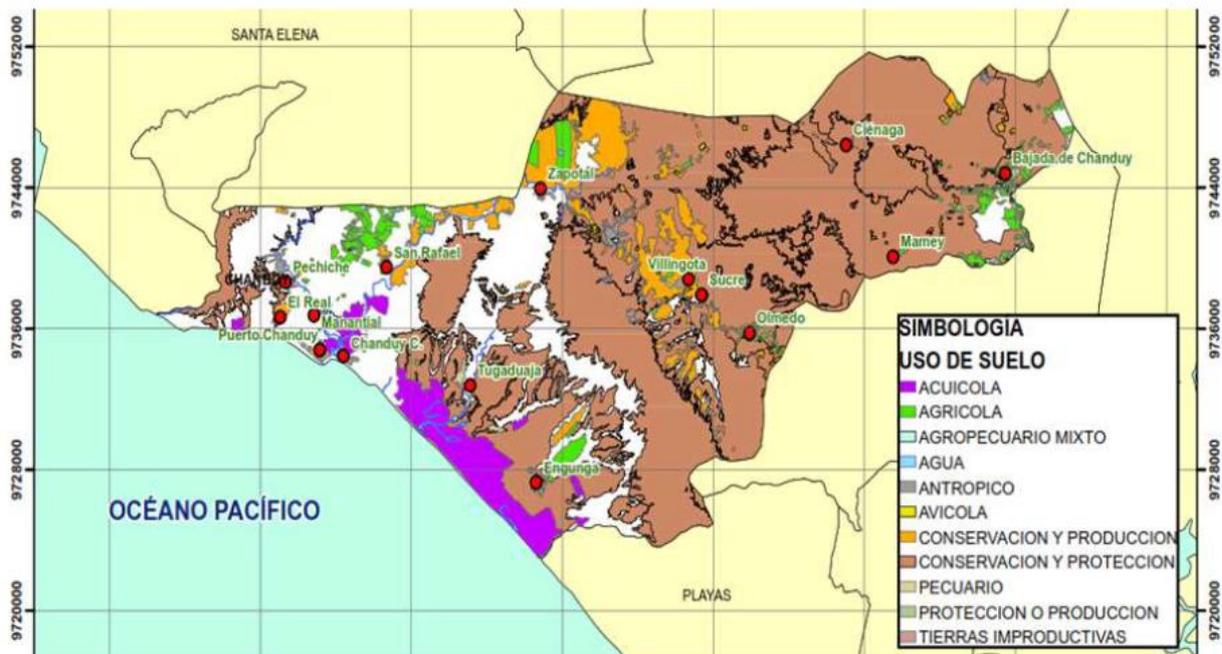
### **4.2.3 Litósfera**

La parroquia de Chanduy presenta una geomorfología con diferentes tipos de relieves, como llanuras, colinas, montañas altas de hasta 300 metros, terrenos ondulados, acantilados, y planicies que desembocan en el océano Pacífico (Noboa Campuzano, 2021).

De acuerdo con el PDOT, en esta región se pueden encontrar 7 órdenes de suelos, que incluyen Alfisol, Aridisol, Entisol, Inceptisol, Molisol, Tierras Misceláneas y Vertisol. Los suelos Alfisol se caracterizan por tener un grado de desarrollo mineral y un horizonte dominante compuesto por arcilla. Por otro lado, los suelos Aridisol son suelos jóvenes que se encuentran en áreas secas, muy secas y cálidas. Los suelos Entisol, por su parte, son suelos con un bajo nivel de evolución que se encuentran en zonas propensas a la erosión o a inundaciones. En contraste, los suelos Inceptisol muestran un grado de desarrollo ligeramente mayor que los Entisoles. Los suelos Molisol se caracterizan por su alto contenido de materia orgánica, lo cual favorece el crecimiento de las plantas. En cuanto a las tierras misceláneas, no es posible clasificar los suelos presentes en ellas debido a su inaccesibilidad para el estudio. Por último, los suelos Vertisol son poco desarrollados y se caracterizan por tener agregados en forma de cuña y un alto contenido de arcillas expansivas, lo que los hace propensos a inundaciones durante la temporada de lluvias debido a su baja permeabilidad.

### **4.2.4 Uso de Suelo**

En Chanduy se llevan a cabo una variedad de actividades que involucran el uso diverso de los suelos. En términos de actividad comercial y productiva, la comunidad se dedica a la acuicultura, que implica el cultivo de especies acuáticas como peces y camarones. Como se puede observar en la Figura 4.1, la actividad acuícola representa un gran porcentaje del uso del suelo. También se practica la agricultura, que incluye el cultivo de frutas y cereales. Además, se pueden observar actividades pecuarias y de avicultura, que consisten en la cría y producción de ganado y aves, respectivamente.



**Figura 4.1: Mapa de Uso de Suelo en la parroquia Chanduy, Santa Elena [GAD Chanduy, 2020].**

El uso del suelo en la parroquia también abarca diversas actividades relacionadas con la gestión y la conservación. Se puede observar que el uso predominante es el de conservación y protección, como se muestra en la Figura 4.1, y su principal objetivo es preservar los Bosques Secos, un valioso recurso forestal. Asimismo, se encuentra el uso del suelo denominado "Agua", que se centra en la gestión de canales, embalses y otros cuerpos de agua naturales. Por otro lado, la actividad antrópica se refiere al uso del suelo destinado a procesos urbanísticos para dar cabida al crecimiento de la población. Por último, está el uso del suelo de protección o producción, que se caracteriza por la generación de materiales maderables como el roble o la teca, los cuales requieren medidas de protección adecuadas para su extracción y producción.

#### **4.2.5 Flora**

La cobertura vegetal de la parroquia Chanduy consta en gran parte de bosque nativo, y vegetación arbustiva y herbácea, como se evidencia en la Figura 4.2. Estos bosques están compuestos por árboles como el algarrobo, guayacán, ceibo, zapote, palo santo y el cactus.

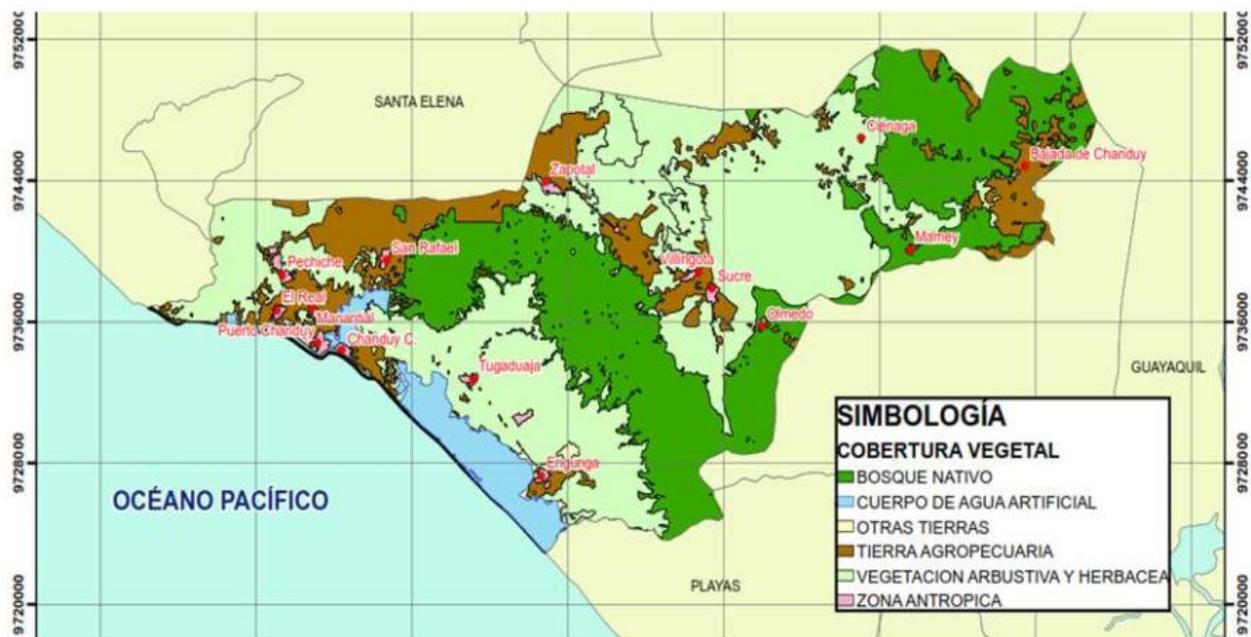


Figura 4.2 Mapa de cobertura vegetal de la parroquia Chanduy [GAD Chanduy, 2020].

De acuerdo con el PDOT, cerca de la comuna Engunga se lleva a cabo el Programa Socio Bosque del Ministerio del Ambiente, el cual protege de la deforestación a cerca de 3499 hectáreas del recurso forestal. Cabe destacar que esto no incluye el bosque nativo en toda su extensión.



Figura 4.3 Programa Socio Bosque en la comuna Engunga, parroquia Chanduy [GAD Chanduy, 2020].

#### **4.2.6 Fauna**

La parroquia de Chanduy, en Ecuador, alberga una diversidad de fauna, tanto de invertebrados como vertebrados que se adaptan a los diversos ecosistemas presentes en la zona. Entre los invertebrados más comunes se encuentran las termitas, mariposas, polillas, moscas, tábanos y hormigas. En cuanto a los vertebrados, se evidencian familias reptilia, aves, amphibia y mamalia.

La familia de reptiles está representada por especies como iguanas, serpientes, tortugas y lagartijas. En la familia de aves, se pueden encontrar una amplia variedad de especies; entre ellas se destacan las fragatas, pelícanos, garzas, gaviotas, golondrinas, gallinazos, colibríes y periquitos. Así mismo, en la familia de mamíferos se pueden observar especies como focas, lobos marinos, morsas, manatíes, conejos, zorros, armadillos, entre otros (Prefectura Santa Elena y Consulsua, 2013). Finalmente, en la familia de anfibios se pueden encontrar ranas y sapos.

Es importante destacar que los ecosistemas de la parroquia de Chanduy han sido afectados por la intervención humana, principalmente debido a los asentamientos poblacionales. Esta intervención puede tener un impacto negativo en la biodiversidad y en los hábitats naturales de la fauna local.

### **4.3 Actividades del proyecto**

La ejecución de un sistema de tratamiento de agua con fines de desalinización en la parroquia de Chanduy implica una serie de labores y acciones para llevar a cabo el proyecto. A continuación, se identifica las acciones relevantes en el proyecto que son susceptibles a causar impactos ambientales, a través de un análisis de ciclo de vida, que involucra las etapas de construcción, operación y mantenimiento, y cierra de la planta.

#### **4.3.1 Construcción**

El proceso de construcción involucra diversas actividades como limpieza y nivelación del terreno, construcción de estructuras, y la instalación de equipos y sistemas de control. Estas labores son necesarias para crear la infraestructura requerida y garantizar el funcionamiento eficiente de la planta. Sin embargo, es importante tener en cuenta que

estas actividades de construcción pueden generar impactos ambientales. Por ejemplo, la limpieza del terreno y la excavación pueden causar erosión del suelo y afectar la calidad del agua cercana debido a la sedimentación; así mismo, la construcción de las estructuras puede alterar hábitats y promover el desplazamiento de la fauna local.

#### **4.3.2 Operación y mantenimiento**

La operación y mantenimiento de la planta desalinizadora implica actividades de monitoreo, mantenimiento y reparaciones. El monitoreo se realiza para regular los parámetros de operación y asegurar la calidad del agua producida. También se monitorea el cumplimiento de las regulaciones, tanto en términos de calidad del agua producida como en la gestión de los residuos generados por la planta desalinizadora. Además, se controla el sistema de alimentación eléctrica y de la limpieza de las membranas. En cuanto al mantenimiento, se llevan a cabo inspecciones periódicas a los equipos, tuberías y estructuras, y se realiza la lubricación y ajuste de conexiones. En caso de fallos o averías, se realizan reparaciones y se reemplazan los equipos o componentes defectuosos, incluyendo la gestión adecuada de los residuos generados, como membranas desgastadas. Es fundamental llevar a cabo todas estas acciones de operación y mantenimiento de manera responsable y conforme a las normativas ambientales para minimizar los impactos negativos y asegurar el cumplimiento de los estándares establecidos.

#### **4.3.3 Cierre**

Durante el desmantelamiento de la infraestructura, se lleva a cabo la eliminación de las estructuras, equipos y materiales utilizados en la planta desalinizadora. La rehabilitación del sitio se enfoca en restaurar el área afectada a su estado ambientalmente adecuado. Esto implica llevar a cabo acciones como la remediación del suelo, la restauración de la vegetación y la implementación de medidas para mitigar cualquier impacto ambiental residual dejado por la operación de la planta desalinizadora. El objetivo es minimizar los impactos ambientales negativos asociados al cierre de la planta y asegurar la recuperación y conservación del entorno natural.

En la Tabla 4.1 se presentan las labores y acciones identificadas en cada fase del ciclo de vida de la planta de tratamiento avanzado de agua con fines de desalinización, las podrían ocasionar impactos ambientales.

**Tabla 4.1 Identificación de fases, labores y actividades a desarrollarse en el proyecto [Urdánigo y Verdezoto, 2023].**

<b>Fase</b>	<b>Labor</b>	<b>Acción</b>
<b>Construcción</b>	Limpieza y nivelación	Limpieza de vegetación. Nivelación de área constructiva. Excavación.
	Construcción de estructuras	Cimentaciones. Áreas de tratamiento e instalaciones de almacenamiento. Desalojo de escombros.
	Instalación de sistemas	Equipos de electrodiálisis. Sistemas de alimentación eléctrica. Tuberías de entrada y salida del agua. Sistemas de control y monitoreo.
<b>Operación y mantenimiento</b>	Monitoreo operacional de la planta	Bombeo de agua subterránea Verificación de parámetros de operación. Control del sistema de alimentación eléctrica. Control del sistema de limpieza de las membranas. Eliminación de aguas residuales generados por la planta.
	Mantenimiento	Inspecciones a equipos, tuberías, estructuras y conexiones.
	Reparaciones y Reemplazos	Reemplazo de equipos defectuosos. Gestión de residuos generados (ej. Membranas desgastadas).
<b>Cierre</b>	Desmantelamiento de la infraestructura	Eliminación de estructuras, equipos y materiales. Gestión de residuos y desalojo de escombros.
	Rehabilitación del sitio	Restauración del área afectada a su estado ambientalmente adecuado.

## 4.4 Identificación de impactos ambientales

### 4.4.1 Regularización ambiental nacional

El Sistema Único de Información Ambiental (SUIA), del Ministerio del Ambiente de Ecuador, es un trámite que permite conocer el nivel de impacto ambiental que conllevaría la ejecución del proyecto. Dependiendo del nivel de impacto especificado por el SUIA, ya sea "no significativo", "bajo" o "mediano o alto", se requerirán diferentes tipos de autorizaciones y requisitos para poner en marcha el proyecto, como se muestra en la Tabla 4.2

**Tabla 4.2 Tipos de autorizaciones ambientales [RCOA, 2019]**

Nivel de impacto	Tipo de autorización	Requisitos
No significativo	Certificado ambiental	Es opcional Registro en SUIA
Bajo	Registro ambiental	Registro en SUIA Certificado de intersección Pago de tasa Informe de proceso de participación
Mediano o alto	Licencia ambiental	Registro en SUIA Certificado de intersección EsIA Informe de sistematización participación ciudadana Pago de tasa Póliza/garantía por responsabilidades ambientales

**Detalles del Proyecto**

<b>Código</b> MAATE-RA-2023-479232	<b>Sector</b> Otros Sectores
<b>Fecha de registro</b> 04/07/2023	<b>Superficie</b> <input type="text"/>
<b>Operador</b> URDANIGO BUSTAMANTE DOMENICA ALEJANDRA	
<b>Autoridad Ambiental Competente</b> GOBIERNO AUTONOMO DESCENTRALIZADO PROVINCIAL DE SANTA ELENA	

Nombre del Proyecto, obra o actividad: Optimización del sistema avanzado de tratamiento de agua, II etapa, con fines de desalinización en la comunidad de Chanduy

Resumen del Proyecto, obra o actividad: Diseño de un sistema de tratamiento avanzado para desalinización del agua en la parroquia de Chanduy para fines de consumo humano.

---

**Actividad**

<b>Su trámite corresponde a un(a)</b> Licencia Ambiental	
<b>El impacto de su actividad</b> Impacto MEDIO	

**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.

<b>¿Su proyecto obra o actividad está financiada por el Banco del Estado?</b>	No
<b>¿Es un proyecto para potabilización de agua?</b>	Si
<b>Opción seleccionada</b>	Proyecto para un caudal menor o igual a 1100 L/s.

**Actividad complementaria 1 CIU** Desalinización de agua de mar o agua subterránea para producir agua como principal producto de interés.

<b>¿Su proyecto obra o actividad está financiada por el Banco del Estado?</b>	No
---	----

**Figura 4.4 Trámite de regulación ambiental por medio del SUIA para determinación de nivel de impacto [Urdánigo y Verdezoto, 2023].**

De acuerdo con el SUIA, la actividad tiene un impacto medio (Figura 4.4), lo cual corresponde a que el tipo de autorización requerida sea una Licencia Ambiental. Para poder gestionar la licencia, se requerirá el registro del proyecto en el sistema, un certificado de intersección, un estudio de impacto ambiental (EsIA) y un informe de sistematización de participación ciudadana. Además, será necesario realizar el pago de una tasa ambiental y proporcionar una póliza o garantía por responsabilidades ambientales.

#### 4.4.2 Caracterización de los impactos ambientales

Como método preliminar para identificar los impactos ambientales de la implementación de la planta desalinizadora de agua, se plantearon una serie de preguntas acerca de los posibles escenarios a considerar en el estudio, como se muestra en la Tabla 4.3.

**Tabla 4.3 Lista de control para planta desalinizadora de agua [Urdánigo y Verdezoto, 2023].**

Aspectos que considerar	Preguntas
Impactos en el agua	¿Cómo afectará la desalinización al suministro de agua subterránea local?
	¿Qué impacto tendrá en la calidad del agua subterránea restante después de la desalinización?
Impactos en el suelo y la vegetación	¿Cómo se verá afectada la calidad y composición del suelo durante la construcción y operación de la planta?
	¿Existen medidas para prevenir la erosión del suelo y minimizar la pérdida de vegetación?
	¿Cuáles serán los impactos en la vegetación circundante debido al desmantelamiento del sitio?
Impactos en la energía y las emisiones	¿Cuál será la fuente de energía utilizada y cuál será su impacto ambiental?
	¿Existen oportunidades para utilizar energías renovables en lugar de fuentes no renovables?
	¿Qué emisiones de gases de efecto invernadero se esperan y cómo se pueden minimizar?
Impactos en la fauna y flora	¿Cuál será el impacto en la fauna local durante la construcción y operación de la planta?
	¿Existen medidas para proteger las especies en peligro de extinción o los hábitats naturales cercanos?
Impactos en la comunidad y el entorno social	¿Cómo se verán afectadas las comunidades locales durante la construcción y operación de la planta?
	¿Existen medidas para minimizar el ruido, el polvo y otros inconvenientes para los residentes cercanos?
Impactos en la gestión de residuos	¿Cuáles son los tipos de residuos generados y cómo se gestionarán adecuadamente?
	¿Se implementarán prácticas de reciclaje y reducción de residuos en la medida de lo posible?
	¿Cómo se evitará la contaminación del suelo y el agua debido a la disposición inadecuada de los residuos?

Para evaluar el impacto ambiental se empleó la matriz de Leopold, o también conocida como matriz causa-efecto, la cual describe las interacciones entre las acciones propuestas en la Tabla 4.1 y elementos bióticos, abióticos y antrópicos. Esta herramienta permite identificar las acciones que pueden causar impactos ambientales significativos a lo largo de las fases del proyecto, ya sean positivos o negativos; y priorizar las medidas de mitigación necesarias. Además, facilita la comunicación clara de los resultados a las partes interesadas, y respalda la toma de decisiones informadas y sostenibles (Tito, 2020).

La matriz de Leopold evalúa tres criterios: extensión, duración y reversibilidad. El criterio de extensión analiza el área de influencia del impacto ambiental en la zona de estudio, mientras que el criterio de duración se refiere al tiempo que puede prolongarse la afectación, pudiendo ser temporal, permanente o periódica. Por último, el criterio de reversibilidad evalúa la posibilidad de restablecer las condiciones iniciales después de haberse producido el impacto ambiental (Tito, 2020).

La magnitud del impacto hace referencia al nivel de incidencia de la acción sobre el medio. Para evaluar de manera cualitativa la magnitud del impacto ambiental, se empleó la Tabla 4.4, donde se muestra las puntuaciones asignadas de acuerdo con la magnitud del criterio. Estas puntuaciones van del 1 al 10, resaltando que una magnitud de 10 indica que la acción tiene una alta incidencia en el ambiente de interacción.

**Tabla 4.4 Criterios de valoración cualitativa para la matriz de Leopold [Tito, 2020].**

Criterios	Puntuaciones				
	1.0	2.5	5.0	7.5	10.0
<b>Extensión</b>	Puntual	Particular	Local	Generalizada	Regional
<b>Duración</b>	Esporádica	Temporal	Periódica	Recurrente	Permanente
<b>Reversibilidad</b>	Completamente reversible	Medianamente reversible	Parcialmente reversible	Medianamente reversible	Completamente irreversible

Por otro lado, para el cálculo de la importancia del impacto ambiental se empleó la Ecuación ( 4.1 ). Donde E corresponde al valor del criterio de extensión, D al de duración, y R al de reversibilidad. Y los factores We, Wd, y Wr se ponderan como se muestra en la Tabla 4.5. Por su parte, el cálculo de la importancia del impacto indicó el grado de influencia de la acción sobre el medio.

$$Imp = We * E + Wd * D + Wr * R \quad ( 4.1 )$$

**Tabla 4.5 Ponderaciones para evaluación de importancia de la matriz de Leopold [Tito, 2020].**

<b>Ponderaciones</b>	
<b>Duración</b>	Wd = 0.40
<b>Extensión</b>	We = 0.35
<b>Reversibilidad</b>	Wr = 0.25
We + Wd + Wr = 1.0	

En la Tabla 4.6 se muestra la identificación de los impactos positivos y negativos del proyecto sobre el medio en el que se desarrollará. Según el análisis realizado, se identificaron un total de 79 impactos, de los cuales 37 son de tipo positivo y 42 son negativos.

Entre los impactos negativos identificados se encuentra que la excavación y movimiento de tierras pueden ocasionar erosión del suelo y afectar la calidad del agua cercana debido a la sedimentación. Así mismo, durante la etapa de construcción y operación, también se generan emisiones de gases contaminantes debido al consumo de energía, así como residuos de construcción y demolición.

La alteración de hábitats y el desplazamiento de la fauna local son consecuencias directas de la construcción, incluyendo la remoción de vegetación y la ocupación del suelo. Asimismo, tanto la construcción como la operación de la planta demandan un considerable consumo de agua y energía, con la consiguiente generación de residuos líquidos y sólidos, como la salmuera o las membranas desgastadas.

Otros impactos asociados incluyen el ruido, las vibraciones y el consumo adicional de energía y recursos para el mantenimiento y reparación de equipos y sistemas de la planta. Al llegar al final de su vida útil, el desmantelamiento de la planta también genera residuos y requiere de consumo de energía y recursos. Además de los impactos directos, el proyecto puede alterar el acceso y la disponibilidad de agua en la comunidad, así como afectar la calidad del agua subterránea debido a la extracción y desalinización.

Por otra parte, el proyecto también genera impactos positivos, principalmente en lo que a la calidad del agua respecta. Pues en la etapa de operación se dotará a la comunidad de agua de mejor calidad, lo que repercute en una mejora de la calidad de vida, salud y seguridad para los habitantes de Chanduy. Un aspecto destacable de este impacto es su duración, ya que su efecto estará presente durante el periodo de vida útil del proyecto.

En el componente antrópico la generación de empleos es un impacto positivo relevante y que perdura durante las etapas de construcción, operación, mantenimiento y cierre del proyecto. Lo que puede impulsar la economía de la parroquia de manera directa, al generar fuentes de trabajo relacionadas al proyecto, como fomentar emprendimientos locales que satisfagan las necesidades emergentes producto de la apertura de la planta de desalinización, entre los cuales se incluyen servicios de alimentación, transporte de personal, etc.

Finalmente, en la etapa de cierre se generan diversos impactos positivos, la mayoría como producto de la mitigación de los daños causados en las etapas previas de construcción y operación. Entre los impactos positivos del cierre destacan la mejora de la calidad del agua superficial que ya no recibirá el volumen de rechazo generado por la planta. En cuanto al suelo y el paisaje respectan, toda estructura será removida y se plantará vegetación propia de la zona para reforestar el área previamente intervenida. Esta medida de mitigación también afecta positivamente a la flora y fauna, ya que el espacio vuelve a ser el potencial hogar de plantas y animales nativos de la parroquia.

Tabla 4.6 Identificación de impactos ambientales positivos y negativos en Matriz de Leopold [Urdánigo y Verdezoto, 2023].

Impacto Ambiental Positivo (+) Impacto Ambiental Negativo (-)			Construcción										Operación y Mantenimiento						Cierre					
			Limpieza y nivelación			Construcción de estructuras			Instalación de sistemas				Monitoreo operacional de la planta			Mantenimiento	Reparaciones y reemplazos		Desmantelamiento de la infraestructura		Rehabilitación del sitio			
Factores Ambientales			1. Limpieza de vegetación	2. Nivelación de área constructiva	3. Excavación	4. Cimentaciones	5. Áreas de tratamiento e instalaciones de almacenamiento	6. Desalojo de escombros	7. Equipos de electrodiálisis	8. Sistemas de alimentación eléctrica	9. Tuberías de entrada y salida del agua	10. Sistemas de control y monitoreo	11. Bombeo de agua subterránea	12. Verificación de parámetros de operación	13. Control del sistema de alimentación eléctrica	14. Control del sistema de limpieza de las membranas	15. Eliminación de aguas residuales generados por la planta	16. Inspecciones a equipos, tuberías, estructuras y conexiones.	17. Reemplazo de equipos defectuosos	18. Gestión de residuos generados (ej. Membranas desgastadas).	19. Eliminación de estructuras, equipos y materiales	20. Gestión de residuos y desalojo de escombros	22. Restauración del área afectada a su estado ambientalmente adecuado.	
			COMPONENTE ABIÓTICO	Aire	Calidad de aire, material particulado y vibraciones	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
Agua	Calidad de aguas superficiales y subterráneas					-	-					-				-	+			-			+	
	Alteración de las cuencas de drenaje					-	-									-								+
Suelo	Erosión y calidad del suelo	-		-	-	-																	+	
Paisaje	Impacto paisajístico	-					-	+												-	+		+	
COMPONENTE BIÓTICO	Flora	Alteración de flora terrestre y acuática	-													-					-		+	
	Fauna	Alteración de fauna terrestre, acuática, y aérea	-													-							+	
COMPONENTE ANTRÓPICO	Socioeconómico y cultural	Calidad de vida de población						+					+		+	-	+						-	
		Salud y seguridad												+		+	-	+						
		Generación de empleo	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+		+	+		+
		Uso del suelo				-	-										-							
<b>Total impactos por actividad</b>			6	3	3	6	6	4	2	2	3	2	1	3	2	3	8	5	2	1	4	4	9	79
<b>Total</b>																						37	42	79

Posterior a este análisis, en la Tabla 4.7 se evaluó la magnitud de cada acción utilizando las puntuaciones de la Tabla 4.5. Donde se aprecia que la magnitud del impacto al aire en las etapas de construcción, operación y mantenimiento es bajo y reversible. Con respecto a las fuentes de agua, la etapa de construcción provoca un impacto negativo asociado a la contaminación del proceso de mezclado del hormigón; en la etapa de operación por otro lado, hay impactos positivos y negativos. Los positivos están asociados al agua tratada producto de la planta mientras los impactos negativos son ocasionados por el agua de rechazo.

El suelo y el paisaje en las etapas tempranas de la construcción del proyecto sufren un impacto negativo ya que el suelo es intervenido para poder soportar la estructura. Además, el área involucrada deja de ser utilizable para cualquier otro fin durante el tiempo de vida útil del proyecto, lo que hace que la magnitud aumente. Sin embargo, el impacto paisajístico puede ser parcialmente mitigado incluyendo vegetación en los alrededores de la estructura para mantener la armonía del entorno. Además, en la etapa de cierre, se proponen medidas de mitigación con un alto impacto que devolverán el suelo a sus condiciones iniciales.

La flora y fauna se ven afectadas también en la etapa de construcción pues se requiere de una limpieza de terreno virgen, lo cual contempla la remoción de materia vegetal y la destrucción del posible hábitat de especies animales que habiten tanto en la superficie como debajo del suelo. A pesar de que el área intervenida no es muy amplia, el espacio destinado para el proyecto no podrá albergar especies animales ni vegetales durante la vida útil del proyecto.

Finalmente, la magnitud del impacto socioeconómico cultural se corresponde con la necesidad de mano de obra para llevar a cabo los procesos de construcción, operación, mantenimiento y cierre del proyecto, además se ve influenciada por el posible surgimiento de negocios locales que abastezcan al personal involucrado en cada etapa de la obra de alimentos, equipo de seguridad, transporte, etc.

**Tabla 4.7 Identificación del nivel de magnitud de impactos ambientales en Matriz de Leopold [Urdánigo y Verdezoto, 2023]**

Magnitud: 10=Grande 5=Mediano 1= Pequeña			Construcción										Operación y Mantenimiento						Cierre			Impactos positivos (+)	Impactos negativos (-)	Total impactos					
			Limpieza y nivelación		Construcción de estructuras		Instalación de sistemas						Monitoreo operacional de la planta			Mantenimiento	Reparaciones y reemplazos		Desmantelamiento de la infraestructura		Rehabilitación del sitio								
Factores Ambientales			Subactividades del proyecto			1. Limpieza de vegetación	2. Nivelación de área constructiva	3. Excavación	4. Cimentaciones	5. Áreas de tratamiento e instalaciones de almacenamiento	6. Desalojo de escombros	7. Equipos de electrodiálisis	8. Sistemas de alimentación eléctrica	9. Tuberías de entrada y salida del agua	10. Sistemas de control y monitoreo	11. Bombeo de agua subterránea	12. Verificación de parámetros de operación	13. Control del sistema de alimentación eléctrica	14. Control del sistema de limpieza de las membranas	15. Eliminación de aguas residuales generados por la planta	16. Inspecciones a equipos, tuberías, estructuras y conexiones.	17. Reemplazo de equipos defectuosos	18. Gestión de residuos generados (ej. Membranas desgastadas).	19. Eliminación de estructuras, equipos y materiales	20. Gestión de residuos y desalojo de escombros	22. Restauración del área afectada a su estado ambientalmente adecuado.			
			COMPONENTE ABIÓTICO	Aire	Calidad de aire, material particulado y vibraciones	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5			-5			5	-1	-2,5	-2,5	-5	10	2
Agua	Calidad de aguas superficiales y subterráneas					-5	-5						-2,5		-7,5				-7,5	7,5			-1		10	2	6	8	
	Alteración de las cuencas de drenaje					-7,5	-7,5												-7,5							10	1	3	4
Suelo	Erosión y calidad del suelo	-10		-10	-10	-10																				10	1	4	5
Paisaje	Impacto paisajístico	-10					-10	10																-1	10	10	3	3	6
COMPONENTE BIÓTICO	Flora	Alteración de flora terrestre y acuática	-10																-7,5					-5	10	1	3	4	
	Fauna	Alteración de fauna terrestre, acuática, y aérea	-10																-5						10	1	2	3	
COMPONENTE ANTRÓPICO	Socioeconómico y cultural	Calidad de vida de población						2,5							7,5		5	-5	7,5						-7,5	4	2	6	
		Salud y seguridad														7,5		5	-5	7,5							3	1	4
		Generación de empleo	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5		5	5	2,5	19	0	19
		Uso del suelo				-10	-10													-10								0	3
<b>Total</b>																										37	42	79	
<b>Total impactos por actividad</b>			6	3	3	6	6	4	2	2	3	2	1	3	2	3	8	5	2	1	4	4	9	79					

Por último, en la Tabla 4.8 se muestra el valor de la importancia del impacto en relación con cada acción. Además, refuerza que los efectos de los impactos que afectan al aire de la zona no son considerables pues otorga importancia baja. Esto se explica porque el principal contaminante es el polvo asociado a los procesos constructivos y operativos.

La importancia de los aspectos que afectan negativamente la calidad del agua también es baja durante la etapa constructiva, ya que no se considera una gran cantidad de desechos. Sin embargo, la situación cambia en la etapa de operación de la planta, ya que el flujo de rechazo resulta en una descarga constante de agua concentrada en sales, la cual puede infiltrarse en acuíferos subterráneos o alterar las fuentes de agua superficiales.

En cuanto al suelo, paisaje, flora y fauna, la importancia de los impactos es similar. Ambas actividades comparten una característica importante, que es el impacto principal que se observa durante la etapa constructiva del proyecto. Además, este efecto perdura durante el tiempo de duración del proyecto, pero es completamente reversible una vez que se retiren las estructuras e instalaciones.

Por último, la generación de empleos y la mejora en la calidad de vida, salud y saneamiento resultantes de la implementación del sistema de tratamiento avanzado, otorgan una calificación de importancia media/alta al impacto generado, especialmente durante la etapa de operación y mantenimiento, que es la más duradera del proyecto.

**Tabla 4.8 Nivel de Importancia de impactos ambientales positivos y negativos en Matriz de Leopold [Urdánigo y Verdezoto, 2023]**

Importancia 1 = Baja 5 = Media 10 = Alta			Construcción									Operación y Mantenimiento						Cierre			Impactos positivos (+)	Impactos negativos (-)	Total impactos						
			Limpieza y nivelación			Construcción de estructuras			Instalación de sistemas			Monitoreo operacional de la planta			Mantenimiento	Reparaciones y reemplazos	Desmantelamiento de la infraestructura	Rehabilitación del sitio											
Factores Ambientales	Subactividades del proyecto	Descripción	1. Limpieza de vegetación	2. Nivelación de área constructiva	3. Excavación	4. Cimentaciones	5. Áreas de tratamiento e instalaciones de almacenamiento	6. Desalojo de escombros	7. Equipos de electrodiálisis	8. Sistemas de alimentación eléctrica	9. Tuberías de entrada y salida del agua	10. Sistemas de control y monitoreo	11. Bombeo de agua subterránea	12. Verificación de parámetros de operación	13. Control del sistema de alimentación eléctrica	14. Control del sistema de limpieza de las membranas	15. Eliminación de aguas residuales generados por la planta	16. Inspecciones a equipos, tuberías, estructuras y conexiones.	17. Reemplazo de equipos defectuosos	18. Gestión de residuos generados (ej. Membranas desgastadas).	19. Eliminación de estructuras, equipos y materiales	20. Gestión de residuos y desalojo de escombros	22. Restauración del área afectada a su estado ambientalmente adecuado.						
			COMPONENTE ABIÓTICO	Aire	Calidad de aire, material particulado y vibraciones	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13				4,00			3,00	1,00	1,98	2,13	3,50	7,35	2	15	17
Agua	Calidad de aguas superficiales y subterráneas					3,13	3,13				1,53		6,50				6,25	5,63			1,00		7,38	2	6	8			
	Alteración de las cuencas de drenaje					3,65	3,65										6,88						7,38	1	3	4			
Suelo	Erosión y calidad del suelo	4,15		4,15	4,15	4,15																	5,78	1	4	5			
Paisaje	Impacto paisajístico	4,15				4,15	5,78													1,00	5,78	5,78	3	3	6				
COMPONENTE BIÓTICO	Flora	Alteración de flora terrestre y acuática	4,15														5,88					4,00	4,38	1	3	4			
	Fauna	Alteración de fauna terrestre, acuática, y aérea	4,15														4,00						4,38	1	2	3			
COMPONENTE ANTRÓPICO	Socioeconómico y cultural	Calidad de vida de población					1,60						5,88		5,00	3,13	5,88						5,25	4	2	6			
		Salud y seguridad											5,88		5,00	3,13	5,88							3	1	4			
		Generación de empleo	3,13	3,13	3,13	3,13	3,13	3,13	3,13	3,13	3,13	3,13		4,13	4,13	4,13	4,13	4,13	4,13		3,13	3,13	3,13	19	0	19			
		Uso del suelo				4,15	4,15										6,75								0	3	3		
<b>Total impactos por actividad</b>			6	3	3	6	6	4	2	2	3	2	1	3	2	3	8	5	2	1	4	4	9	<b>Total</b>			37	42	79

#### 4.5 Valoración de impactos ambientales

La valoración cualitativa del impacto ambiental (IA) se llevó a cabo por medio del índice de importancia según (Tito, 2020); donde se evaluó la media geométrica de la importancia y la magnitud, obtenidas en la Tabla 4.7 y Tabla 4.8.

$$|IA| = \sqrt{Importancia \times Magnitud} \quad (4.2)$$

Para categorizar los valores de los impactos ambientales calculados en la matriz de Leopold se hizo uso de la Tabla 4.9. De este modo, si la valoración del impacto ambiental negativo es superior o igual a 6.50, este calificará como “altamente significativo”; mientras que si se encuentra en un rango entre 6.50 y 4.50, el impacto califica como “significativo”. Para impactos ambientales menores a 4.50, se les asigna una calificación de “despreciable”. Y por último, los impactos ambientales positivos reciben una calificación de “benéficos”.

**Tabla 4.9 Escala de valoración cualitativa para la matriz de Leopold [Tito, 2020].**

Calificación del impacto ambiental	Valor del índice de impacto ambiental (IA)	Características
Altamente significativo	$ IA  \geq 6.50$	Afecciones difíciles de corregir, de extensión generalizada, con afección de tipo irreversible y de duración permanente.
Significativo	$6.50 >  IA  \geq 4.50$	Factibles de corrección, de extensión local y duración temporal.
Despreciable	$ IA  < 4.50$	Reversibles, de duración esporádica y con influencia puntual.
Benéfico	$IA > 0$	Aquellos de carácter positivo.

Los resultados de la valoración de los impactos ambientales se muestran en la Tabla 4.9 y se clasificaron en cuatro grupos. En primer lugar, se presentó los impactos positivos identificados en la matriz de valoración, los cuales son beneficiosos para el proyecto, como la generación de empleo y la mejora en la calidad de vida, salud y seguridad en el componente antrópico. Así mismo, se identificó que, en la etapa de cierre del proyecto, al rehabilitar y restaurar el área a su estado ambientalmente adecuado, genera impactos benéficos al medio biótico y abiótico, necesarios para: conservar la biodiversidad, proteger los recursos naturales, prevenir impactos a largo plazo, asegurando la preservación ambiental y contribuir al desarrollo sostenible de la comunidad.

Por otro lado, se identificó los impactos negativos despreciables, caracterizados por ser corregibles, y compensados durante la ejecución del plan de manejo ambiental (Tito, 2020). Dentro de este grupo se observó que actividades de la etapa constructiva y operativa, tenían influencia en la calidad de aire, especialmente debido a la emisión de materiales particulados, como el polvo, y las vibraciones por maquinarias pesadas.

Así mismo, se identificó impactos ambientales significativos, caracterizados por ser factibles de corrección, y de duración temporal (Tito, 2020). Estos se encontraron dentro de la etapa constructiva, los cuales afectan especialmente al paisaje, suelo, flora y fauna. Esto se debe a que una vez que se construye en esta área el suelo queda limitado únicamente a albergar la estructura y no puede ser utilizado con otro fin. Esto perjudica directamente la flora y fauna que habitaba inicialmente en el área designada, forzando a las especies animales a migrar hacia una ubicación diferente y requiriendo la remoción por medio de maquinaria de las especies vegetales.

El último grupo identificado fue el de impactos altamente significativos, cuyas afecciones son difícil de corregir y son de extensión generalizada (Tito, 2020). Estos impactos los encontramos en la etapa de operación y mantenimiento, específicamente cuando se trata de gestionar y desechar el agua de rechazo producto del proceso de desalinización. Y es que este proceso se muestra como el más invasivo con el medio ambiente ya que puede acarrear efectos negativos no solo en las fuentes de agua superficiales, sino también en todo organismo que dependa de esta fuente de agua para su supervivencia. El incremento en la salinidad de un cuerpo de agua puede perturbar el equilibrio de condiciones necesarias para la supervivencia de las especies acuáticas como peces, o incluso volverla imbebible para animales terrestres sedientos que se acerquen a la orilla.

Aquí es donde se deben enfocar esfuerzos para prevenir y minimizar el impacto de estas actividades en el ecosistema, haciendo necesario la elaboración de propuestas de prevención/mitigación de impactos, y planes de contingencia.

Tabla 4.10 Valoración cualitativa del impacto ambiental en Matriz de Leopold [Urdánigo y Verdezoto, 2023]

Factores Ambientales			Construcción			Operación y Mantenimiento										Cierre			Impactos positivos (+)	Impactos negativos (-)	Total impactos						
			Limpieza y nivelación		Construcción de estructuras	Instalación de sistemas			Monitoreo operacional de la planta				Manteni miento	Reparaciones y reemplazos	Desmantelamiento de la infraestructura		Rehabilitación del sitio										
Subactividades del proyecto			1. Limpieza de vegetación	2. Nivelación de área constructiva	3. Excavación	4. Cimentaciones	5. Áreas de tratamiento e instalaciones de almacenamiento	6. Desalojo de escombros	7. Equipos de electrodiálisis	8. Sistemas de alimentación eléctrica	9. Tuberías de entrada y salida del agua	10. Sistemas de control y monitoreo	11. Bombeo de agua subterránea	12. Verificación de parámetros de operación	13. Control del sistema de alimentación eléctrica	14. Control del sistema de limpieza de las membranas	15. Eliminación de aguas residuales generados por la planta	16. Inspecciones a equipos, tuberías, estructuras y conexiones.	17. Reemplazo de equipos defectuosos	18. Gestión de residuos generados (ej. Membranas desgastadas).	19. Eliminación de estructuras, equipos y materiales	20. Gestión de residuos y desalojo de escombros	22. Restauración del área afectada a su estado ambientalmente adecuado.				
COMPONENTE ABIÓTICO	Aire	Calidad de aire, material particulado y vibraciones	-2,30	-2,30	-2,30	-2,30	-2,30	-2,30	-2,30	-2,30	-2,30	0,00	0,00	-4,47	0,00	0,00	3,87	-1,00	-2,22	-2,30	-4,18	8,57	12,45	-34,93	-22,48		
	Agua	Calidad de aguas superficiales y subterráneas	0,00	0,00	0,00	-3,95	-3,95	0,00	0,00	0,00	-1,95	0,00	-6,98	0,00	0,00	0,00	-6,85	6,50	0,00	0,00	-1,00	0,00	8,59	15,08	-24,69	-9,60	
		Alteración de las cuencas de drenaje	0,00	0,00	0,00	-5,23	-5,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-7,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,59	8,59	-17,64	-9,06	
	Suelo	Erosión y calidad del suelo	-6,44	-6,44	-6,44	-6,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,60	7,60	-19,33	-11,73	
Paisaje	Impacto paisajístico	-6,44	0,00	0,00	0,00	-6,44	7,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,00	7,60	7,60	22,80	-7,44	15,36		
COMPONENTE BIÓTICO	Flora	Alteración de flora terrestre y acuática	-6,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-6,64	0,00	0,00	0,00	0,00	-4,47	6,61	6,61	-11,11	-4,50		
	Fauna	Alteración de fauna terrestre, acuática, y aérea	-6,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-4,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,61	6,61	-4,47	2,14		
COMPONENTE ANTRÓPICO	Socioeconómico y cultural	Calidad de vida de población	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,64	0,00	5,00	-3,95	6,64	0,00	0,00	0,00	0,00	6,27	26,55	-3,95	22,60	
		Salud y seguridad	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,64	0,00	5,00	-3,95	6,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,28	-3,95	14,32	
		Generación de empleo	3,95	3,95	3,95	3,95	3,95	3,95	3,95	3,95	3,95	3,95	0,00	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	0,00	3,95	3,95	2,80	77,48	0,00	77,48	
		Uso del suelo	0,00	0,00	0,00	-6,44	-6,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-8,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-21,10	-21,10	
<b>Total impactos por actividad</b>			-24,12	-4,79	-4,79	-20,42	-20,42	11,25	1,65	1,65	-0,30	1,65	-6,98	17,82	0,07	14,54	-36,72	28,19	3,54	-2,22	-0,35	2,90	63,25	<b>Total</b>	202,05	-148,61	53,43

#### **4.6 Medidas de prevención/mitigación**

En la Tabla 4.11 se presenta una síntesis de las propuestas de prevención/mitigación para las actividades que generan impactos ambientales significativos y altamente significativos. Estas medidas se han analizado previamente con el objetivo de obtener los mejores resultados y lograr una sinergia en el uso adecuado de los recursos naturales, evitando comprometer el equilibrio de los ecosistemas.

Uno de los impactos más significativos es la gestión del agua de rechazo; la descarga constante a los cuerpos de agua puede provocar alteraciones importantes al agua de la zona y ser perjudicial para la flora y fauna que dependen de estas fuentes de agua para su supervivencia. Por eso se propone un tratamiento preventivo al agua de rechazo que consiste en la elaboración de piscinas donde el volumen de rechazo será evaporado por incidencia del sol dejando como subproducto sales que podrían servir como producto de interés para otra industria, lo que fomentaría la economía circular en la zona encaminando a Chanduy a ser una comunidad productiva y sostenible.

Otra alternativa para evitar que la concentración de sales del agua de rechazo altere los ecosistemas contemplaría verter el agua en zonas como estuarios, más cerca de la costa, donde las concentraciones propias del acuífero sean similares a las del agua de rechazo, de modo que sea más fácil de asimilar por la flora y fauna sin presentar alteraciones a los ecosistemas.

Por otro lado, en regiones semiáridas como Chanduy la alteración de las cuencas de drenaje puede ocasionar problemas de erosión, desertificación e incluso inundaciones repentinas en caso de lluvias torrenciales como las ocasionadas por el Fenómeno del Niño. Por lo que se busca evitar la impermeabilización del suelo, y se propone el uso de hormigón permeable que permita la infiltración del agua en el suelo; así como la inclusión de áreas verdes que acompañen los alrededores de la estructura para canalizar el drenaje y evitar el arrastre de sedimentos hasta los cuerpos de agua.

**Tabla 4.11 Medidas de prevención/mitigación para impactos ambientales negativos  
[Urdánigo y Verdezoto, 2023]**

<b>Actividad</b>	<b>Factor ambiental</b>	<b>Impacto ambiental negativo</b>	<b>Medida de prevención/mitigación</b>
Limpieza de vegetación	Erosión y calidad del suelo	Sin cobertura vegetal, suelo queda expuesto a acción de lluvia y viento, conllevando a pérdida de suelo y nutrientes.	Conservación de vegetación nativa y técnicas de remoción selectiva.
	Impacto paisajístico	Cambio drástico en el aspecto del terreno, pérdida de diversidad y estructura visual del lugar.	Incorporación de áreas verdes y planificación del diseño de la estructura.
	Alteración de flora	Pérdida de biodiversidad, eliminación de hábitats, fragmentación del hábitat.	Realizar inventarios de la flora presente, y reubicar especies sensibles. Implementación de programa de restauración ecológica.
	Alteración de fauna	Desplazamiento de especies, disrupción de cadena alimentaria, e interferencia con patrones de migración.	Proporcionar hábitats alternativos para conservación de fauna afectada.
Nivelación de área constructiva	Erosión y calidad del suelo	Pérdida de pendiente natural del terreno, reducción de porosidad del suelo, reducción de capacidad para retener agua.	Nivelación gradual o escalonada, e implementación de áreas de vegetación.
Excavación	Erosión y calidad del suelo	Remoción de capa superficial de suelo expone suelos más compactados y menos propensos a infiltración de agua.	Estabilización de pendientes, revegetación temprana, y barreras para reducir escorrentía.
Construcción de cimentaciones	Alteración de las cuencas de drenaje	Se impermeabiliza el terreno evitando que el agua se infiltre lo que puede generar una sobrecarga.	Utilizar hormigón permeable y priorizar áreas verdes que permitan la infiltración del agua.
	Erosión y calidad del suelo	Los alrededores se ven afectados por los contaminantes producto de la elaboración del hormigón.	Control de las actividades para minimizar el área de afectación y realizar la debida limpieza.
	Uso del suelo	El suelo deja de ser utilizable para cualquier otro propósito durante el tiempo de vida útil del proyecto.	Al final del periodo de vida útil se removerá toda estructura y se limpiará el terreno.
Construcción de áreas de tratamiento e instalaciones de almacenamiento	Alteración de las cuencas de drenaje	La impermeabilización de mayor área implica mayor escorrentía y acumulación de sedimentos en el curso del agua	Utilizar hormigón permeable y priorizar áreas verdes que permitan la infiltración del agua.
	Uso del suelo	Evita que el suelo sea utilizado para fines agrícolas o acuícolas.	Al finalizar el proyecto se removerá toda estructura y se limpiará el área intervenida, lo que permitirá utilizar el suelo para otros fines.

Bombeo de agua subterránea	Calidad de aguas superficiales y subterráneas	La sobreexplotación de la fuente de agua provocaría debilitamiento del acuífero, lo que puede acarrear aumento de turbidez del agua.	Hacer un estudio de la capacidad de recuperación de la fuente de agua y realizar contantes mediciones de los niveles de operación.
Eliminación de aguas residuales generados por la planta	Calidad de aguas superficiales y subterráneas	El flujo de rechazo contiene altas concentraciones de sales que al entrar en contacto con fuentes de agua superficiales o subterráneas modifican las características del líquido mermando su calidad	El subproducto de desalinización se puede diluir en volúmenes adicionales de agua salobre, y dispersarla en áreas como estuarios o zonas costeras.  El agua concentrada se puede tratar mediante evaporación solar en piscinas, donde las sales se concentran en forma de cristales, y facilita su recolección y disposición.
	Alteración de las cuencas de drenaje	El flujo constante del agua de rechazo implica que la cuenca reciba mayor volumen, el mismo que arrastra sedimentos que se pueden acumular y modificar los cauces naturales del agua.	Realizar estudios de las cuencas de drenaje, para identificar zonas adecuadas para dispersión de aguas de rechazo, realizando monitoreos de calidad del agua, para evaluar niveles de salinidad, pH, entre otros.
	Alteración de flora	La alta salinidad del agua de rechazo es perjudicial para la vegetación que se llegase a situar en las orillas del canal	Pretratar el agua de rechazo antes de regresarla al cuerpo de agua para que las concentraciones de sales presentes no sean perjudiciales para la flora de la región.
	Uso de suelo	La intrusión salina producto del agua de rechazo en el suelo lo volvería poco apto para agricultura	Minimizar la concentración de sales del agua de rechazo para que el suelo pueda contrarrestar la intrusión salina.

Adicionalmente, para contrarrestar los impactos en la calidad de aire, debido a dispersión de materiales particulados por actividades de construcción y operación, se propone utilizar agua para mitigar su esparcimiento. También, se plantea la implementación de energías renovables como paneles solares para aprovechar el recurso solar, y disminuir las emisiones emitidas al medio ambiente por consumo energético.

Finalmente, dentro del plan de manejo ambiental (PMA), se incluyen las actividades necesarias para garantizar la correcta gestión de recursos y desechos con el fin de causar el menor daño a los ecosistemas, a la vez que se maximicen los beneficios para la comunidad.

El plan parte de la evaluación y estudio de los posibles riesgos junto con las medidas de prevención y mitigación, lo que permite proponer un plan de contingencia ante eventualidades en el proceso constructivo. Luego explica la gestión necesaria para el agua cruda que ingresa al sistema de tratamiento, proponiendo un sistema de recirculación y haciendo énfasis en la necesidad de concientizar a la población para evitar que se desperdicie el agua tratada o se contaminen las fuentes de captación.

En cuanto a la gestión de los desechos se propone principalmente la firma de convenios entre industrias que vean como materia de interés las sales presentes en el agua de rechazo, para que se encarguen de la gestión del rechazo y sea aprovechado en otras áreas, lo que permite entre otras cosas fomentar la economía circular, el desarrollo sostenible y el cuidado de los ecosistemas.

Además, se plantea el uso de fuentes de energía renovables como alternativa para el control de emisiones, y se complementa con el monitoreo de la calidad del agua tratada y de rechazo para garantizar el correcto funcionamiento de la planta durante su periodo de vida útil. Cabe destacar que la comunidad también toma un rol protagónico en lograr este objetivo, de modo que se plantea la creación de canales de comunicación entre la población y la administración de la planta para fomentar el uso correcto del recurso hídrico tratado y la conservación de la calidad en términos de salinidad.

Finalmente se abordan los planes de contingencia ante cualquier suceso extraordinario que pueda resultar durante la etapa operativa del proyecto, incluyendo capacitaciones al personal y a la población. Y con el fin de prevenir estos sucesos, también se plantea la necesidad de recibir auditorías ambientales que garanticen que se produzca el mínimo impacto negativo posible y el cumplimiento del plan de manejo ambiental. El mismo que se expone en la Tabla 4.12.

**Tabla 4.12 Plan de Manejo Ambiental [Urdánigo y Verdezoto, 2023]**

<b>Elementos del PMA</b>	<b>Descripción</b>
Evaluación de Impacto Ambiental	Estudios y análisis previos a obras de construcción, para identificar posibles impactos y establecer medidas de mitigación.
Gestión del agua	Establecer sistemas de recirculación de agua. Desarrollar programas de concientización sobre uso responsable del recurso.
Gestión de residuos	Implementar sistema de segregación de residuos en la planta. Establecer convenios con empresas comercializadoras de sal, para fomentar la economía circular.
Control de emisiones	Implementar fuentes de energía renovables como paneles solares. Instalar sistemas de control de emisiones.
Monitoreo ambiental	Establecer programas para monitoreo de calidad del agua, aire y suelo. Realizar muestreos de cuerpos de agua de la zona, para evaluar su calidad, y garantizar cumplimiento de estándares ambientales.
Participación comunitaria	Fomentar contratación de personal local. Gestionar proyectos de desarrollo sostenible en la comunidad. Establecer canales de comunicación con la comunidad.
Plan de contingencia	Desarrollar planes de contingencia para posibles emergencias, como derrames de aguas concentradas, fugas, inundaciones, incendios, pérdidas de energía, entre otros. Capacitar al personal para manejo de situaciones de emergencia.
Auditorías ambientales	Llevar a cabo auditorías ambientales periódicas para evaluar cumplimiento del plan de manejo ambiental.

# CAPÍTULO 5

## 5. PRESUPUESTO

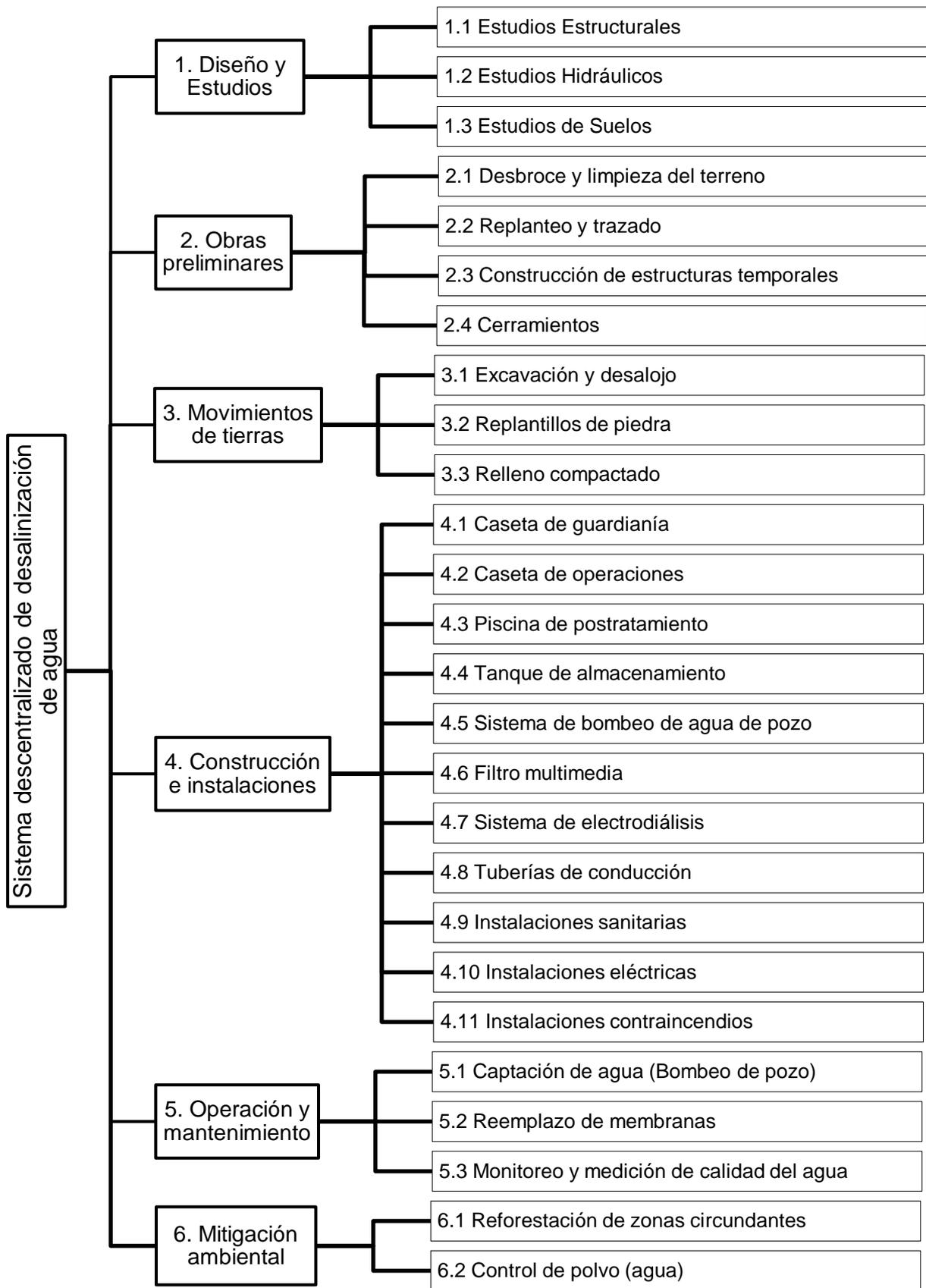
El presente capítulo contempla los costos estimados y el cronograma de obra del proyecto de implementación de un sistema descentralizado de desalinización mediante electrodiálisis. Es importante señalar que el presupuesto es de carácter referencial, ya que el diseño estructural de los elementos no está contemplado en el alcance del proyecto.

### 5.1 Estructura Desglosada de Trabajo

En la Figura 5.1 se encuentra representada la Estructura Desglosada del Trabajo (EDT), que descompone el proyecto en 6 etapas definidas. Estas etapas desempeñan un papel significativo en el desarrollo integral del proyecto, proporcionando una guía de las actividades que se deben llevar a cabo para la ejecución efectiva de la iniciativa del sistema descentralizado de desalinización de agua salobre. Estas fases comprenden:

1. Diseño
2. Obras Preliminares
3. Movimientos de Tierra
4. Construcción e Instalaciones
5. Operación y Mantenimiento
6. Mitigación Ambiental

La fase de Diseño establecerá las bases del proyecto, permitiendo la planificación y el detalle de las estructuras necesarias. La etapa de Obras Preliminares facilitará la creación de las condiciones iniciales requeridas en el sitio de trabajo. Mientras tanto, en la fase de Movimientos de Tierra, se adaptará el terreno de acuerdo con las necesidades de las estructuras. La fase de Construcción e Instalaciones abarcará la implementación de todos los sistemas necesarios para garantizar un funcionamiento adecuado de la planta.



**Figura 5.1 Estructura Desglosada de Trabajo [Urdánigo y Verdezoto, 2023].**

Por su parte, la etapa de Operación y Mantenimiento involucrará actividades que se llevarán a cabo una vez que el sistema esté construido, permitiendo poner en marcha el sistema de manera efectiva y eficiente. Finalmente, la etapa de Mitigación ambiental se ocupará de los posibles impactos ambientales del proyecto, adoptando medidas para minimizar cualquier efecto negativo.

## **5.2 Rubros y análisis de precios unitarios**

La fase de Diseño se subdivide en tres subgrupos esenciales: Estudios Estructurales, Estudios Hidráulicos y Estudios de Suelos. Estos enfoques buscan colaborar con ingenieros y expertos para diseñar estructuras y sistemas que satisfagan adecuadamente las necesidades de la población.

La segunda fase, conocida como Obras Preliminares, consiste en cuatro subactividades cruciales: desbroce y limpieza del terreno, replanteo y trazado, construcción de estructuras temporales y cerramientos. El propósito principal de esta fase es preparar el sitio de construcción, eliminando malezas y obstáculos que podrían obstaculizar el proceso constructivo. Asimismo, se establecen las ubicaciones exactas para las estructuras, y se erigen infraestructuras temporales como bodegas de materiales y una garita de guardianía. Además, se prioriza la seguridad al implementar un cerramiento de malla que garantice la protección de los trabajadores y el entorno.

La fase de Movimientos de Tierra, la tercera en el proceso, incluye tres subactividades clave: excavación y desalojo, colocación de replantillos de piedra y compactación de rellenos. Estos componentes buscan modificar el terreno de acuerdo con los requisitos del proyecto, asegurando que las estructuras se erijan sobre bases sólidas y apropiadas.

La cuarta fase, denominada Construcción e Instalaciones, engloba múltiples tareas esenciales. En esta etapa, se construyen estructuras como la caseta de guardianía, la caseta de operaciones (donde se instalará el sistema de electrodiálisis), una piscina de postratamiento y un tanque de almacenamiento. Si bien el presente presupuesto se basa en elementos estructurales de hormigón armado, se sugiere analizar la opción de

estructuras metálicas para determinar la alternativa más favorable. Además, esta fase involucra la instalación del sistema de bombeo de agua del pozo "Adela", así como el suministro e instalación del filtro multimedia. También se incluye un presupuesto referencial para el suministro e instalación del sistema de electrodiálisis a escala comercial, y se abordan instalaciones sanitarias, eléctricas y contra incendios.

La quinta fase, Operación y Mantenimiento, abarca rubros clave como la captación de agua mediante bombeo, el reemplazo anual de membranas y el monitoreo y medición de la calidad del agua. Estos aspectos deben ser considerados a lo largo de la vida útil de la planta, y un mantenimiento preventivo adecuado puede prolongar la eficiencia de los sistemas y reducir costos.

Finalmente, la etapa de mitigación ambiental aborda la reforestación de áreas circundantes mediante la plantación de vegetación autóctona. Además, se incluye un rubro destinado al control de polvo, con el objetivo de minimizar el impacto negativo en el entorno.

En la Tabla 5.1 se detalla la unidad de medida de cada rubro que conforma el proyecto, con su respectivo precio unitario, de acuerdo con el mercado ecuatoriano.

**Tabla 5.1 Análisis de Precios Unitarios [Urdánigo y Verdezoto, 2023].**

<b>RUBROS</b>			
<b>N°</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>
<b>1.0</b>	<b>Diseños</b>		
1.1	Estudios Estructurales	global	\$ 3.933,00
1.2	Estudios Hidráulicos	global	\$ 86,25
1.3	Estudios de Suelos	global	\$ 731,98
<b>2.0</b>	<b>Obras preliminares</b>		
2.1	Desbroce y limpieza del terreno	m2	\$ 3,31
2.2	Replanteo y trazado	m2	\$ 2,38
2.3	Construcción de estructuras temporales	m2	\$ 18,56
2.4	Cerramiento de mallas tipo cerca pro máxima seguridad H = 2.10 m	ml	\$ 183,23
<b>3.0</b>	<b>Movimientos de tierra</b>		
3.1	Excavación y desalojo con equipo mecánico	m3	\$ 7,19

3.2	Replanteo de piedra graduada de 1/2" - 3/4" (e=10 cm)	m3	\$	25,22
3.3	Relleno compactado manualmente con material importado	m3	\$	18,24
<b>4.0</b>	<b>Construcción e instalaciones</b>			
4.1	Caseta de guardianía - hormigón f'c = 210 kg/cm2 (incluye armado y encofrado)	m3	\$	453,84
4.2	Caseta de operaciones - hormigón f'c = 210 kg/cm2 (incluye armado y encofrado)	m3	\$	453,84
4.3	Piscina de postratamiento - hormigón f'c = 210 kg/cm2 (incluye armado y encofrado)	m3	\$	453,84
4.4	Tanque de almacenamiento - hormigón f'c = 280 kg/cm2 (incluye armado y encofrado)	m3	\$	461,33
4.5	Suministro e Instalación de sistema de bombeo de agua de pozo	u.	\$	1.014,15
4.6	Suministro de filtro multimedia	u.	\$	3.800,00
4.7	Suministro e Instalación de sistema de electrodiálisis	global	\$	15.985,00
4.8	Suministro e Instalación de tuberías de conducción	m	\$	8,57
4.9	Instalaciones sanitarias	global	\$	1.193,27
4.10	Instalaciones eléctricas	global	\$	8.242,61
4.11	Instalaciones contra incendios	global	\$	1.276,96
<b>5.0</b>	<b>Operación y mantenimiento</b>			
5.1	Captación de agua (Bombeo de pozo)	global	\$	5.055,07
5.2	Reemplazo de membranas (anual)	global	\$	92,00
5.3	Monitoreo y medición de calidad del agua	global	\$	598,75
<b>6.0</b>	<b>Mitigación ambiental</b>			
6.1	Reforestación de zonas circundantes	m2	\$	41,63
6.2	Control de polvo (agua)	m3	\$	3,52

### 5.3 Descripción de cantidades de obra

En la sección "Anexo D: Análisis de Precios Unitarios" se proporciona un desglose del costo de cada uno de los rubros mencionados, incluyendo su respectiva subdivisión en materiales, mano de obra, equipos y transporte. Es fundamental destacar que en la cuantificación de ciertos rubros se llevaron a cabo estimaciones, debido a que el alcance del proyecto en cuestión no abarca diseños estructurales ni instalaciones.

### 5.4 Valoración integral del costo del proyecto

La fase de Diseño se estima en un costo aproximado de \$4,751.23, mientras que las Obras Preliminares tendrán un costo aproximado de \$12,809.20. Adicionalmente, se estima que la fase de Movimientos de tierra tendrá un costo de \$5,708.80, y la fase de Construcción e Instalaciones ascenderá a \$96,991.29, siendo esta última la fase más crítica en términos de costos. La fase de Operación y Mantenimiento se espera que tenga

un costo aproximado de \$5,745.82. Finalmente, se proyecta que la Mitigación Ambiental requerirá un costo de aproximadamente \$8,607.60.

Por lo tanto el costo total referencial del sistema descentralizado de desalinización de agua, mediante electrodiálisis, es de \$139.613,94. Lo que se traduce en un costo unitario por unidad de construcción de alrededor de \$175/m<sup>2</sup>. Es importante tener en cuenta que este prepuesto es referencial y que durante la ejecución efectiva del proyecto el costo podría aumentar o disminuir según las circunstancias y necesidades.

**Tabla 5.2 Presupuesto referencial del costo de la implementación del sistema de tratamiento de agua, con fines de desalinización [Urdánigo y Verdezoto, 2023].**

<b>PRESUPUESTO REFERENCIAL</b>					
<b>RUBRO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>PRECIO TOTAL</b>
<b>1.0</b>	<b>Diseños</b>				<b>\$ 4.751,23</b>
1.1	Estudios Estructurales	global	1,00	\$ 3.933,00	\$ 3.933,00
1.2	Estudios Hidráulicos	global	1,00	\$ 86,25	\$ 86,25
1.3	Estudios de Suelos	global	1,00	\$ 731,98	\$ 731,98
<b>2.0</b>	<b>Obras preliminares</b>				<b>\$ 12.809,20</b>
2.1	Desbroce y limpieza del terreno	m2	800	\$ 3,31	\$ 2.648,00
2.2	Replanteo y trazado	m2	800	\$ 2,38	\$ 1.904,00
2.3	Construcción de estructuras temporales	m2	50	\$ 18,56	\$ 928,00
2.4	Cerramiento de mallas tipo cerca pro máxima seguridad H = 2.10 m	ml	40	\$ 183,23	\$ 7.329,20
<b>3.0</b>	<b>Movimientos de tierra</b>				<b>\$ 5.708,80</b>
3.1	Excavación y desalojo con equipo mecánico	m3	400	\$ 7,19	\$ 2.876,00
3.2	Replanteo de piedra graduada de 1/2" - 3/4" (e=10 cm)	m3	40	\$ 25,22	\$ 1.008,80
3.3	Relleno compactado manualmente con material importado	m3	100	\$ 18,24	\$ 1.824,00
<b>4.0</b>	<b>Construcción e instalaciones</b>				<b>\$ 96.991,29</b>
4.1	Caseta de guardianía - hormigón f'c = 210 kg/cm2 (incluye armado y encofrado)	m3	17,589	\$ 453,84	\$ 7.982,59
4.2	Caseta de operaciones - hormigón f'c = 210 kg/cm2	m3	54,846	\$ 453,84	\$ 24.891,31

	(incluye armado y encofrado)				
4.3	Piscina de postratamiento - hormigón f'c = 210 kg/cm <sup>2</sup> (incluye armado y encofrado)	m <sup>3</sup>	45,496	\$ 453,84	\$ 20.647,90
4.4	Tanque de almacenamiento - hormigón f'c = 280 kg/cm <sup>2</sup> (incluye armado y encofrado)	m <sup>3</sup>	24,805	\$ 461,33	\$ 11.443,29
4.5	Suministro e Instalación de sistema de bombeo de agua de pozo	u.	1	\$ 1.014,15	\$ 1.014,15
4.6	Suministro de filtro multimedia	u.	1	\$ 3.800,00	\$ 3.800,00
4.7	Suministro e Instalación de sistema de electrodiálisis	global	1	\$ 15.985,00	\$ 15.985,00
4.8	Suministro e Instalación de tuberías de conducción	m	60	\$ 8,57	\$ 514,20
4.9	Instalaciones sanitarias	global	1	\$ 1.193,27	\$ 1.193,27
4.10	Instalaciones eléctricas	global	1	\$ 8.242,61	\$ 8.242,61
4.11	Instalaciones contra incendios	global	1	\$ 1.276,96	\$ 1.276,96
<b>5.0</b>	<b>Operación y mantenimiento</b>				<b>\$ 5.745,82</b>
5.1	Captación de agua (Bombeo de pozo)	global	1	\$ 5.055,07	\$ 5.055,07
5.2	Reemplazo de membranas (anual)	global	1	\$ 92,00	\$ 92,00
5.3	Monitoreo y medición de calidad del agua	global	1	\$ 598,75	\$ 598,75
<b>6.0</b>	<b>Mitigación ambiental</b>				<b>\$ 8.607,60</b>
6.1	Reforestación de zonas circundantes	m <sup>2</sup>	200	\$ 41,63	\$ 8.326,00
6.2	Control de polvo (agua)	m <sup>3</sup>	80	\$ 3,52	\$ 281,60
				<b>Total</b>	<b>\$ 139.613,94</b>

## 5.5 Cronograma de obra

El proyecto de implementación del sistema descentralizado de desalinización de agua mediante electrodiálisis se estima que tendrá una duración aproximada de 7 meses. En este período se contemplan diversas fases, que incluyen diseño, obras preliminares, movimientos de tierra, construcción e instalaciones, operación y mantenimiento, así como medidas de mitigación ambiental. Es importante tener en cuenta que este cronograma es referencial y que la ejecución efectiva del proyecto podría extenderse o acortarse según las circunstancias.

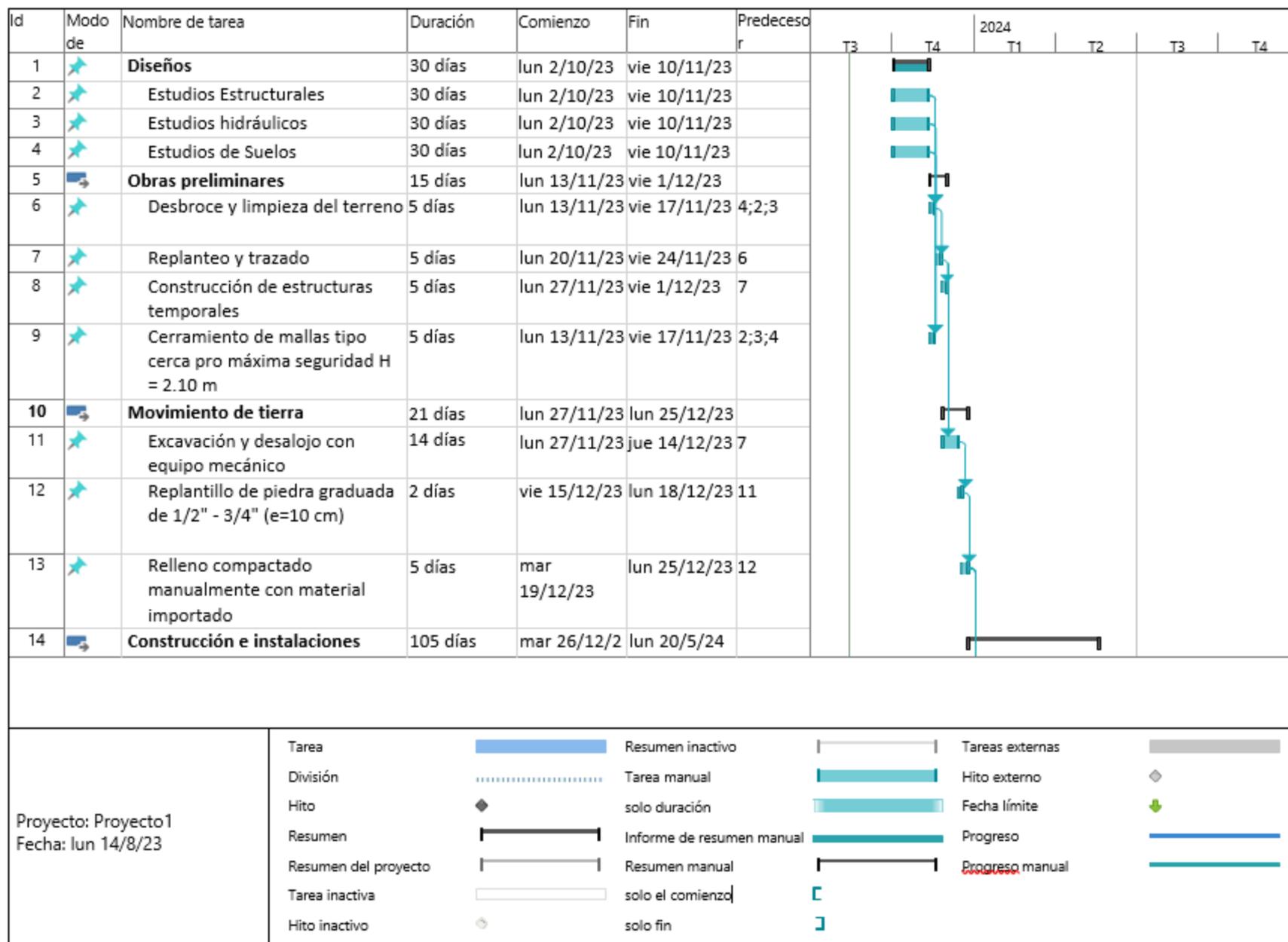


Figura 5.2: Cronograma de obra – página 1 [Urdánigo y Verdezoto, 2023].

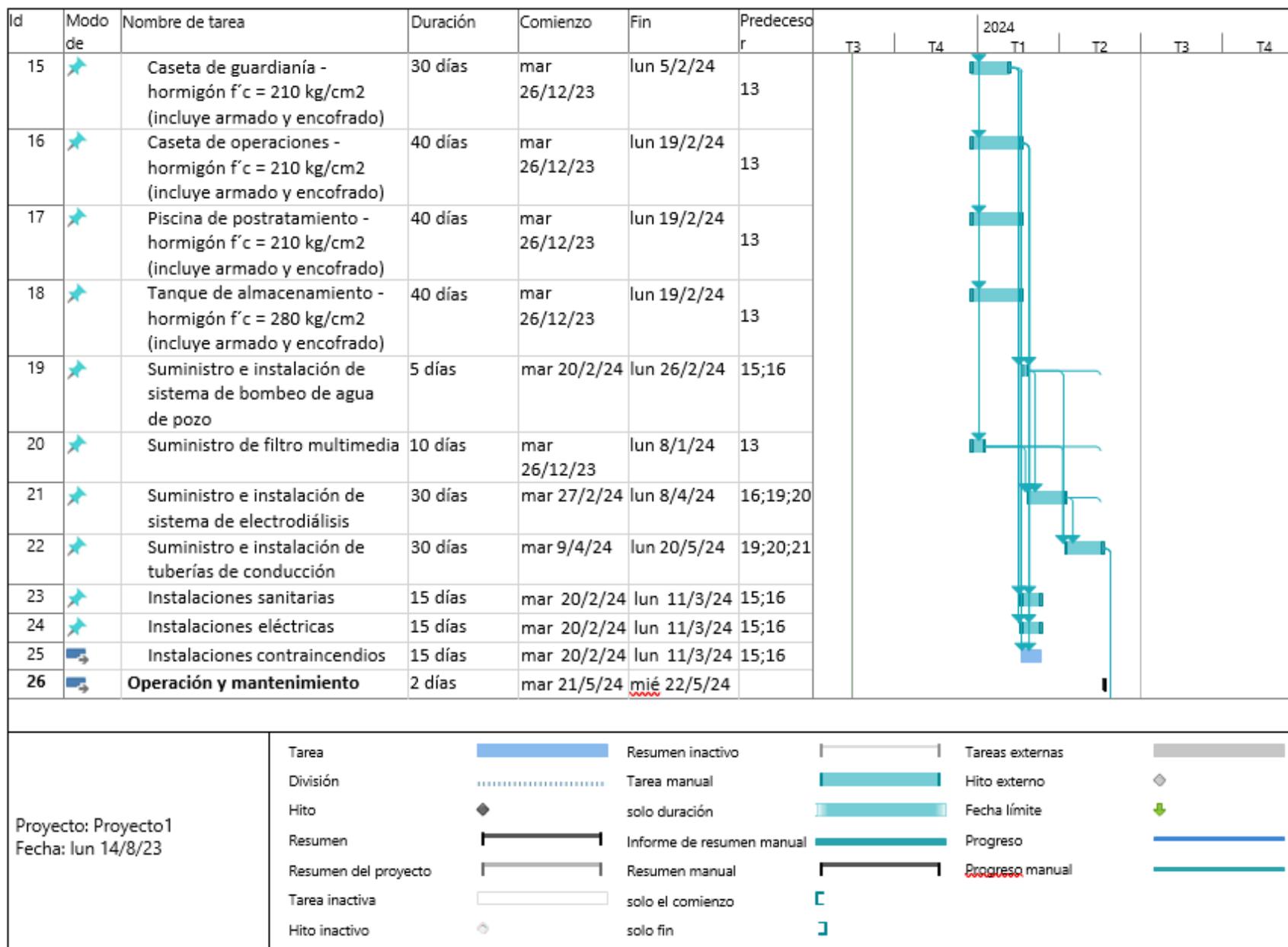


Figura 5.3: Cronograma de obra – página 2 [Urdánigo y Verdezoto, 2023].

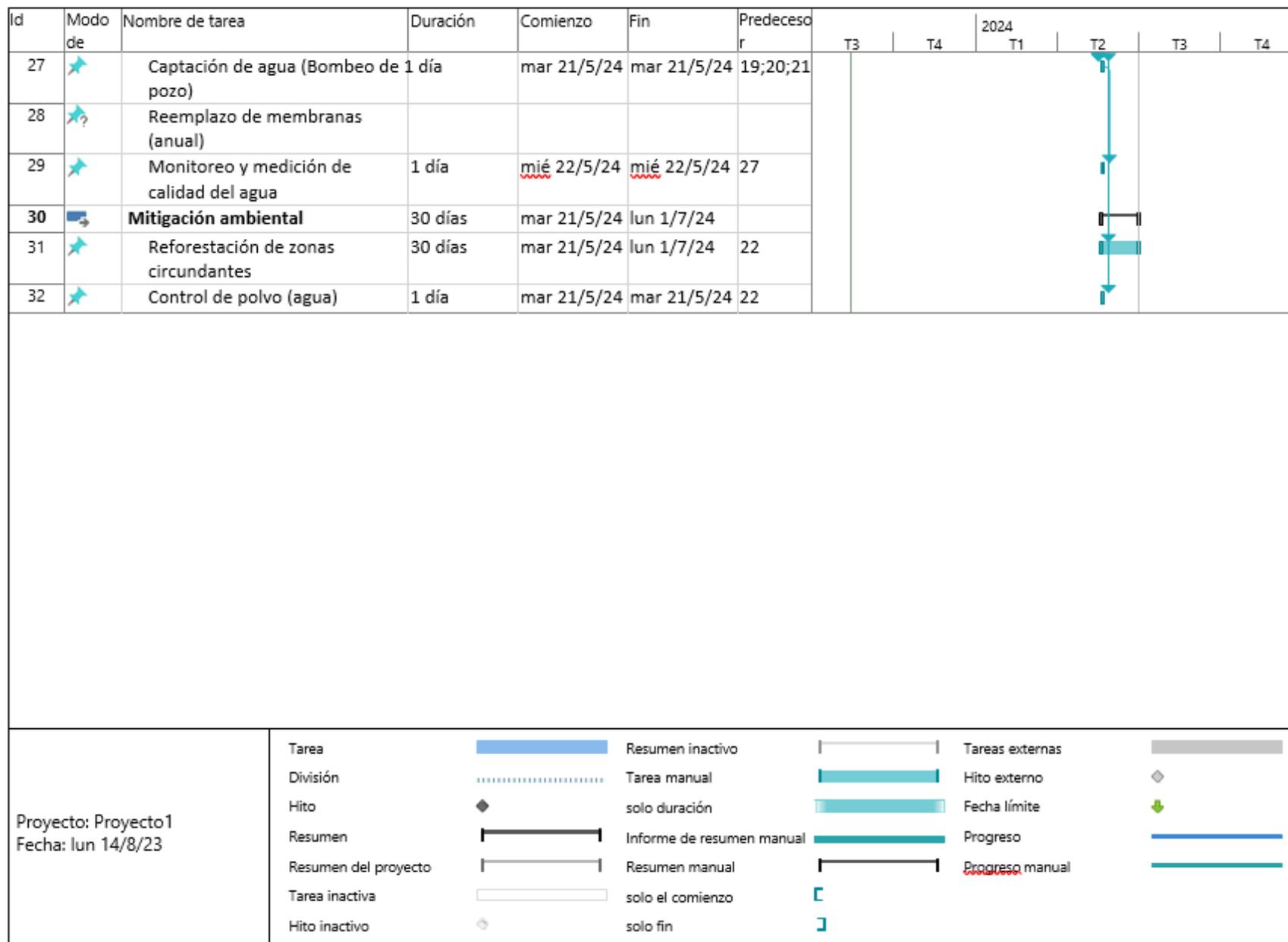


Figura 5.4 Cronograma de obra – página 3 [Urdánigo y Verdezoto, 2023].

# CAPÍTULO 6

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 Conclusiones

La parroquia Chanduy es una zona semiárida con escasez de agua dulce, lo que lleva al 44.26% de su población a depender de fuentes subterráneas para el suministro de agua. Sin embargo, estas fuentes presentan problemas de salinidad, con CE que alcanzan los 5350  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , y concentraciones de 2810 mg/L de SDT; pese a que la OMS recomienda como LMP 800  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en CE, y 500 mg/L en SDT para consumo humano. Las altas concentraciones de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$  identificados en el análisis de iones, con 35, 28 y 19 mEq/L respectivamente, caracterizaron estas aguas como de tipo clorurada sulfatada-sódica.

Se analizaron tres alternativas de sistemas de desalinización para Chanduy. La alternativa de OI presentó entre sus ventajas una alta eficiencia de remoción de sales de 93.62%, y un corto tiempo de desalinización de 4 minutos, pero demostró tener bajo porcentaje de recuperación (15%), y baja TD= -7.01  $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{min}/\text{L}$ . Además, el consumo energético de la planta de OI fue de 4.18 kWh/m<sup>3</sup> y un requerimiento de conexiones de 220 V para operar la planta, representando un costo energético de \$0.40 por cada m<sup>3</sup> de agua frente a los \$0.15/m<sup>3</sup> correspondientes a la alternativa ED. Además, Chanduy, comunidad vulnerable, no cuenta con la capacidad energética para la operación de una planta de OI, por lo cual se descartó esta alternativa.

El sistema de desalinización de electrodiálisis, por otro lado, se posicionó como una alternativa costo-efectiva que no compromete la red eléctrica. Los tipos de flujos de electrodiálisis evaluados: coflow y crossflow, demostraron tener alta eficiencia de remoción de sales, superior al 85% en ambos casos; y un alto porcentaje de recuperación de agua permeada, superior al 65%. Además, su EE fue de 1.58 kWh/m<sup>3</sup> para coflow, y 1.49 kWh/m<sup>3</sup> para crossflow, representando costos energéticos de \$0.15/m<sup>3</sup> y \$0.16/m<sup>3</sup>, respectivamente. Sin embargo, entre estas alternativas existe una diferencia en cuanto al tiempo de operación y la TD; donde electrodiálisis en coflow desaliniza el agua en un

$t = 90$  min con una  $TD = -50.87 \mu\text{S}/\text{cm}/\text{min}/\text{L}$ , y en modo crossflow con un  $t = 70$  min con una  $TD$  más rápida de  $-68.45 \mu\text{S}/\text{cm}/\text{min}/\text{L}$ . Por tanto, electrodiálisis con flujo crossflow es la alternativa óptima de tratamiento.

La optimización del sistema de electrodiálisis crossflow contempló la variación de caudales de 100 a 400 ml/min, y volúmenes de 1000 y 2000 ml, con el fin de determinar la configuración del sistema que permita obtener un mayor volumen de agua tratada en un tiempo específico al menor costo energético. De la variación de caudales para un volumen= 1000 ml, se determinó que el incremento del caudal estaba directamente relacionado con el incremento en la  $TD$ , lo que redujo el tiempo del proceso. Así, para un volumen= 1000 ml y un caudal de 400 ml/min, el tiempo requerido fue 70 min, con una  $TD = -68.45 \mu\text{S}/\text{cm}/\text{min}$  y  $EE = 1.65 \text{ kWh}/\text{m}^3$ . Por otro lado, al analizar la variación de caudal con el volumen= 2000 ml, se encontró un comportamiento similar; donde el caudal de 400 ml/min destacó en el tiempo de operación,  $TD$  y  $EE$ , en comparación con los demás caudales. En síntesis, para el volumen= 2000 ml y un caudal= 400 ml/min, el sistema requirió 120 minutos ( $TD = -39.70 \mu\text{S}/\text{cm}/\text{min}$ ) y una  $EE = 1.53 \text{ kWh}/\text{m}^3$ . En base a este análisis, se concluye que el caudal óptimo de funcionamiento del sistema es de 400 ml/min.

El incremento del volumen de 1000 ml a 2000 ml demostró la escalabilidad del sistema de electrodiálisis. Al comparar los resultados de la variación del volumen con un caudal= 400 ml/min, se observó que el tiempo que le tomó al volumen de 2000 ml fue de 120 min; 14% más rápido que lo requerido para desalinizar 1000ml dos veces. Además, el incremento de volumen presentó una reducción del 7% en la  $EE$ , haciéndolo más eficiente energéticamente. Finalmente se observó que el porcentaje de recuperación real del agua no se ve afectado notablemente por la variación de caudal ni del volumen a tratar. Es decir, que no existe una relación que indique una tendencia entre estos parámetros y el porcentaje de recuperación real.

En conclusión, se propone un sistema de electrodiálisis con flujo crossflow bajo los parámetros optimizados de voltaje de 6V, porcentaje de recuperación teórico del 80%, caudal de 400 ml/min, y un volumen de 2000 ml. Lo cual resulta en una  $TD = -39.70$

$\mu\text{S}/\text{cm}/\text{min}$ , un  $t=120$  minutos, una  $EE= 1.53 \text{ kWh}/\text{m}^3$ , y un costo energético de  $\$0.15$  por cada  $\text{m}^3$  de agua desalinizada.

## 6.2 Recomendaciones

- i. Se sugiere proponer y evaluar diferentes métodos de pretratamiento del agua antes de someterla al proceso de desalinización mediante electrodiálisis. Esto con el fin de reducir la carga de sólidos y materia orgánica que pueda entrar al sistema, y taponar las membranas. De esta manera se podrá mejorar la eficiencia y prolongar la vida útil del sistema de electrodiálisis y sus membranas.
- ii. Experimentar con el sistema de electrodiálisis empleando un mayor número de membranas, de modo que se pueda optimizar el gradiente de desalinización, el tiempo de operación, el volumen de agua permeada recuperada, y el costo energético.
- iii. Se recomienda utilizar paneles solares como fuente de energía alternativa con el fin de reducir la dependencia de la red de energía pública. Esto permitirá que la planta de desalinización siga operando incluso durante interrupciones en el suministro eléctrico, lo que a su vez contribuirá a mantener los costos operativos bajos y a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero.
- iv. Se sugiere realizar un análisis de las propiedades del agua de rechazo con el objetivo de determinar si sus componentes pueden ser de interés como materia prima para otra industria. Esta práctica promoverá una economía circular, permitiendo el reúso de recursos y reduciendo la generación de residuos. Además, al encontrar un uso provechoso para el agua de rechazo, se evitará la alteración del ecosistema de la zona y se fomentará un enfoque más sostenible en el proceso de desalinización.
- v. Para investigaciones posteriores con el sistema de electrodiálisis se recomienda analizar el comportamiento del tiempo de operación, tasa de desalinización y consumo energético para volúmenes superiores, como 3000 y 4000 ml. Además, se recomienda tratar estos volúmenes de agua con caudales superiores iguales o superiores a 400 ml/min.

# BIBLIOGRAFÍA

- A4ID. (2022). *A legal guide: SDG 6 Clean Water and Sanitation*. [www.a4id.org](http://www.a4id.org)
- AQUA SYSTEMS. (2023). *Medios filtrantes*. <https://aqua.com.mx/productos/medios-filtrantes/>
- Atwoli, L., Baqui, A. H., Benfield, T., Bosurgi, R., Godlee, F., Hancock, S., Horton, R., Laybourn-Langton, L., Monteiro, C. A., Norman, I., Patrick, K., Praities, N., Rikkert, M. G. M. O., Rubin, E. J., Sahni, P., Smith, R., Talley, N., Turale, S., & Vázquez, D. (2021). Call for emergency action to limit global temperature increases, restore biodiversity, and protect health. *Gaceta Sanitaria*, 35(6), 512–514. <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2021.08.001>
- Ayoub, G. M., Korban, L., Al-Hindi, M., & Zayyat, R. (2019). Brackish Water Desalination: An Effective Pretreatment Process for Reverse Osmosis Systems. *Water, Air, and Soil Pollution*, 230(10). <https://doi.org/10.1007/s11270-019-4299-2>
- Barker, R. W. (2012). *Membrane technology and applications* (Wiley John, Ed.; Third). John Wiley & Sons.
- Biesheuvel, P. M., Porada, S., Elimelech, M., & Dykstra, J. E. (2022). Tutorial review of reverse osmosis and electrodialysis. In *Journal of Membrane Science* (Vol. 647). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2021.120221>
- Çadraku, H. S., Laha, F., Gashi, F., & Fetoshi, O. (2022). Groundwater quality assessment using water quality index: Case study in the northwestern part of Drini i Bardhë River Basin, Kosovo. *Journal of Environmental Engineering and Science*. <https://doi.org/10.1680/jenes.22.00035>
- Cahui-Cahui, E., Tudela-Mamani, J. W., & Huamaní-Peralta, A. (2019). Determinantes socioeconómicos en la estimación de la disponibilidad a pagar del proyecto de agua potable y saneamiento en el centro poblado de Paxa, distrito de Tiquillaca – Puno 2017. *Comuni@cción: Revista de Investigación En Comunicación y Desarrollo*, 10(1), 81–91. <https://doi.org/10.33595/2226-1478.10.1.332>
- Capelo, N. (2019). *Caracterización de Acuíferos: Caso de Estudio en Santa Elena, Ecuador* [UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ]. <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/8160/1/142303.pdf>

- Carrión, A. (2021). *Cambio climático, desarrollo territorial y gobiernos locales: lecciones de la crisis sanitaria* (Primera).
- Chonlong, J., Pacheco, H., Cesar, J., & Leal, M. (2021). Estimación de zonas potenciales de aguas subterráneas en la cuenca del río Portoviejo mediante análisis jerárquico basado en SIG y Teledetección. *Publicación Cuatrimestral*, 6(1), 1–18. [https://doi.org/10.33936/rev\\_bas\\_de\\_la\\_ciencia.v%vi%i.2648](https://doi.org/10.33936/rev_bas_de_la_ciencia.v%vi%i.2648)
- Espinoza, M., & Franco, K. (2022). *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*. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- GAD Chanduy. (2020). *PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA PARROQUIA CHANDUY*.
- 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>
- GlobalPetrolPrices. (2022, March). Ecuador precios de la electricidad. *Ecuador Precios de La Electricidad*. [https://es.globalpetrolprices.com/Ecuador/electricity\\_prices/](https://es.globalpetrolprices.com/Ecuador/electricity_prices/)
- Goh, P. S., Lau, W. J., Othman, M. H. D., & Ismail, A. F. (2018). Membrane fouling in desalination and its mitigation strategies. In *Desalination* (Vol. 425, pp. 130–155). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.10.018>
- Grueso-Dominguez, M. C., Castro-Jiménez, C. C., Correa-Ochoa, M. A., & Saldarriaga-Molina, J. C. (2019). 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>
- INAMHI. (2013). *ANUARIO METEOROLÓGICO N°53*. [https://www.inamhi.gob.ec/docum\\_institucion/anuarios/meteorologicos/Am\\_2013.pdf](https://www.inamhi.gob.ec/docum_institucion/anuarios/meteorologicos/Am_2013.pdf)
- INEC. (2023). *Información Censal Cantonal*. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/informacion-censal-cantonal/>
- INEN. (1992). *CPE INEN 5 Parte 9-1*. [https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas23/cpe\\_inen\\_5-parte9-1.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas23/cpe_inen_5-parte9-1.pdf)

- Lenntech Filmtec. (n.d.). *FILMTEC™ BW30-4040 Membranes*. Retrieved June 21, 2023, from <https://www.lenntech.com/Data-sheets/Dow-Filmtec-BW30-4040.pdf>
- Lévano, S. (2017). *DISEÑO DE UN SISTEMA PILOTO CON FILTRO MULTIMEDIA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES Y SU INFLUENCIA EN LA CALIDAD FISICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DE LAS AGUAS TRATADAS EN ASENTAMIENTO HUMANO EL HUARANGO TIERRA PROMETIDA, ICA-2017* [Universidad a las Peruanas]. [https://repositorio.uap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12990/7657/Tesis\\_Dise%c3%b1o\\_Sistema\\_Piloto\\_Filtro\\_Multimedia.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12990/7657/Tesis_Dise%c3%b1o_Sistema_Piloto_Filtro_Multimedia.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Ma, L., Gutierrez, L., Verbeke, R., D'Haese, A., Waqas, M., Dickmann, M., Helm, R., Vankelecom, I., Verliefde, A., & Cornelissen, E. (2021). Transport of organic solutes in ion-exchange membranes: Mechanisms and influence of solvent ionic composition. *Water Research*, 190. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116756>
- Merinsac. (n.d.). *Filtro Multimedia: Retención de sólidos suspendidos*. Retrieved July 28, 2023, from <https://pdf4pro.com/cdn/multimedia-merinsa-com-109ee2.pdf>
- Naciones Unidas. (2016). *AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO: POR QUÉ ES IMPORTANTE*. [https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/wp-content/uploads/sites/3/2016/10/6\\_Spanish\\_Why\\_it\\_Matters.pdf](https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/wp-content/uploads/sites/3/2016/10/6_Spanish_Why_it_Matters.pdf)
- NTE INEN 1108. (2019). *NTE INEN 1108 AGUA PARA CONSUMO HUMANO. REQUISITOS*.
- Palacin Salcedo, J. J., & Montenegro Fresneda, J. E. (2018). Tecnologías basadas en recursos naturales para el desarrollo de comunidades descentralizadas de la costa caribe. *Revista Senova: Revista Del Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación*, 52. <https://doi.org/10.23850/23899573.1616>
- Panneerselvam, B., Ravichandran, N., Kaliyappan, S. P., Karuppanan, S., & Bidorn, B. (2023). Quality and Health Risk Assessment of Groundwater for Drinking and Irrigation Purpose in Semi-Arid Region of India Using Entropy Water Quality and Statistical Techniques. *Water (Switzerland)*, 15(3). <https://doi.org/10.3390/w15030601>
- PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA PARROQUIA CHANDUY*. (2020).

- Prefectura Santa Elena, & Consulsua. (2013). *Muro de protección contra la erosión del borde costero en la Cabecera Parroquial de Chanduy*. <https://maesantaelena.files.wordpress.com/2014/05/eia-muro-de-proteccion3b3n.pdf>
- Salahudeen, N. (2022). Process simulation of modelled reverse osmosis for desalination of seawater. *Water Practice and Technology*, 17(1), 175–190. <https://doi.org/10.2166/wpt.2021.127>
- Shatat, M., & Riffat, S. B. (2014). Water desalination technologies utilizing conventional and renewable energy sources. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 9(1), 1–19. <https://doi.org/10.1093/ijlct/cts025>
- Strathmann, H. (2010). *2.14 Electromembrane Processes: Basic Aspects and Applications*. Elsevier B.V.
- Tito, B. (2020a). *Matriz de Leopold modificada impacto ambiental*.
- Tito, B. (2020b, August 2). *Matriz de Leopold modificada impacto ambiental*. <https://ingenieriaambiental.net/matriz-de-leopold/>
- UNICEF. (2019, June 18). *1 de cada 3 Personas en el Mundo no Tiene Acceso a Agua Potable*. Progress on Household Drinking Water, Sanitation and Hygiene, 2000-2017. <https://www.unicef.org/es/comunicados-prensa/1-de-cada-3-personas-en-el-mundo-no-tiene-acceso-a-agua-potable>
- Villa, O. R. M., Cortes, B. N. A., Gutierrez, R. D. G., Vargas, O. H., Garcia, C. P., Gonzalez, Y. F., Escobar, H. M. O., Magdaleno, H. F., Chulim, A. C., Crespo, E. C., Bernal, E. I. S., Lopez, J. L. O., & Saldivar, I. M. (2021). Calidad del agua subterránea para uso agrícola en zacoalco de torres y autlan de navarro, mexico groundwater quality for agricultural use in zacoalco de torres and autlan de navarro, mexico. *Terra Latinoamericana*, 39, 1–12. <https://doi.org/10.28940/TERRA.V39I0.745>
- World Health Organization. (2011). *Guías para la calidad del agua de consumo humano* (4th ed.). <http://apps.who.int/>
- Zapata-Sierra, A., Cascajares, M., Alcayde, A., & Manzano-Agugliaro, F. (2022). Worldwide research trends on desalination. In *Desalination* (Vol. 519). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2021.115305>

# ANEXOS

## Anexo A: Cálculo del balance de masa

A continuación, se detalla el procedimiento para el cálculo del balance de masa. Para ejemplificar se empleará los resultados de la experimentación con el caudal de 400 ml/min, volumen de 1000 ml, voltaje de 6V, y un flujo de tipo crossflow.

Durante la experimentación con el sistema de ED se llevó a cabo un monitoreo constante de la CE en intervalos de 10 minutos, con el fin de determinar la tasa de desalinización, tasa de rechazo, el tiempo de operación que le toma a la planta desalinizar por debajo de 800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , y finalmente, para determinar el porcentaje de recuperación de agua permeada real. En primer lugar, se parte con del diseño teórico de que el porcentaje de recuperación de agua sea del 80%. Sin embargo, por el transporte de masas que existe entre los flujos de permeado y rechazo, este porcentaje varía. Es así, como en condiciones iniciales el recipiente del permeado contiene el 80% del volumen total, es decir, 800 ml; mientras que el recipiente del rechazo contiene el otro 20%, es decir, 200 ml del volumen de agua.

En el caso del experimento ejecutado, se reportó los siguientes resultados para la CE en función del tiempo:

<b>t (min)</b>	<b>CE permeado (<math>\mu\text{S}/\text{cm}</math>)</b>	<b>CE rechazo (<math>\mu\text{S}/\text{cm}</math>)</b>
<b>0</b>	5290	5290
<b>10</b>	4570	6565
<b>20</b>	3610	8760
<b>30</b>	2930	10140
<b>40</b>	2110	11570
<b>50</b>	1474	12620
<b>60</b>	984	13340
<b>70</b>	670	13740

El balance de masas se basa en la ley de conservación de la materia de que la masa no se crea ni se destruye, sino que se redistribuye o se transforma. Por tanto, en el minuto 0, al partir con una CE inicial de 5290  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , el balance de masas entre la CE del permeado y el rechazo debe ser igual a 5290  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Como se comprueba a continuación:

$$BM_{t:0} = 5290 (80\%) + 5290 (20\%)$$

$$BM_{t:0} = 4232 + 1058 = 5290 \mu\text{S/cm}$$

Al finalizar la experimentación, en este caso en el  $t = 70$  minutos, el balance de masa debe dar de igual manera  $5290 \mu\text{S/cm}$ , por el principio mencionado previamente. Sin embargo, el resultado, considerando un porcentaje de 80% para el permeado, es el siguiente:

$$BM_{t:70} = 670 (80\%) + 13740 (20\%)$$

$$BM_{t:70} = 536 + 2748 = 3284 \mu\text{S/cm}$$

Como se puede observar, no se cumple el balance de masa si se considera un porcentaje de recuperación del 80%. Y dado la materia no se crea ni se destruye, sino que se redistribuye, entonces se procede a encontrar el porcentaje de recuperación real de agua permeada al final del proceso de desalinización. Para realizar esto, los autores recomiendan la herramienta de Microsoft Excel "Análisis de hipótesis", donde se puede encontrar el valor del porcentaje con la herramienta "Buscar Objetivo". Para esto, en definir celda se selecciona la suma del balance final en el minuto 70, y se le pide al programa que lo reemplace con el balance inicial (es decir, 5290), cambiando la celda del porcentaje teórico del agua permeada. Como se muestra a continuación:

% RECUPERACIÓN	
PERMEADO	80,00%
RECHAZO	20,00%

→ \$\$3

BALANCE DE MASA		
CE PERM	CE RECH	BALANCE
4232,00	1058,00	5290,00
3656,00	1313,00	4969,00
2888,00	1752,00	4640,00
2344,00	2028,00	4372,00
1688,00	2314,00	4002,00
1179,20	2524,00	3703,20
787,20	2668,00	3455,20
536,00	2748,00	3284,00

→ \$\$17

Buscar objetivo ? X

Definir la celda:  ↑

Con el valor:

Cambiando la celda:  ↑

Una vez que se le da en "Aceptar", el programa calculará cuánto es el porcentaje real de recuperación. Lo cual da como resultado lo establecido en la siguiente tabla:

Porcentaje de recuperación real	
Permeado	64.65%

Rechazo	35.35%
---------	--------

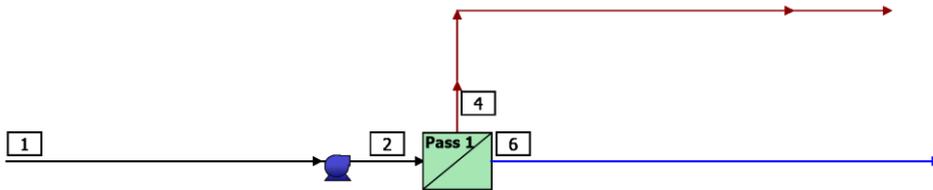
Finalmente, se muestra la tabla del balance de masa para todos los tiempos, en la cual se puede constatar que el Balance de la CE total es el mismo para el tiempo inicial, y el tiempo final.

t (min)	Balance CE permeado	Balance CE rechazo	Balance CE total
0	3420,08	1869,92	<b>5290,00</b>
10	2954,59	2320,60	5275,20
20	2333,93	3096,50	5430,43
30	1894,30	3584,30	5478,60
40	1364,15	4089,78	5453,93
50	952,97	4460,93	5413,90
60	636,17	4715,44	5351,61
70	433,17	4856,83	<b>5290,00</b>

## Anexo B: Energía específica de planta de Ósmosis Inversa

A continuación, se presenta el informe de los resultados del software WAVE, para la obtención de energía específica requerida por la planta de ósmosis inversa.

### RO Detailed Report RO System Flow Diagram



#	Description	Flow (m <sup>3</sup> /h)	TDS (mg/L)	Pressure (bar)
1	Raw Feed to RO System	2.27	3,046	0.0
2	Net Feed to Pass 1	2.26	3,048	18.0
4	Total Concentrate from Pass 1	1.93	3,583	17.5
6	Net Product from RO System	0.34	14.95	0.0

### RO System Overview

Total # of Trains	1	Online =	1	Standby =	0	RO Recovery	15.0 %
System Flow Rate	(m <sup>3</sup> /h)	Net Feed =	2.27	Net Product =	0.34		

Pass	Pass 1
Stream Name	Stream 1
Water Type	Surface Water (SDI < 5)
Number of Elements	1
Total Active Area (m <sup>2</sup> )	7.25
Feed Flow per Pass (m <sup>3</sup> /h)	2.26
Feed TDS <sup>a</sup> (mg/L)	3,048
Feed Pressure (bar)	18.0
Flow Factor Per Stage	0.85
Permeate Flow per Pass (m <sup>3</sup> /h)	0.34
Pass Average flux (LMH)	46.9
Permeate TDS <sup>a</sup> (mg/L)	14.95
Pass Recovery	15.0 %
Average NDP (bar)	15.6
Specific Energy (kWh/m <sup>3</sup> )	4.18
Temperature (°C)	25.0
pH	6.9
Chemical Dose	-
RO System Recovery	15.0 %
Net RO System Recovery	15.0%

Footnotes:

<sup>a</sup>Total Dissolved Solids includes ions, SiO<sub>3</sub> and B. It does not include NH<sub>4</sub> and CO<sub>3</sub>

**RO Flow Table (Stage Level) - Pass 1**

Stage	Elements	#PV	#Els per PV	Feed				Concentrate			Permeate			
				Feed Flow	Recirc Flow	Feed Press	Boost Press	Conc Flow	Conc Press	Press Drop	Perm Flow	Avg Flux	Perm Press	Perm TDS
				(m <sup>3</sup> /h)	(m <sup>3</sup> /h)	(bar)	(bar)	(m <sup>3</sup> /h)	(bar)	(bar)	(m <sup>3</sup> /h)	(LMH)	(bar)	(mg/L)
	BW30-4040	1	1	2.26	0.00	17.7	0.0	1.93	17.5	0.2	0.34	46.9	0.0	14.95

**RO Solute Concentrations - Pass 1**

Concentrations (mg/L as ion)				
	Feed	Concentrat	Permeate	
		e	Stage1	Total
NH4+	0.00	0.00	0.00	0.00
K+	5.00	5.88	0.03	0.03
Na+	799.6	940.6	4.89	4.89
Mg <sup>+2</sup>	89.95	105.9	0.22	0.22
Ca <sup>+2</sup>	149.9	176.5	0.34	0.34
Sr <sup>+2</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba <sup>+2</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00
COJ <sup>-2</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00
HCOJ <sup>-</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00
NOJ <sup>-</sup>	0.01	0.01	0.00	0.00
F <sup>-</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl <sup>-</sup>	1,101	1,295	6.93	6.93
Br <sup>-1</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00
SO4 <sup>-2</sup>	900.5	1,060	2.54	2.54
PO4 <sup>-3</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO3	0.00	0.00	0.00	0.00
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00
CO3	0.00	0.00	0.00	0.00
TDS <sup>a</sup>	3,046	3,583	14.95	14.95
Cond. $\mu$ S/cm	5,310	6,164	31	31
pH	6.9	6.9	7.0	7.0

Footnotes:

<sup>a</sup>Total Dissolved Solids includes ions, SiO3 and B. It does not include NHJ and CO3

**RO Design Warnings**

Design Warning	Limit	Value	Pass	Stage	Element	Product
Permeate Flow Rate > Maximum Limit (m <sup>3</sup> /h)	0.22	0.34	1	1	1	BW30-4040
Element Recovery > Maximum Limit (%)	15.0	15.0	1	1	1	BW30-4040

**Special Comments**

None

**RO Flow Table (Element Level) - Pass 1**

Stage	Element	Element Name	Recovery (%)	Feed Flow (m <sup>3</sup> /h)	Feed Press (bar)	Feed TDS (mg/L)	Conc Flow (m <sup>3</sup> /h)	Perm Flow (m <sup>3</sup> /h)	Perm Flux (LMH)	Perm TDS (mg/L)
1	1	BW30-4040	15.0	2.26	17.7	3,048	1.93	0.34	46.9	14.95

## **Anexo C: Especificaciones técnicas**

A continuación, se describen las actividades que serán la base para la identificación de los rubros que permitieron elaborar el presupuesto referencial de la implementación del sistema de desalinización de agua.

### **001. Desbroce y limpieza del terreno.**

#### Descripción:

Esta actividad incluye la tala de árboles y remoción de toda la vegetación presente en el área de la construcción. Además, se incluye la limpieza y el desalojo de los desechos generados con el objetivo de preparar el área para el inicio de las actividades constructivas.

#### Procedimiento:

El desbroce puede ser realizado a mano, con maquinaria, o una combinación de ambas en función de la cantidad de vegetación del área designada. Todo agujero producto de la tala de árboles o remoción de arbustos deberá ser rellenado y compactado.

#### Medición y pago:

Se tomará la medida del área de terreno intervenida y se realizará el pago por metro cuadrado, con aproximación a dos decimales, de terreno que esté completamente limpio.

### **002. Replanteo y nivelación de obra**

#### Descripción:

Hace referencia al trazado en el terreno, verificación de longitudes, toma de niveles y puntos de referencia para guiar de manera precisa las etapas posteriores de la obra.

#### Procedimiento:

Se debe colocar referencias de ejes y puntos de control que permanecerán fijas durante el proceso constructivo. Luego se nivela el terreno con ayuda de un nivel óptico para determinar las cotas de construcción y se verifica la correcta alineación de los ejes principales de la construcción. Finalmente se delimitará el área de cada estructura con estacas y piolas; y se determinará si se requiere corte o relleno.

#### Medición y pago:

La medición se basará en el área comprendida entre los ejes delimitados para las estructuras. El pago se realizará en por metro cuadrado con aproximación a dos decimales.

### **003. Excavación en tierra**

#### Descripción:

Incluye la remoción y desplazamiento del suelo natural del terreno, tanto para las cimentaciones como para las piscinas de evaporación consideradas en el presente proyecto. La excavación se realizará a máquina y el fiscalizador debe verificar que las cotas sean las adecuadas.

#### Procedimiento:

Las cotas de excavación serán determinadas por el estudio del suelo. Al finalizar la excavación se debe comprobar que las cotas y longitudes coincidan con los valores requeridos en los planos.

#### Medición y pago:

La medición se realiza en función del volumen excavado tanto para las cimentaciones como para las piscinas. El pago se realizará en por metro cúbico con aproximación a dos cifras decimales.

### **004. Desalojo de material (Incluye esponjamiento)**

#### Descripción:

Comprende la remoción y transporte del material excavado ya esponjado hacia un botadero fuera de la zona de construcción.

#### Procedimiento:

Una vez finalizada la excavación y cumplidos los controles de calidad requeridos, se procede a cargar el material excavado en volquetas para ser dispuesto en el o los botaderos designados. Se debe registrar y documentar el desalojo de material para fines de seguimiento y control.

#### Medición y pago:

La medición se realizará en metros cúbicos de material ya esponjado que sea removido de la obra. Este volumen debe ser verificado y aprobado por el fiscalizador antes de realizar el pago; el mismo que será por cada metro cúbico con aproximación a dos cifras decimales.

### **005. Replanto**

#### Descripción:

Se refiere a la capa de hormigón aplicada sobre el terreno natural para aislar la estructura metálica de la humedad y el contacto directo con el suelo, mejora la distribución de cargas y sirve como base a las estructuras.

#### Procedimiento:

Se prepara un hormigón simple de 140 kg/cm<sup>2</sup> in situ, mezclando en las cantidades designadas agua, cemento, agregado fino y agregado grueso para alcanzar la resistencia deseada, este hormigón se vierte dentro de las excavaciones de los cimientos sobre el terreno virgen.

#### Medición y pago:

La medición se realizará en metros cúbicos de hormigón y su pago será en metros cúbicos. Para determinar el volumen se cubicarán los elementos ejecutados multiplicando largo, ancho y altura.

### **006. Acero de refuerzo en varillas**

#### Descripción:

Comprende las operaciones de corte, doblado, elaboración de ganchos y colocación del acero de refuerzo requerido para cada estructura de hormigón armado que pueda comprender el proyecto.

#### Procedimiento:

Se realizará el doblado y corte de las varillas mediante métodos mecánicos o manuales. Se permitirá el uso de soldadura para el corte cuando la supervisión lo requiera. Además,

la actividad involucra proveer y ubicar acero de refuerzo siguiendo las indicaciones detalladas en los planos estructurales y sus especificaciones. Finalmente, inspeccionarán los armazones para certificar la solidez de la estructura.

Medición y pago:

La medición se realizará en función de la cantidad efectiva utilizada, ejecutada y colocada en obra según los planos y la aprobación del fiscalizador. El pago se realizará por kg de acero con aproximación a una cifra decimal.

**007. Hormigón simple**

Descripción:

Es un hormigón de uso general para el proyecto, se lo elaborará con agregados finos (arena), agregado grueso (ripio), cemento de uso general (GU) y agua potable mezclados según lo especifique la dosificación diseñada.

Procedimiento:

Posterior a la aprobación por parte de fiscalización del armado de metálico de la estructura de refuerzo se procede a la preparación, control y vaciado del hormigón. Este apartado debe ajustarse a los requerimientos del Código Ecuatoriano de la Construcción (C.E.C.) vigente en lo referente a materiales, calificación, vaciado, asentamiento y curado tanto para hormigón premezclado como para hormigón mezclado in situ.

Medición y pago:

La medición se realizará en metros cúbicos de hormigón y su pago será en metros cúbicos. Para determinar el volumen se cubicarán los elementos ejecutados multiplicando largo, ancho y altura.

**008. Relleno**

Descripción:

Esta actividad comprende el relleno del terreno excavado con el objetivo de uniformizar el suelo. Aquí se incluye también la compactación del área rellena para la correcta operación de la planta.

Procedimiento:

Se determinarán las áreas que precisen relleno, se verterá el material de préstamo importado, se humedecerá el suelo y se compactará en capas de máximo 20 centímetros, esto con el fin de prevenir asentamientos futuros

Medición y pago:

La medición se realizará en metros cúbicos material de préstamo ubicados y compactados; su pago será por metros cúbicos. Para determinar el volumen se cubicará el material vertido en obra previa aprobación del fiscalizador.

**009. Instalación de tuberías**

Descripción:

Esta actividad incluye la instalación del sistema de tuberías; tanto de servicio, como de operación de la planta, además de los accesorios como uniones, reducciones, válvulas, etc. que se requieran en el proceso.

Procedimiento:

Se deben seguir los planos de instalaciones del sistema avanzado de tratamiento, así como los planos de instalaciones sanitarias con el fin de garantizar la correcta operación de la planta, desde la captación de agua hasta su disposición en los tanques de almacenamiento y postratamiento.

Medición y pago:

La medición se realizará en metros lineales de tubería instalada. Cada tramo deberá ser inspeccionando por fiscalización antes de proceder con el pago

**010. Instalación de bombas de conducción**

Descripción:

Hace referencia a la instalación de las distintas bombas que impulsarán el agua desde y hasta las distintas etapas del sistema para garantizar la operación continua de la planta.

Procedimiento:

Se identificará el lugar donde se deben colocar las bombas de agua según lo estipulen los planos de operación de la planta y se realizará la instalación por medio de personal calificado para la instalación de estos elementos.

Medición y pago:

La medición y pago se realizará en base a las unidades (bombas de agua) instaladas en total, además se debe comprobar que la bomba entregue el volumen de agua deseado según lo estipulado en los planos.

**011. Suministro e instalación de bomba peristáltica**

Descripción:

Hace referencia a la instalación de las bombas peristálticas que impulsarán el agua a través de las membranas de forma constante durante el proceso de desalinización del agua.

Procedimiento:

Se identificará el lugar donde se deben colocar las bombas de agua según lo estipulen los planos de operación de la planta y se realizará la instalación por medio de personal calificado para la instalación de estos elementos.

Medición y pago:

La medición y pago se realizará en base a las unidades (bombas de agua) instaladas en total, además se debe comprobar que la bomba entregue el volumen de agua deseado según lo estipulado en los planos.

**012. Suministro e instalación de planta de electrodiálisis**

Descripción:

Hace referencia a la instalación de todos los componentes internos del sistema de electrodiálisis como lo son los separadores, membranas, sellos antifuga, instalación eléctrica, etc. Además de la calibración del equipo para que pueda funcionar correctamente.

Procedimiento:

Se identificará el lugar donde se ubicará el equipo de electrodiálisis, se instalarán todos los componentes, incluyendo la instalación de accesorios necesarios para realizar el mantenimiento al equipo. Se verificará que cada elemento esté nivelado, no presente fugas y que las condiciones de operación sean óptimas para asegurar el correcto funcionamiento.

Medición y pago:

La medición y pago se realizará en base a las unidades (sistemas de ED) instalados en total.

**013. Suministros e instalación de fuente de energía**

Descripción:

Hace referencia a la instalación de la fuente que se seleccione para abastecer la demanda energética del sistema de electrodiálisis, así como su instalación, calibración y operación. También se considera las instalaciones eléctricas necesarias para su funcionamiento.

Procedimiento:

Se instalará la fuente de energía determinada para la planta de electrodiálisis, así como sus componentes necesarios para su operación, estos pueden ser tomacorrientes, interruptores, puntos de luz, caja de breaker, cableado eléctrico, etc. Se verificará que cada elemento esté funcionando, y que las condiciones de operación sean óptimas para asegurar el correcto funcionamiento.

Medición y pago:

La medición y pago se realizará en base a las unidades eléctricas globales instaladas en total.

## Anexo D: Análisis de Precios Unitarios

### ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO: 1.1 UNIDAD global  
 DETALLE: Estudios Estructurales  
 OBRA: Sistema descentralizado de desalinización de agua

EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANT.	C.UNIT.	COSTO/HORA	RENDIMIEN TO	COSTO
	A	B	AxB	C	D=(A*B)xC
SUBTOTAL M					0,00
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO/HORA	REND,	COSTO
	A	B	A*B	R	C=(A*B)Xr
SUBTOTAL N					0,00
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	C.UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Calculo y Diseño Estructural en Hormigón Armado	m2	400,00	2,50	1.000,00	
Evaluación y Reforzamiento de Estructuras	m2	400,000	4,50	1.800,00	
Diseño de Hormigón	u.	2,000	310,00	620,00	
SUBTOTAL O					3.420,00
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=A*B	
SUBTOTAL P					0,00
COSTO DIRECTO					3.420,00
COSTOS INDIRECTOS 15,00%					513,00
COSTO TOTAL					3.933,00
COSTO OFERTADO					3.933,00

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

RUBRO: 1.2 UNIDAD global  
 DETALLE: Estudios Hidráulicos  
 OBRA: Sistema descentralizado de desalinización de agua

EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANT.	C.UNIT.	COSTO/HO RA	RENDIMIEN TO	COSTO
	A	B	AxB	C	D=(A*B)xC
SUBTOTAL M					0,00
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO/HO RA	REND, R	COSTO
	A	B	A*B	R	C=(A*B)Xr
SUBTOTAL N					0,00
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	C.UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Ensayos químicos en aguas - Alcalinidad	u.	1,00	25,00	25,00	
Ensayos químicos en agyas - Cloruros	u.	1,000	25,00	25,00	
Ensayos químicos en agyas - Sulfatos	u.	1,000	25,00	25,00	
SUBTOTAL O					75,00
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=A*B	
SUBTOTAL P					0,00
COSTO DIRECTO					75,00
COSTOS INDIRECTOS 15,00%					11,25
COSTO TOTAL					86,25
COSTO OFERTADO					86,25

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

RUBRO: 1.3 UNIDAD global  
 DETALLE: Estudios de Suelos  
 OBRA: Sistema descentralizado de desalinización de agua

EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANT.	C.UNIT.	COSTO/HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	AxB	C	D=(A*B)xC
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>0,00</b>
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO/HORA	REND,	COSTO
	A	B	A*B	R	C=(A*B)xr
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>0,00</b>
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	C.UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Periodo de Vibración del Suelo	u.	1,00	250,00	250,00	
Clasificación SUCs (Humedad + Contenido de Agua + Límites)	u.	3,000	45,50	136,50	
Compactación (Proctor Estándar)	u.	10,000	25,00	250,00	
<b>SUBTOTAL O</b>					<b>636,50</b>
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=A*B	
<b>SUBTOTAL P</b>					<b>0,00</b>
<b>COSTO DIRECTO</b>					<b>636,50</b>
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>					<b>15,00%</b>
<b>COSTO TOTAL</b>					<b>731,98</b>
<b>COSTO OFERTADO</b>					<b>731,98</b>

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

RUBRO: 2.1 UNIDAD m2  
 DETALLE: Desbroce y limpieza del terreno  
 OBRA: Sistema descentralizado de desalinización de agua

EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANT.	C.UNIT.	COSTO/HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	AxB	C	D=(A*B)xC
Herramientas Menores	1,00	0,00	0,00	0,20	0,00
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>0,00</b>
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO/HORA	REND,	COSTO
	A	B	A*B	R	C=(A*B)Xr
Peòn	4,00	3,60	14,40	0,20	2,88
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>2,88</b>
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	C.UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
<b>SUBTOTAL O</b>				<b>0,00</b>	
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=A*B	
<b>SUBTOTAL P</b>				<b>0,00</b>	
<b>COSTO DIRECTO</b>					<b>2,88</b>
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>				<b>15,00%</b>	<b>0,43</b>
<b>COSTO TOTAL</b>					<b>3,31</b>
<b>COSTO OFERTADO</b>					<b>3,31</b>

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

RUBRO: 2.2 UNIDAD m2  
 DETALLE: Replanteo y trazado  
 OBRA: Sistema descentralizado de desalinización de agua

EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANT.	C.UNIT.	COSTO/HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	AxB	C	D=(A*B)xC
Herramientas Menores (5.00% de m.o.)					0,035
Teodolito	1,000	6,88	6,88	0,02	0,138
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>0,173</b>
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO/HORA	REND,	COSTO
	A	B	A*B	R	C=(A*B)Xr
Peòn	1,00	3,83	3,83	0,10	0,38
Carpintero	1,00	3,87	3,87	0,05	0,19
Maestro de obra	1,00	4,29	4,29	0,03	0,13
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>0,70</b>
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	C.UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Cementina 25 kg	saco	0,05	6,50	0,33	
Cuartón	u	0,100	1,50	0,15	
Clavos chicos	caja	0,010	63,83	0,64	
Tiras de madera	u	0,200	0,40	0,08	
<b>SUBTOTAL O</b>					<b>1,19</b>
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=A*B	
<b>SUBTOTAL P</b>					<b>0,00</b>
<b>COSTO DIRECTO</b>					<b>2,07</b>
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>					<b>15,00%</b>
<b>COSTO TOTAL</b>					<b>2,38</b>
<b>COSTO OFERTADO</b>					<b>2,38</b>

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

RUBRO: 2.3 UNIDAD m2  
 DETALLE: Construcción de estructuras temporales  
 OBRA: Sistema descentralizado de desalinización de agua

<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCION	CANT.	C.UNIT.	COSTO/HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	AxB	C	D=(A*B)x C
Herramientas Menores (5% de M/O)	1,00				0,19
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>0,19</b>
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO/HORA	REND,	COSTO
	A	B	A*B	R	C=(A*B)xr
Peón	1,00	3,88	3,88	-	3,88
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>3,88</b>
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	C.UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Bodegas y oficinas varios usos	global	1,000	12,07	12,07	
<b>SUBTOTAL O</b>				<b>12,07</b>	
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=A*B	
<b>SUBTOTAL P</b>				<b>0,00</b>	
<b>COSTO DIRECTO</b>					<b>16,14</b>
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>					<b>15,00%</b>
<b>COSTO TOTAL</b>					<b>18,56</b>
<b>COSTO OFERTADO</b>					<b>18,56</b>

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

RUBRO: 2.4 UNIDAD ml  
 DETALLE: Cerramiento de mallas tipo cerca pro máxima seguridad: H= 2.10 m  
 OBRA: Sistema descentralizado de desalinización de agua

EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANT.	C.UNIT.	COSTO/HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	AxB	C	D=(A*B)xC
Herramientas Menores (5% de M/O)	1,00				0,23
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>0,23</b>
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO/HORA	REND.	COSTO
	A	B	A*B	R	C=(A*B)Xr
Maestro mayor en ejecución de obras civiles	0,10	3,93	3,93	1,00	3,93
Peòn	2,00	3,51	7,02	1,00	7,02
Operador de equipo liviano	1,00	3,55	3,55	1,00	3,55
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>14,50</b>
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	C.UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Cemento portland tipo I (50 kg)	saco	0,10	7,50	0,74	
Arena gruesa	m3	0,009	18,04	0,16	
Piedra #4	m3	0,013	21,98	0,29	
Agua	m3	0,003	1,08	0,00	
Kit Poste 100 x 50 x 2 H=2.60 m. Color Gris para cerca PRO máxima seguridad	u.	0,42	134,98	57,23	
Tapa PCV gris 100x500x2 Bekaert para cerca PRO máxima seguridad	u.	0,42	1,99	0,84	
Cerca PRO máxima seguridad 2.40 x 2.10 m gris	u.	0,42	199,42	83,76	
<b>SUBTOTAL O</b>					<b>143,03</b>
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Traslado de materiales	global	1,00	1,57	1,57	
<b>SUBTOTAL P</b>					<b>1,57</b>
<b>COSTO DIRECTO</b>					<b>159,33</b>
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>					<b>23,90</b>
<b>COSTO TOTAL</b>					<b>183,23</b>
<b>COSTO OFERTADO</b>					<b>183,23</b>

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

RUBRO: 3.1 UNIDAD m3  
 DETALLE: Excavación y Desalojo con Equipo Mecánico  
 OBRA: Sistema descentralizado de desalinización de agua

EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANT.	C.UNIT.	COSTO/HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	AxB	C	D=(A*B)xC
Herramientas Menores (5% de M/O)					0,06
Retroexcavadora	1,00	25,00	25,00	0,10	2,50
Volqueta	1,00	24,00	24,00	0,10	2,40
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>4,96</b>
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO/HORA	REND,	COSTO
	A	B	A*B	R	C=(A*B)xr
Operador	1,00	4,01	4,01	0,10	0,40
Ayudante	1,00	3,58	3,58	0,10	0,36
Chofer	1,00	5,26	5,26	0,10	0,53
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>1,29</b>
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	C.UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
<b>SUBTOTAL O</b>					<b>0,00</b>
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=A*B	
<b>SUBTOTAL P</b>					<b>0,00</b>
<b>COSTO DIRECTO</b>					<b>6,25</b>
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>					<b>15,00%</b>
<b>COSTO TOTAL</b>					<b>7,19</b>
<b>COSTO OFERTADO</b>					<b>7,19</b>

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

RUBRO: 3.2 UNIDAD m3  
 DETALLE: Replantillo de piedra graduada de 1/2" - 3/4"  
 OBRA: Sistema descentralizado de desalinización de agua

<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCION	CANT.	C.UNIT.	COSTO/HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	AxB	C	D=(A*B)xC
Herramientas Menores (5% de M/O)					0,14
Cargadora de 95 HP/1.5 m3	0,11	31,00	3,40	1,00	3,40
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>3,54</b>
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO/HORA	REND,	COSTO
	A	B	A*B	R	C=(A*B)xr
Peón	0,68	3,58	2,43	1,00	2,43
Maestro mayor en ejecución de obras civiles	0,07	4,01	0,27	1,00	0,27
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>2,70</b>
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	C.UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Piedra graduada de 1/2" - 3/4"	m3	1,05	14,23	14,94	
Prueba laboratorio piedra	u.	1,00	0,75	0,75	
<b>SUBTOTAL O</b>					<b>15,69</b>
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Transporte Replantillo de piedra graduada de m3 1/2" - 3/4"	m3	1,05	0,27	0,28	
<b>SUBTOTAL P</b>					<b>0,00</b>
<b>COSTO DIRECTO</b>					<b>21,93</b>
<b>COSTOS INDIRECTOS</b> 15,00%					<b>3,29</b>
<b>COSTO TOTAL</b>					<b>25,22</b>
<b>COSTO OFERTADO</b>					<b>25,22</b>

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

RUBRO: 3.3 UNIDAD m3  
 DETALLE: Relleno compactado manualmente con material importado  
 OBRA: Sistema descentralizado de desalinización de agua

<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCION	CANT.	C.UNIT.	COSTO/HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	AxB	C	D=(A*B)xC
Herramientas Menores (5% de M/O)	1,00				0,23
Compactador pequeño manual	1,00	3,95	3,95	0,62	2,43
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>2,66</b>
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO/HORA	REND,	COSTO
	A	B	A*B	R	C=(A*B)xr
Maestro mayor en ejecución de obras civiles	0,10	3,93	0,39	0,62	0,24
Peòn	1,00	3,51	3,51	0,62	2,18
Operador de equipo liviano	1,00	3,55	3,55	0,62	2,16
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>4,58</b>
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	C.UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Cascajo mediano/fino	m3	1,30	4,24	5,51	
Agua	m3	0,100	1,08	0,11	
<b>SUBTOTAL O</b>					<b>5,62</b>
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Traslado de materiales	global	1,00	3,00	3,00	
<b>SUBTOTAL P</b>					<b>3,00</b>
<b>COSTO DIRECTO</b>					<b>15,86</b>
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>					<b>15,00%</b>
<b>COSTO TOTAL</b>					<b>18,24</b>
<b>COSTO OFERTADO</b>					<b>18,24</b>

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

**RUBRO:** 4.1 - 4.2 - 4.3 **UNIDAD** m3  
**DETALLE:** Estructura de Hormigón Armado f'c = 210 kg/cm2 sin aditivos (incluye encofrado)  
**OBRA:** Sistema descentralizado de desalinización de agua

<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCION	CANT.	C.UNIT.	COSTO/HO RA	RENDIMIEN TO	COSTO
	A	B	AxB	C	D=(A*B)xC
Herramientas Menores (5% de M/O)					2,49
Concretera de 1 saco	1,00	1,40	3,75	1,00	3,75
Vibrador de Manguera	1,00	0,70	5,63	1,00	5,63
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>11,87</b>
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO/HO RA	REND, R	COSTO
	A	B	A*B	R	C=(A*B)xR
Peón	6,04	3,58	21,61	1,00	21,61
Maestro mayor en ejecución de obras civiles	2,71	4,01	10,87	1,00	10,87
Fierrero	4,80	3,62	17,38	1,00	17,38
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>49,86</b>
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	C.UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Encofrado	m3	1,000	66,82	66,82	
Hormigón f'c = 280 kg/cm2	m3	1,060	110,06	116,66	
Acero corrugado fy = 4200 kg/cm2	qq	2,400	54,00	129,60	
Alambre recocido #18	kg	2,440	1,83	4,47	
Combustible	galón	0,250	1,85	0,46	
Prueba laboratorio hormigón	u.	1,00	8,70	8,70	
<b>SUBTOTAL O</b>					<b>326,71</b>
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Traslados de material				6,20	
<b>SUBTOTAL P</b>					<b>6,20</b>
<b>COSTO DIRECTO</b>					<b>394,64</b>
<b>COSTOS INDIRECTOS</b> 15,00%					<b>59,20</b>
<b>COSTO TOTAL</b>					<b>453,84</b>
<b>COSTO OFERTADO</b>					<b>453,84</b>

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

**RUBRO:** 4.4 **UNIDAD** m3  
**DETALLE:** Estructura de Hormigón Armado f'c = 280 kg/cm2 sin aditivos (incluye encofrado)  
**OBRA:** Sistema descentralizado de desalinización de agua

<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCION	CANT.	C.UNIT.	COSTO/HORA	RENDIMIEN TO	COSTO
	A	B	AxB	C	D=(A*B)xC
Herramientas Menores (5% de M/O)					2,49
Concretera de 1 saco	1,00	1,40	3,75	1,00	3,75
Vibrador de Manguera	1,00	0,70	5,63	1,00	5,63
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>11,87</b>
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO/HORA	REND,	COSTO
	A	B	A*B	R	C=(A*B)Xr
Peón	6,04	3,58	21,61	1,00	21,61
Maestro mayor en ejecución de obras civiles	2,71	4,01	10,87	1,00	10,87
Ferrero	4,80	3,62	17,38	1,00	17,38
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>49,86</b>
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	C.UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Encofrado	m3	1,000	66,82	66,82	
Hormigón f'c = 280 kg/cm2	m3	1,060	116,21	123,18	
Acero corrugado fy = 4200 kg/cm2	qq	2,400	54,00	129,60	
Alambre recocido #18	kg	2,440	1,83	4,47	
Combustible	galón	0,250	1,85	0,46	
Prueba laboratorio hormigón	u.	1,00	8,70	8,70	
<b>SUBTOTAL O</b>				<b>333,23</b>	
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Traslados de material				6,20	
<b>SUBTOTAL P</b>				<b>6,20</b>	
<b>COSTO DIRECTO</b>					<b>401,16</b>
<b>COSTOS INDIRECTOS</b> 15,00%					<b>60,17</b>
<b>COSTO TOTAL</b>					<b>461,33</b>
<b>COSTO OFERTADO</b>					<b>461,33</b>

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

**RUBRO:** 4.5 **UNIDAD** u.  
**DETALLE:** Suministro e Instalación de sistema de bombeo  
**OBRA:** Sistema descentralizado de desalinización de agua

<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCION	CANT.	C.UNIT.	COSTO/HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	AxB	C	D=(A*B)xC
Herramientas menores (5% de m.o.)					3,48
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>3,48</b>
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO/HORA	REND.	COSTO
	A	B	A*B	R	C=(A*B)xr
Plomero	5,47	9,71	53,13	1,00	53,13
Ayudante de plomero	2,74	6,04	16,53	1,00	16,53
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>69,66</b>
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	C.UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Sistema de bombeo para suministro de agua en aspiración de pozo, autoaspirante hasta 8 metros de profundidad	u.	1,00	719,37	719,37	
Válvulas de pie	u.	2,000	20,13	40,26	
Válvula de retención	u.	1,000	11,61	11,61	
Manguito antivibración	u.	1,000	35,48	35,48	
Material auxiliar para instalaciones de plomería	u.	1,000	2,01	2,01	
<b>SUBTOTAL O</b>					<b>808,73</b>
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=A*B	
<b>SUBTOTAL P</b>					<b>0,00</b>
<b>COSTO DIRECTO</b>					<b>881,87</b>
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>				15,00%	<b>132,28</b>
<b>COSTO TOTAL</b>					<b>1.014,15</b>
<b>COSTO OFERTADO</b>					<b>1.014,15</b>

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

RUBRO: 4.7 UNIDAD global  
 DETALLE: Suministro e Instalación de sistema de electrodiálisis  
 OBRA: Sistema descentralizado de desalinización de agua

EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANT.	C.UNIT.	COSTO/HORA	RENDIMIEN TO	COSTO
	A	B	AxB	C	D=(A*B)xC
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>0,00</b>
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO/HORA	REND,	COSTO
	A	B	A*B	R	C=(A*B)Xr
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>0,00</b>
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	C.UNIT.	COSTO	
Stack de membranas de electrodiálisis industrial	u.	1,00	13.900,00	13.900,00	
<b>SUBTOTAL O</b>					<b>13.900,00</b>
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=A*B	
<b>SUBTOTAL P</b>					<b>0,00</b>
<b>COSTO DIRECTO</b>					<b>13.900,00</b>
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>					<b>2.085,00</b>
					15,00%
<b>COSTO TOTAL</b>					<b>15.985,00</b>
<b>COSTO OFERTADO</b>					<b>15.985,00</b>

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

RUBRO: 4.8 UNIDAD m  
 DETALLE: Suministro e Instalación de tuberías de conducción  
 OBRA: Sistema descentralizado de desalinización de agua

EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANT.	C.UNIT.	COSTO/HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	AxB	C	D=(A*B)xC
Herramientas menores (5% de m.o.)					0,06
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>0,06</b>
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO/HORA	REND.	COSTO
	A	B	A*B	R	C=(A*B)Xr
Plomero	1,00	3,87	3,87	0,13	0,51
Ayudante de plomero	1,00	3,82	3,82	0,13	0,51
Maestro mayor en ejecución de obras civiles	0,30	4,29	1,29	0,13	0,17
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>1,19</b>
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	C.UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Tubería PVC perforada para subdrenes	ml	1,02	6,08	6,20	
<b>SUBTOTAL O</b>					<b>6,20</b>
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=A*B	
<b>SUBTOTAL P</b>					<b>0,00</b>
<b>COSTO DIRECTO</b>					<b>7,45</b>
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>					<b>15,00% 1,12</b>
<b>COSTO TOTAL</b>					<b>8,57</b>
<b>COSTO OFERTADO</b>					<b>8,57</b>

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

RUBRO: 4.9 UNIDAD global  
 DETALLE: Instalaciones eléctricas  
 OBRA: Sistema descentralizado de desalinización de agua

<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCION	CANT.	C.UNIT.	COSTO/HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	AxB	C	D=(A*B)xC
Herramientas Menores (5% de M/O)					189,00
Módulo solar fotovoltaico tensión a máxima potencia	1,00	20,35	20,35	1,00	20,35
Estructura soporte para módulo fotovoltaico de acero galvanizado	1,00	97,92	97,92	1,00	97,92
Inversor trifásico potencia máxima de entrada	1,00	1.818,26	1.818,26	1,00	1.818,26
Acumulador de energía eléctrica	1,00	1.049,17	1.049,17	1,00	1.049,17
Regulador de carga	1,00	152,91	152,91	1,00	152,91
Armario de conexiones	1,00	59,88	59,88	1,00	59,88
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>3.387,49</b>
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL	COSTO	HORAS	COSTO
	A	B	A*B	HORAS	C=(A*B)XH
Técnico instalador de captadores solares	1,00	9,71	9,71	120,00	1.165,20
Ayudante instalador de captadores solares	1,00	6,04	6,04	120,00	724,80
Electricista	1,00	9,71	9,71	120,00	1.165,20
Ayudante de electricista	1,00	6,04	6,04	120,00	724,80
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>3.780,00</b>
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	C.UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
<b>SUBTOTAL O</b>				<b>0,00</b>	
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=A*B	
<b>SUBTOTAL P</b>				<b>0,00</b>	
<b>COSTO DIRECTO</b>					<b>7.167,49</b>
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>					<b>15,00%</b>
<b>COSTO TOTAL</b>					<b>8.242,61</b>
<b>COSTO OFERTADO</b>					<b>8.242,61</b>

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

RUBRO: 4.10 UNIDAD global  
 DETALLE: Instalaciones sanitarias  
 OBRA: Sistema descentralizado de desalinización de agua

EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANT.	C.UNIT.	COSTO/HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	AxB	C	D=(A*B)xC
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>0,00</b>
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL	COSTO	HORAS	COSTO
	A	B	A*B	HORAS	C=(A*B)XH
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>0,00</b>
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	C.UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Bajante de aguas lluvias 110 mm union codo	m	8,85	9,89	87,53	
Caja de revisión 80x80	u	1,000	76,50	76,50	
Inodoro línea económica	u	2,000	101,01	202,02	
Lavamanos con pedestal (No incluye grifería)	u	2,000	73,82	147,64	
Llave de manguera	u	1,000	29,43	29,43	
Llave de paso	u	1,000	23,04	23,04	
Punto de agua 1/2"	pto.	3,000	23,98	71,94	
Punto de desague pvc 110 mm	pto.	3,000	48,94	146,82	
Rejilla de piso 110 mm	u.	3,000	16,47	49,41	
Válvula check 1/2"	u.	1,000	30,43	30,43	
Lavaplatos 1 pozo grifería tipo cuello de ganso	u.	1,00	170,17	170,17	
Ducha con mezcladora tipo shelby	u.	1,00	90,23	90,23	
<b>SUBTOTAL O</b>					<b>1.037,63</b>
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=A*B	
<b>SUBTOTAL P</b>					<b>0,00</b>
<b>COSTO DIRECTO</b>					<b>1.037,63</b>
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>					<b>155,64</b>
					15,00%
<b>COSTO TOTAL</b>					<b>1.193,27</b>
<b>COSTO OFERTADO</b>					<b>1.193,27</b>

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

RUBRO: 4.11 UNIDAD global  
 DETALLE: Instalaciones contraincendios  
 OBRA: Sistema descentralizado de desalinización de agua

EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANT.	C.UNIT.	COSTO/HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	AxB	C	D=(A*B)xC
Herramientas Menores (5% de M/O)					28,35
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>28,35</b>
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL	COSTO	HORAS	COSTO
	A	B	A*B	HORAS	C=(A*B)XH
Técnico instalador de redes y equipos de detección y seguridad	0,60	9,71	5,83	40,00	233,04
Ayudante instalador de redes y equipos de detección y seguridad	0,60	6,04	3,62	40,00	144,96
Plomero	0,30	9,71	2,91	40,00	116,52
Ayudante plomero	0,30	6,04	1,81	40,00	72,48
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>567,00</b>
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	C.UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Central de detección automática de incendios, convencional	u.	1,00	279,52	279,52	
Batería de 12 V y 7 Ah	u.	2,000	33,92	67,84	
Rociador automático oculto	u.	1,000	61,38	61,38	
Tapa de latón	u.	1,000	30,27	30,27	
Te con salida roscada hembra	u.	1,000	16,63	16,63	
Manómetro con baño de glicerina	u.	1,000	59,41	59,41	
<b>SUBTOTAL O</b>					<b>515,05</b>
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=A*B	
<b>SUBTOTAL P</b>					<b>0,00</b>
<b>COSTO DIRECTO</b>					<b>1.110,40</b>
<b>COSTOS INDIRECTOS 15,00%</b>					<b>166,56</b>
<b>COSTO TOTAL</b>					<b>1.276,96</b>
<b>COSTO OFERTADO</b>					<b>1.276,96</b>

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

**RUBRO:** 5.1 **UNIDAD** global  
**DETALLE:** Captación de agua (Bombeo de pozo)  
**OBRA:** Sistema descentralizado de desalinización de agua

<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCION	CANT.	C.UNIT.	COSTO/HORA	RENDIMIEN TO	COSTO
	A	B	AxB	C	D=(A*B)xC
Transporte y montaje de sistema de captación, con bomba sumergible de pozo, de 25 m3/h, en pozo de bombeo de más de 14 m de profundidad	1,00	4.309,52	4.309,52	1,00	4.309,52
Herramienta menor					86,19
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>4.395,71</b>
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL	COSTO	HORAS	COSTO
	A	B	A*B	HORAS	C=(A*B)XH
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>0,00</b>
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	C.UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
<b>SUBTOTAL O</b>				align="center"> <b>0,00</b>	
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=A*B	
<b>SUBTOTAL P</b>				align="center"> <b>0,00</b>	
<b>COSTO DIRECTO</b>					<b>4.395,71</b>
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>				15,00%	<b>659,36</b>
<b>COSTO TOTAL</b>					<b>5.055,07</b>
<b>COSTO OFERTADO</b>					<b>5.055,07</b>

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

RUBRO: 5.3 UNIDAD global  
 DETALLE: Monitoreo y medición de calidad del agua  
 OBRA: Sistema descentralizado de desalinización de agua

EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANT.	C.UNIT.	COSTO/HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	AxB	C	D=(A*B)xC
SUBTOTAL M					0,00
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL	COSTO	HORAS	COSTO
	A	B	A*B	HORAS	C=(A*B)xH
SUBTOTAL N					0,00
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	C.UNIT.	COSTO	
Prueba de laboratorio	Global	A	B	C=A*B	
		0,01	45.000,00	520,65	
SUBTOTAL O					520,65
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=A*B	
SUBTOTAL P					0,00
COSTO DIRECTO					520,65
COSTOS INDIRECTOS 15,00%					78,10
COSTO TOTAL					598,75
COSTO OFERTADO					598,75

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

**RUBRO:**

**UNIDAD** u

**DETALLE:**

Reforestación de zonas circundantes

**OBRA:**

Sistema descentralizado de desalinización de agua

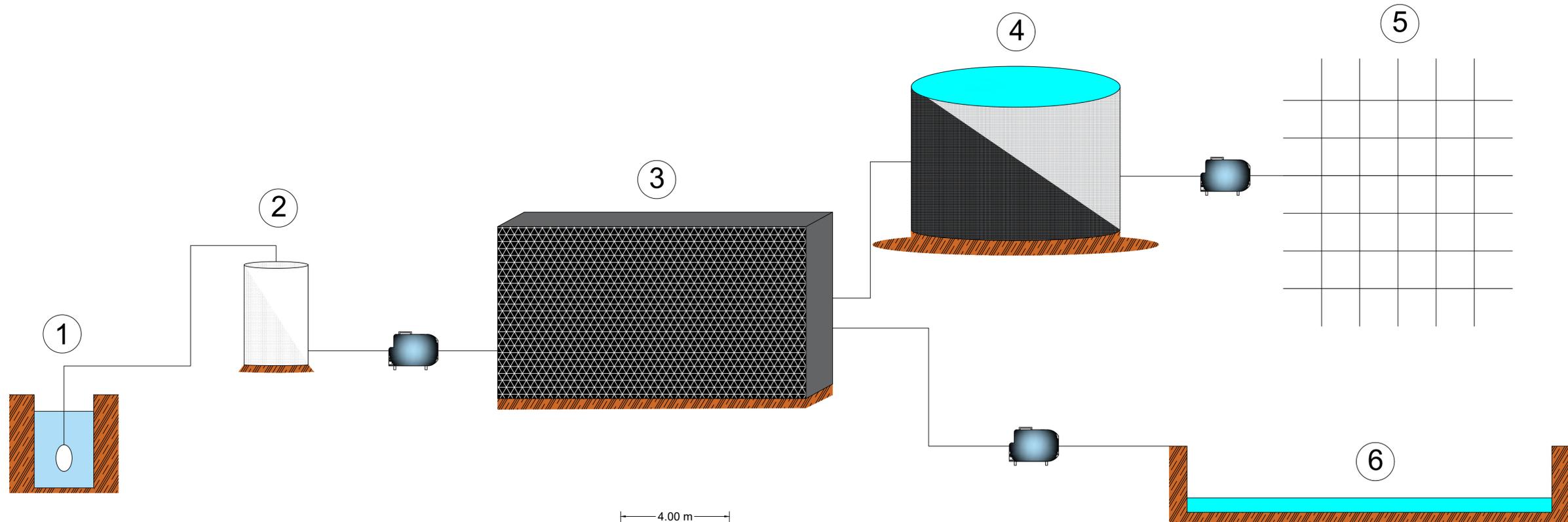
<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCION	CANT.	C.UNIT.	COSTO/HORA	RENDIMIEN TO	COSTO
	A	B	AxB	C	D=(A*B)xC
Retroexcavadora hidráulica sobre neumáticos, de 105 kW	0,06	55,88	3,24	1,00	3,24
Dumper de descarga frontal de 2 t de carga útil	0,06	11,18	0,65	1,00	0,65
Herramienta menor (5% de m.o)					0,20
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>4,09</b>
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL	COSTO	HORAS	COSTO
	A	B	A*B	HORAS	C=(A*B)XH
Jardinero	1,00	9,45	9,45	0,19	1,76
Peón jardinero	1,00	5,83	5,83	0,37	2,17
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>3,93</b>
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	C.UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Eucalipto de 12 a 14 cm de perímetro de tronco a 1m del suelo	u.	1,00	25,00	25,00	
Tierra vegetal cribada, suministrada a granel	m3	0,100	28,88	2,89	
Abono mineral completo	kg	0,010	1,01	0,01	
Agua	m3	0,040	1,83	0,07	
Mezcla se semilla para césped	kg	0,030	7,31	0,22	
<b>SUBTOTAL O</b>					<b>28,19</b>
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=A*B	
<b>SUBTOTAL P</b>					<b>0,00</b>
<b>COSTO DIRECTO</b>					<b>36,20</b>
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>					<b>5,43</b>
					15,00%
<b>COSTO TOTAL</b>					<b>41,63</b>
<b>COSTO OFERTADO</b>					<b>41,63</b>

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

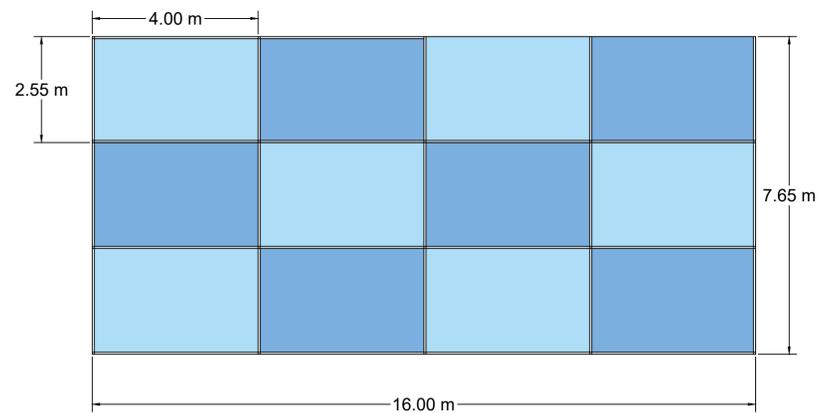
RUBRO: UNIDAD m3  
 DETALLE: Control de polvo (agua)  
 OBRA: Sistema descentralizado de desalinización de agua

EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANT.	C.UNIT.	COSTO/HORA	RENDIMIEN TO	COSTO
	A	B	AxB	C	D=(A*B)x C
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>0,00</b>
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL	COSTO	HORAS	COSTO
	A	B	A*B	HORAS	C=(A*B)XH
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>0,00</b>
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	C.UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Control de polvo (agua)	m3	1,00	3,00	3,00	
<b>SUBTOTAL O</b>					<b>3,00</b>
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Transporte control de polvo (agua)	hora	1,00	0,06	0,06	
<b>SUBTOTAL P</b>					<b>0,06</b>
					<b>3,06</b>
COSTO DIRECTO					3,06
COSTOS INDIRECTOS					15,00% 0,46
COSTO TOTAL					3,52
COSTO OFERTADO					3,52

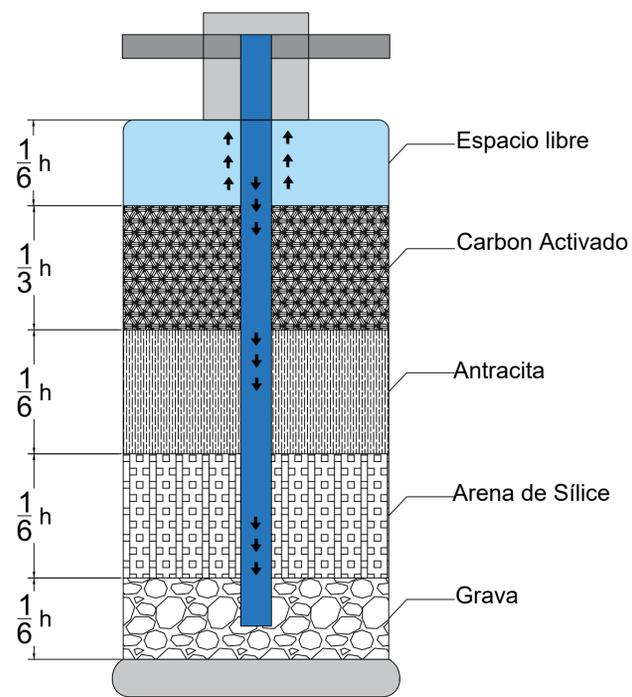
**Anexo E: Esquema del Sistema de Desalinización del agua mediante Electrodialisis**



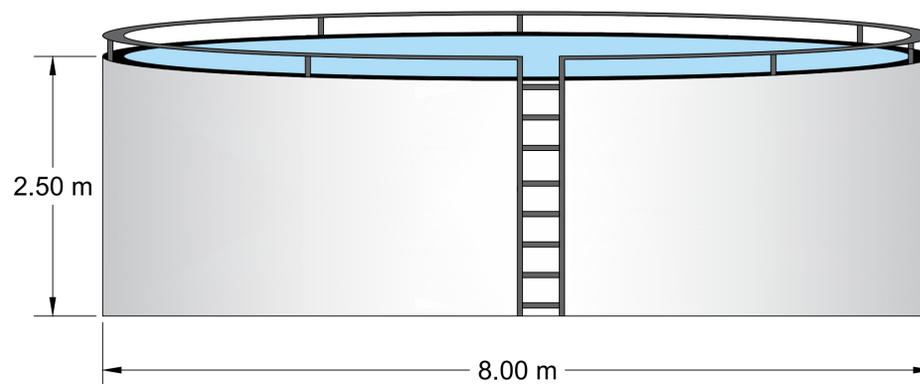
**ESQUEMA DEL SISTEMA DE DESALINIZACIÓN**  
Escala N/A



**PISCINA DE SEDIMENTACIÓN DE SALMUERAS**  
Escala 1:50



**FILTRO MULTIMEDIA**  
Escala N/A



**TANQUE DE ALMACENAMIENTO**  
Escala 1:20

N°	Items
1	Pozo de agua subterránea
2	Filtro multimedia
3	Planta de Electrodiálisis
4	Tanque de almacenamiento
5	Red de distribución
6	Piscina de sedimentación de salmueras

Por derechos de propiedad de autor no se dan especificaciones de la planta de electrodiálisis

<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL</b>			
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA			
PROYECTO: <b>Optimización del sistema avanzado de tratamiento de agua, II etapa, con fines de desalinización en la comunidad de Chanduy</b>			
CONTENIDO: <b>Esquema del sistema de desalinización</b>			
Coordinador de Materia Integradoras: Ing. Andrés Velastegui	Tutores de Conocimientos Específicos: Ing. Luis Valdez	Estudiantes: Doméncia Urdánigo Steeven Verdezoto	Fecha de entrega: 02 de Agosto, 2023
Tutor de Área de Conocimiento: Priscila Valverde, PhD		Lámina: 1/1	Escala: Indicadas