

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar

Diseño de un Sistema de Ósmosis Inversa para una Planta
Desalinizadora de Agua de Mar en la Parroquia Manglaralto

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Nombre de la titulación

Ingeniero Oceanográfico

Presentado por:

ACUÑA MERCHÁN BELÉN STEPHANIE

RIVAS CÁCERES SULLY EDITA

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2021

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a mi madre, sin ella no podría ser la mujer que soy ahora, siempre te amaré, ansío que estés feliz y orgullosa desde el cielo. A mis sobrinos Alejandro, Josué, Andrés y Abigail, esperando que mi esfuerzo sea una fuente de inspiración. A mis hermanos Henry y Karina, siempre me apoyaron y tienen mi más grande admiración.

-Belén Acuña

El presente proyecto lo dedico a mi familia, pues han sido el pilar fundamental de mi motivación personal y profesional.

-Sully Rivas

AGRADECIMIENTOS

Nuestro más sincero agradecimiento a todos nuestros docentes, en especial a nuestro tutor el Dr. Franklin Ormaza González, pilares fundamentales durante el recorrido de nuestra carrera universitaria; al Ing. Javier Johnson y al Tnlgo. Pablo Saraguay por permitirnos adquirir conocimientos de la Planta de Ósmosis Inversa de la cual están encargados; y a nuestros seres queridos por su apoyo incondicional durante el desarrollo de nuestro proyecto.

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Belén Stephanie Acuña Merchán* y *Sully Edita Rivas Cáceres* 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”



Autor 1
Belén Acuña Merchán



Autor 2
Sully Rivas Cáceres

EVALUADORES



Firmado electrónicamente por:
**FRANKLIN ISAAC
ORMAZA GONZALEZ**

Ms. C Luis Altamirano

PROFESOR DE LA MATERIA

Franklin Ormaza González, Ph. D.

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

La principal técnica de obtención de agua en la parroquia Manglaralto es la explotación de acuíferos, sin embargo, esta metodología no logra ser sostenible debido a la escasez de lluvia en la zona, intrusión salina en la capa freática y el aumento de la demanda debido al crecimiento poblacional de las comunidades y la población flotante; tales motivos permiten plantear una nueva perspectiva de obtención de agua potable basado en el diseño de un Sistema de Ósmosis Inversa (SOI) y la creación plan de seguridad del mismo. Se realizó un análisis de calidad del agua fuente y una aproximación del caudal necesario para abastecer a la parroquia, con los resultados obtenidos se procede a diseñar el SOI en el software Integrated Membrane Solutions (IMS) Design, donde se calculó un consumo óptimo por habitante de $340.2 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, estimando así un caudal de alimentación de $756 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, donde el 45 % de esta será transformada por membranas tipo SWC5 MAX, teniendo un arreglo final de 103 tubos con 6 membranas en cada uno y un estimado de coste de producción del agua de 1.80 USD m^{-3} ; con una calidad del agua producto acorde a los límites máximos permitidos por el INEN y planteando el uso directo o indirecto del subproducto del proceso (salmuera) como mejor alternativa de su gestión, puesto que se evita la descarga directa al mar.

Palabras Clave: SOI, Membranas, Calidad de Agua, Gestión de Salmuera

ABSTRACT

The main technique for obtaining water in the Manglaralto parish is the exploitation of aquifers, however, this methodology is not sustainable due to the lack of rain in the area, saline intrusion in the water table and the increase in demand due to the population growth of the communities and the floating population; such reasons allow to propose a new perspective of obtaining drinking water based on the design of a Reverse Osmosis System (ROS) and the creation of a safety plan for it. An analysis of the quality of the source water was carried out and an approximation of the flow necessary to supply the parish, with the results obtained, the SOI was designed in the Integrated Membrane Solutions Design software, where an optimal consumption per inhabitant was calculated as $340.2 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, thus estimating a feed flow of $756 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, where 45% of this will be transformed by membranes SWC5 MAX, having a final arrangement of 103 tubes with 6 membranes in each one, and an the cost of water production estimated was 1.80 USD m^{-3} ; with a product water quality according to the maximum limits allowed by the INEN and proposing the direct or indirect use of the process byproduct (brine) as the best alternative for its management, since direct discharge into the sea is avoided.

Keywords: ROS, Membranes, Water Quality, Brine Management.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS	V
SIMBOLOGÍA	VI
ÍNDICE DE Ilustraciones	VII
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción	1
1.1 Descripción del problema	2
1.2 Justificación del problema	3
1.3 Objetivos	3
1.3.1 Objetivo General	3
1.3.2 Objetivos Específicos	4
1.4 Marco Teórico.....	4
1.4.1 Desalinización del Agua	4
1.4.2 Ósmosis Inversa	5
CAPÍTULO 2.....	12
2. Metodología.....	12
2.1 Consumo de Agua Potable y su Proyección	12
2.1.1 Crecimiento Poblacional.....	12
2.1.2 Consumo de habitante por día	13
2.2 Integrated Membrane Solution Design (IMS Design)	14
2.2.1 Análisis Químico	15
2.2.2 Diseño.....	16
2.3 Plan de Seguridad de Agua	18

2.4	Agua de rechazo – Salmuera	20
CAPÍTULO 3.....		21
3.	Resultados Y ANÁLISIS	21
3.1	Diseño de Sistema de Ósmosis Inversa	21
3.1.1	Consumo energético	23
3.1.2	Requisitos químicos	24
3.1.3	Inversión y Costos.....	24
3.1.4	Agua Producto	25
3.1.5	Gestión del Agua de rechazo	26
3.2	Plan de Seguridad de Agua.....	27
3.2.1	Equipo PSA.....	27
3.2.2	Sistema de Suministro de Agua	28
3.2.3	Plan de Mejoras o Modernización	30
CAPÍTULO 4.....		32
4.	Conclusiones y recomendaciones.....	32
BIBLIOGRAFÍA.....		34
APÉNDICES.....		37
ANEXOS		38

ABREVIATURAS

ACNUR	Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Refugiados
CLOCSAS	Confederación Latinoamericana de Organizaciones Comunitarias de Servicios de Agua Potable y Saneamiento
IMS	Integrated Membrane Solutions
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
IWA	International Water Association
JAAP	Junta Administradora de Agua Potable
NF	Nanofiltración
OI	Ósmosis Inversa
OMS	Organización Mundial de la Salud
PSA	Plan de Seguridad de Agua
RO	Reverse Ósmosis (Ósmosis Inversa)
ROSCGAE	Red de Organizaciones Sociales y Comunitarias de la Gestión del Agua en el Ecuador
SAE	Servicio de Acreditación Ecuatoriano
SAP	Sistema de Agua Potable
SOI	Sistema de Ósmosis Inversa

SIMBOLOGÍA

B	Boro
Ba	Bario
C	Carbono
Ca	Calcio
Cl	Cloro
CO ₃	Trióxido de Carbono - Carbonato
Cu	Cobre
F	Fluor
HCO ₃	Bicarbonato
K	Potasio
m	metro
Mg	Magnesio
mg	miligramo
Mn	Manganeso
Na	Sodio
NH ₄	Amonio
Ni	Níquel
NO ₃	Nitrato
P	Fósforo
pH	Potencial de Hidrógeno
PO ₄	Fosfito
SiO ₂	Óxido de Silicio
SMBS	Metabisulfito de Sodio
SO ₄	Sulfato
Sr	Estroncio

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-1. Diagrama de proceso de un pretratamiento de un SOI.....	7
Ilustración 1-2. Esquema del módulo espiral usado en un SOI.....	8
Ilustración 2-1. Ventana de análisis del Software IMSDesing	16
Ilustración 2-2. Definición gráfica de Etapas en un proceso de OI.	17
Ilustración 2-3. Ventana de Diseño del Software IMSDesing.	18
Ilustración 2-4. Pasos para el desarrollo de un plan de seguridad del agua.	19
Ilustración 3-1. Esquema general de una planta desaladora mediante OI.	21
Ilustración 3-2. Flujo general de corrientes	22
Ilustración 3-3. Esquema General del Sistema de Agua y Saneamiento	29

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Clasificación del agua según la salinidad.....	4
Tabla 1-2 Procesos de desalinización según el tipo de separación	5
Tabla 1-3. Propiedades de las membranas de uso comercial para sistemas OI	8
Tabla 1-4. Métodos físicos y químicos para la limpieza de membranas.....	10
Tabla 2-1. Resultados de Censos poblacionales de la parroquia Manglaralto	12
Tabla 2-2. Parámetros y alcances de IMS Design	14
Tabla 2-3. Valores de Cationes obtenidos del análisis químico.	15
Tabla 2-4. Valores de aniones obtenidos del análisis químico.	15
Tabla 3-1. Especificaciones del diseño de SOI	22
Tabla 3-2. Valores en cada proceso del Sistema de OI.	22
Tabla 3-3. Valores obtenidos del proceso de ósmosis inversa.....	23
Tabla 3-4. Cálculo de la energía requerida.	24
Tabla 3-5. Especificaciones de la inversión.	24
Tabla 3-6. Costo total del agua por metro cúbico en planta.	25
Tabla 3-7. Comparación límites máximos permitidos INEN	25
Tabla 3-8. Alternativas para la Gestión de Salmuera	27
Tabla 3-9. Descripción del Equipo de PSA	27
Tabla 3-10. Amenazas relacionadas al SAP	29
Tabla 3-11. Plan de Mejoras.....	30

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Ecuador es un país con una gran cantidad de recursos hídricos, sin embargo, un 29.9% de la población total no cuenta con agua segura y se concentran en áreas donde el acceso, calidad y la disponibilidad del agua son desfavorables (Molina, Pozo & Serrano, 2018). Santa Elena es una provincia costera donde los problemas de abastecimiento de agua son constantes en algunos de sus cantones y parroquias urbanas y rurales, Manglaralto, sitio en el que se enfoca este proyecto, es un claro ejemplo, ya que a lo largo de los años la comunidad ha esperado contar con un suministro constante y no provisional de agua potable. Hasta el año 2019, la provisión del líquido vital en la parroquia se obtenía principalmente a través de la perforación de 12 pozos de agua. Un 1.8% de la población obtenía agua a través de escorrentías o el río y un 3.3% del carro repartidor. (GESTIONADMI, 2015) Actualmente, el porcentaje de la población de Manglaralto que recibe agua a través de tanqueros está en aumento, esto debido a que sus pozos de agua, o acuíferos costeros presentan problemas de intrusión salina, lo que afecta la calidad del agua y puede incluso generar problemas de salud a quienes ingieren este líquido (Morante et al., 2019). A este problema se le suma la escasez de lluvia que suministran a los mismos y la formación de escorrentías, y esto resulta aún peor si el crecimiento poblacional en la parroquia es evidente (INEC, Censo de Población y Vivienda, 2010), por lo tanto, estas fuentes no apuntan a resolver la necesidad inicial de la comunidad, lo que puede incluso llegar a generar consecuencias para la salud pública, impactos en la calidad de vida y obstáculos para el desarrollo general de la parroquia.

La desalinización es una de las fuentes alternativas de agua que está ganando popularidad como una opción viable para la producción de agua potable, dado que este tipo de tecnología es capaz de suministrar agua en la cantidad y calidad necesaria para el consumo humano, industrial y agrícola. Se han desarrollado varias tecnologías de desalinización a lo largo de los años y las membranas de ósmosis inversa (OI) son actualmente la tecnología preferida para la desalinización de agua de mar. El proceso OI es el paso de agua a través

de la membrana que retiene las sales disueltas del lado presurizado y el agua dulce del otro, tiene como subproducto esta agua concentrada en sales que se obtiene del proceso, la misma que actualmente tiene una descarga directa al mar en la mayoría de las plantas desalinizadoras y esto podría implicar tener repercusiones en la fauna y flora marina en las zonas circundantes a los puntos de descarga de lo que se conoce como salmuera. A pesar de lo expuesto, la desalación de agua de mar se ha expandido rápidamente en las últimas décadas para suministrar agua para usos municipales e industriales en regiones áridas, semiáridas o con escasez de agua.

En este contexto, este estudio se enfoca en este tipo de sistemas, presentando un diseño de OI para una planta desalinizadora de agua en la parroquia de Manglaralto esto con la finalidad de que bien sirva como pauta para la implementación de una planta desalinizadora y de paso a que el agua potable constante sea una realidad en la comunidad, también se espera buscar una alternativa de aprovechamiento para la Salmuera y a su vez que este proyecto contribuya en estudios o investigaciones afines al tema, en beneficio de la población de Manglaralto.

Las bases del proyecto se realizaron considerando factores vinculados al tamaño de la población, los equipos disponibles en el mercado, así como se analizaron y discutieron los impactos sociales y económicos de esta tecnología y lo que conlleva. En consecuencia, nuestro proyecto colaboraría con la creación de conocimiento sobre desalación y el desarrollo de esta tecnología en el país, así como la matriz hídrica y productiva de la Provincia de Santa Elena podría volverse más diversa, capaz de abastecer a sus comunas con escasez de agua, logrando además comunidades más sostenibles.

1.1 Descripción del problema

La necesidad de agua potable en la parroquia Manglaralto existe por la escasez de fuentes hídricas. Actualmente la mayoría de su población recibe agua por medio de tanqueros que usan como fuente de suministro los acuíferos costeros y/o pozos distribuidos en la zona. El problema radica en que esta fuente se ha visto afectada por diversos factores como por ejemplo la escasez de lluvias en la zona, puesto que las precipitaciones sirven como fuente de alimentación de los pozos o acuíferos costeros, la evaporación de los mismos logran que la concentración de

sales aumente tanto así que algunos de los pozos se cierran, se dejan de usar o quedan secos; a esto se le suma la intrusión salina, provocando un aumento de la salinidad y el deterioro de la calidad del agua, muy a fin al problema existe una tasa de crecimiento poblacional considerable en la zona que genera a su vez una mayor demanda del consumo de agua. Esta demanda de la población local (35000) y flotante, más de 40000 turistas en feriados (Ministerio de Turismo, 2021), provoca un aumento en las concentraciones de Sólidos Totales Disueltos (TDS) y disminuye los niveles piezométricos de los acuíferos costeros.(Carrión-Mero et al., 2021)

Consecuentemente, la fuente de suministro de agua para la población no resulta viable y en un futuro podría ser incapaz de abastecer la demanda de toda la población.

1.2 Justificación del problema

El objetivo 6 de los ODS menciona que se debe garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos. (Naciones Unidas, n.d.) La parroquia de Manglaralto a lo largo de los años ha presentado conflictos en torno al agua potable como se ha descrito anteriormente. El presente documento pretende diseñar un sistema de ósmosis inversa para desalinización de agua de mar que permita el análisis y decisiones futuras sobre la implementación de una planta de agua potable para todos los habitantes de la parroquia de Manglaralto. Así mismo se busca la mejor alternativa para el aprovechamiento del subproducto que se obtiene del proceso de OI.

Para el desarrollo del presente trabajo se presentaron diferentes inconformidades que han sido mencionadas a lo largo de los años por los habitantes de la parroquia en cuestión. Como menciona la ACNUR, el derecho humano al agua es el derecho de todos a disponer de agua suficiente, salubre, aceptable, accesible y asequible para el uso personal y doméstico; y esto es precisamente lo que reclaman las comunidades de la Parroquia en cuestión.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un Sistema de Ósmosis Inversa (SOI) para una planta desalinizadora de agua de mar como fuente de suministro para la Parroquia de Manglaralto.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Realizar el diseño de Ósmosis Inversa en IMSDesing.
2. Determinar la inversión y costos de la implantación del SOI.
3. Proponer un plan de seguridad de agua para contribuir con el aprovechamiento del agua potable en la parroquia.
4. Determinar la mejor alternativa para el aprovechamiento del agua de rechazo del Sistema de Ósmosis Inversa.

1.4 Marco Teórico

1.4.1 Desalinización del Agua

Una de las características del agua de mar es la salinidad, cuyo concepto más universal fue el adoptado en 1902 por el Consejo Internacional para la Exploración del Mar (CIEM) que lo define como: “La cantidad total de sales por kilogramo de agua marina (filtrada), cuando todos los carbonatos se convierten en óxidos, el bromo y el yodo sean reemplazados por cloro, y toda la materia orgánica esté en estado de oxidación” (Salamanca & Schneider, 2006); con esta propiedad podemos clasificar al agua según su grado de salinidad:

Tabla 1-1 Clasificación del agua según la salinidad (Dévora, González, & Ponce, 2012)

Agua	SDT (mg m ⁻³)
Ultrapura	30
Pura	300
Desionizada	3,000
Potable	<1,000,000
Salobre	1,000,000-10,000,000
Salina	10,000,000-30,000,000
Marina	30,000,000-50,000,000

La tabla anterior muestra cómo se clasifica el agua según los valores de salinidad, teniendo a la marina con los valores más altos mientras que la potable, la desionizada, la pura y la ultrapura con los más bajos debido a que estas ya han pasado por algún proceso de desalinización, que es la disyunción entre las sales y el agua, siendo consideradas aptas para consumo humano. Este proceso puede

darse en dos direcciones, separación de sales del agua o separación del agua de las sales, lo que conlleva el tener diferentes métodos que son mostrados en la Tabla 1-2.

Tabla 1-2 Procesos de desalinización según el tipo de separación (Dévora, González, & Ponce, 2012)

Clase de Separación	Energía Utilizada	Proceso	Sistema
Agua de sales	Vapor	Evaporación	Destilación Solar
			Destilación súbita simple
			Destilación en tubos sumergidos
			Destilación súbita multietapa
			Destilación multiefecto de tubos horizontales
			Destilación multiefecto de tubos verticales
	Frío	Cristalización	Compresión mecánica de vapor
			Termo compresión de vapor
			Formación de hidratos
Sales de agua	Presión	Membrana	Ósmosis inversa
	Carga eléctrica	Membrana selectiva	Electrodialisis
	Atracción química	Resina	Intercambio iónico

1.4.2 Ósmosis Inversa

En términos químicos, la ósmosis es el movimiento de moléculas de agua desde una solución con baja concentración de sólidos disueltos hacia una solución con alta concentración, este flujo se da a través de una membrana semipermeable basado en la diferencia de presiones osmóticas entre las dos soluciones; mientras que en la ósmosis inversa es necesario la aplicación de una presión mucho mayor al

de la presión osmótica, para asegurar el flujo de las moléculas de agua desde una solución con alta concentración hacia una de baja concentración (Kucera, 2010); siendo un sistema basado en el proceso de separación las sales del agua mediante una membrana que tiene como productos finales 1) agua con bajos niveles de salinidad, mejor conocida como agua producto y 2) salmuera, agua de rechazo que puede ser reutilizada en el proceso de conversión o aprovechada de otras maneras.

1.4.2.1 Criterios de Operación del Sistema de Ósmosis Inversa

La tecnología de membranas utilizadas en OI consiste siempre en un embalsamiento del agua de mar que debe pasar por un sistema de pretratamiento, a partir del agua pretratada se necesita de una bomba de alta presión cuyo propósito es asegurar el traspaso de agua a través de membranas que retendrán las sales, y por último realizar un postratamiento para garantizar que el producto final sea apto para el consumo humano.

1.4.2.1.1 Sistema de Aprovechamiento del Agua de Mar

Se necesita de bombas de baja presión y tuberías que permitan el transporte directo del agua de mar a un embalse donde se pueda controlar el volumen de entrada hacia el siguiente paso, de manera que se pueda obtener información sobre la eficiencia de tiempo en cuanto a la producción de agua. Adicionalmente, es oportuno el uso de rejillas para prevenir cualquier obstrucción provocada por un organismo marino y/o sólidos gruesos flotantes que provoque algún daño para las bombas de agua. (Curcio & Drioli, 2009)

1.4.2.1.2 Sistema de Pretratamiento

Los componentes principales del sistema de pretratamiento pueden ser la dosificación de productos químicos, sistema de filtración a través de material poroso, filtro con carbón activado, flotación, microfiltración, resina de intercambio iónico, radiación UV. El método convencional de pretratamiento para un SOI consta de:

- Cloración/adición de ácido para agentes de floculación/ajuste del pH
- Coagulación/floculación
- Filtración de uno o dos medios
- Decloración/antiincrustantes

- Filtración de cartucho

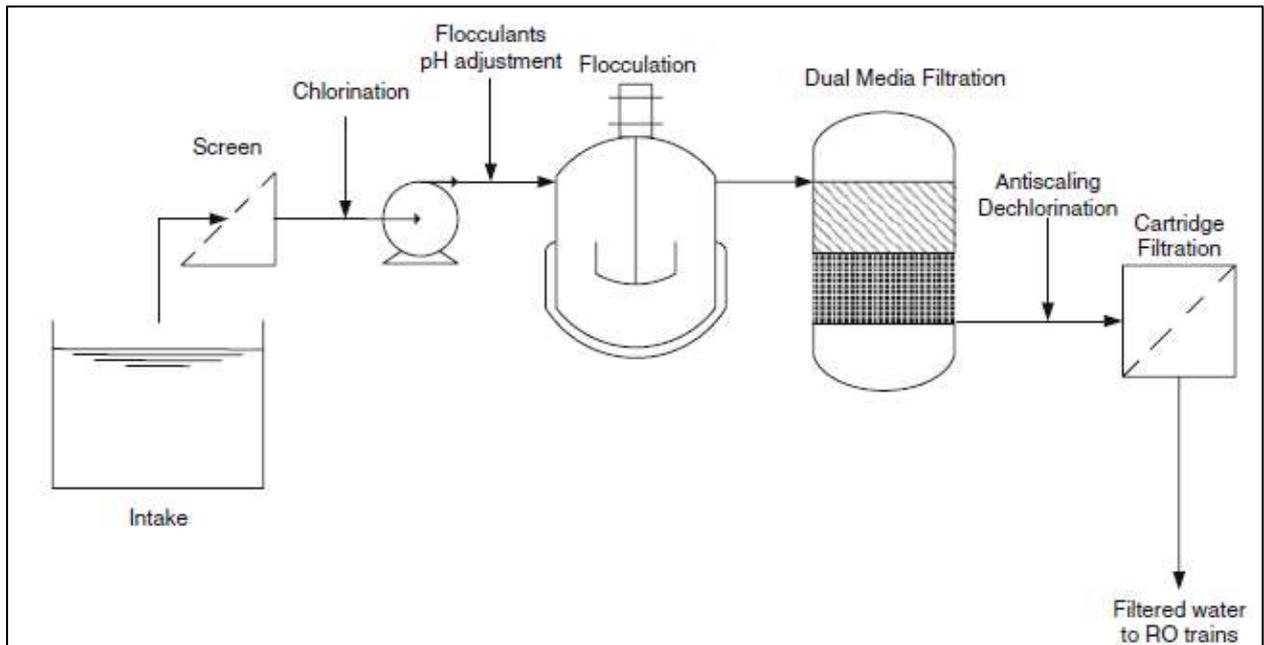


Ilustración 1-1. Diagrama de proceso de un pretratamiento de un SOI (Curcio & Drioli, 2009)

1.4.2.1.3 Sistema de Bombeo

Las bombas por utilizar pueden ser del tipo centrífugas, pistón o desplazamiento positivo, con el fin de tener una presión mucho mayor a la osmótica para asegurar el paso del agua y la inhibición de las sales debido a las membranas permeables. Las presiones que se necesitan para aguas salobres son de 15 a 25 bar y para agua de mar entre 54 y 80 bar. (Fajardo, 2018)

1.4.2.1.4 Módulo de Membranas

La nanofiltración se da gracias al uso de membranas porosas que no permiten el traspaso de moléculas orgánicas de bajo peso molecular, es decir, retienen sales, iones metálicos y minerales monovalentes, por lo que el tamaño del poro para OI es de 0.0001-0.001 μm . Las membranas por lo general son fabricadas a base de polímeros, teniendo dos tipos: 1) acetato de celulosa y 2) poliamida, siendo la segunda la más utilizada y disponible en el mercado debido a su mayor eficiencia en el rechazo de sales y sílice. La configuración de estas membranas puede ser tubular, de fibra hueca y espiral; cuando se habla de OI se emplea el módulo en espiral,

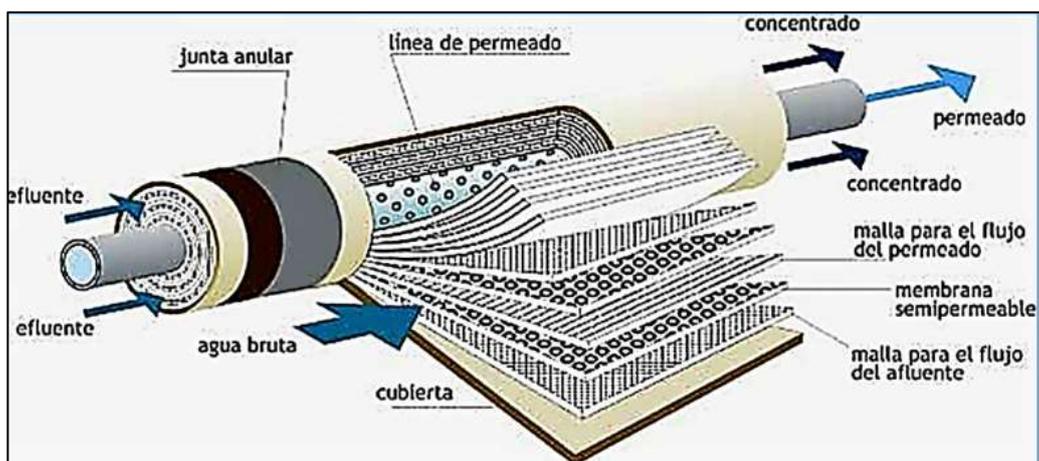


Ilustración 1-2. Esquema del módulo espiral usado en un SOI

El SOI puede trabajar con niveles de SDT de hasta 45,000 ppm, pero siempre es recomendable trabajar bajo estos niveles debido a las repercusiones que se pueden tener en cuanto al consumo de energía eléctrica, el precio final de venta y la eficiencia del proceso, siendo este el más importante puesto que representará el volumen producido de agua dulce versus la salmuera dependiendo así de las propiedades de las membranas comerciales que pueden ser observadas en la Tabla 1-3.

Tabla 1-3. Propiedades de las membranas de uso comercial para sistemas OI (Ettouney & Wilf, 2009)

PROPIEDAD	MEMBRANA				
	SWC4+	SWC5	TM820-400	SW30HR-LE	SW30HR-XL3
Área efectiva [m ²]	37.10	37.10	37.10	37.10	37.10
Flujo de permeado [m ³ /día]	24.60	34.10	24.60	26.50	34.10
Rechazo de sales [%]	99.80	99.80	99.75	99.75	99.70
Sales que pasan [%]	0.20	0.20	0.25	0.25	0.30
Tasa de flujo [l/m ² ·h]	27.60	38.20	27.60	31.30	38.20
Permeabilidad [l/m ² ·h·bar]	1.00	1.50	1.00	1.20	1.50
Transporte relativo de sales [Sales que pasan x Tasa de flujo]	0.055	0.076	0.069	0.078	0.114

1.4.2.1.5 Sistema de Postratamiento

El postratamiento consta de varias unidades de operaciones diferentes que están en función de la calidad de agua y elección del diseñador. Hay operaciones unitarias de postratamiento que se definen como:

1. Remoción de sulfuros
2. Recuperación de alcalinidad
3. Aireación
4. Desinfección
5. Estabilización

1.4.2.2 Mantenimiento

Las membranas deben ser limpiadas regularmente durante su operatividad. La frecuencia y el tipo de limpieza dependen de la calidad del agua de alimentación. Para este proyecto, el agua de alimentación es agua de mar, por lo que para su mantenimiento se deben tomar en cuenta dos procesos para los que se necesite un reemplazo de membranas como:

1. Polarización por concentración: Los solutos que no logran traspasar la capa de permeado siguen el flujo del agua de rechazo, sin embargo, la velocidad de esta corriente es casi nula en la superficie de la membrana, generando así zonas de concentración mayor al de la solución de rechazo, las cuales si siguen incrementando en concentración del soluto se produciría una capa gel que impida el adecuado traspaso de las moléculas de agua. (Fariñas, 1999)
2. Ensuciamiento de membranas: El ensuciamiento de las membranas puede producirse debido a la polarización por concentración, no obstante, el taponamiento de los poros también se logra por motivos fisicoquímicos, químicos, mecánicos o hidrodinámicos (García, 2002).

Los parámetros más importantes para detectar el ensuciamiento de las membranas son los diferenciales de presión, la temperatura del sistema, la salinidad y el porcentaje de recuperación; pues al existir cambios en los factores antes

mencionados afectan directamente a la producción del agua producto y la cantidad de sales que son rechazadas en el proceso.

La metodología de limpieza de las membranas ante un ensuciamiento reversible puede darse por esfuerzos físicos, el uso de agentes químicos o una combinación de ambas, la Tabla 1-4 muestra a mayor detalle los métodos más utilizados.

Tabla 1-4. Métodos físicos y químicos para la limpieza de membranas

FÍSICO	
Método	Descripción
Retrolavado	Se bombea agua permeada a alta velocidad de flujo cruzado a través del lado de alimentación para eliminar las incrustaciones de la superficie de la membrana (Zhao, Wu, Wang, Zhao, & Li, 2000).
Aireación	El método consiste en generar un flujo de dos fases para eliminar el ensuciamiento externo y así reducir la capa depositada sobre la superficie de la membrana. Hay varios flujos patrones posibles dependiendo de las velocidades del aire y del líquido superficial. Ha sido mostrado que el slug flow es el patrón más eficaz para mejorar el flujo másico (Psoch & Schiewer, 2006).
Flujo hacia adelante e inverso	El bombeo hacia adelante del agua permeada a alta velocidad en el lado del caudal de alimentación permite la eliminación de las incrustaciones sobre la superficie de la membrana de manera que, al existir un flujo más rápido y una mayor turbulencia, las partículas absorbidas las membranas se liberan y se descargan; las técnicas de flujo hacia adelante son particularmente útil para eliminar materia coloidal. En el método de lavado inverso, la dirección de la descarga de permeado se alterna durante unos segundos en el avance (caudal de alimentación de la salmuera) y durante unos segundos en la dirección inversa (Arnal, García-Fayos, & Sancho, 2011).
Ultrasonidos	El método se fundamenta bajo el fenómeno de cavitación, que durante el ciclo de compresión las microburbujas de aire, estas burbujas implosionan y permiten el lavado de la membrana (Corbatón, 2015).
Campos eléctricos	El campo eléctrico se aplica mediante un generador de corriente alterna. Las proteínas plasmáticas por encima del punto isoeléctrico están cargadas negativamente, por lo que cuando se aplica el campo, las partículas se retiran de la superficie de la membrana y se transportan hacia la corriente del flujo hidráulico, produciendo un rápido aumento del flujo permeado y mayores tasas de concentración de proteínas que con

	la ultrafiltración de flujo cruzado convencional (Tarazaga, Campderrós, & Pérez, 2006).
Bolas de esponja	Se introducen bolas, comúnmente, de poliuretano en los módulos de la membrana por unos segundos para limpiar el ensuciamiento de la membrana (Ebrahim, 1994).
QUÍMICO (Fritzmann, Löwenberg, Wintgens, & Melin, 2007)	
Tipo de Ensuciamiento	Agente Químico
Sales Inorgánicas (CaCO₃)	0.20% HCl, pH 1-2, 25 °C — Ácidos cítricos o HCl con niveles bajos de pH
Sulfatos (CaSO₄, BaSO₄)	0.10% NaOH, pH 12, 35 °C máx. — Soluciones de HCl o EDTA (agentes secuestrantes de iones de dureza)
Óxidos de Metal	1.00% Na ₂ S ₂ O ₄ , pH 5, 25 °C — Ácidos cítricos con niveles bajos de pH o Na ₂ S ₂ O ₄
Coloidal	0.10% NaOH, pH 12, 35 °C máx. — Soluciones de NaOH, agentes quelantes y tensioactivos
Sílica	0.10% NaOH, pH 12, 35 °C máx. — Soluciones de NaOH con altos niveles de pH
Biopelículas	0.10% NaOH, pH 12, 35 °C máx. — Soluciones de NaOH, agentes quelantes, tensioactivos y desinfectantes
Orgánicas	0.10% NaOH, pH 12, 35 °C máx. — Soluciones de NaOH, agentes quelantes y tensioactivos

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

2.1 Consumo de Agua Potable y su Proyección

Las estadísticas a nivel mundial sugieren que existen 2200 millones personas sin acceso al agua potable; 4200 millones de personas en el mundo no han podido asegurar el uso de servicios de saneamiento seguro; y 3000 millones de individuos no poseen las instalaciones básicas para acciones simples como lo es el lavarse las manos (Banco Mundial, 2019). La OMS ha podido clasificar el acceso del agua potable en 4 categorías, tener un acceso inadecuado es cuando una persona sólo puedo hacer uso de hasta 5.3 litros/día, el acceso básico es de 20 litros/día, acceso intermedio no excede a 50 litros/día y el óptimo es que la media debe ser mayor a 100 litros/día (Howard, y otros, 2020), lo que efectivamente sucede en Ecuador puesto que el gasto diario promedio de un ecuatoriano es de 249 litros, sin embargo, bajo el segundo Acuerdo Ministerial se ha fijado como consumo mínimo 200 litros por habitante por día (Sánchez, 2017), pero la provincia de Santa Elena está por debajo, teniendo un consumo diario por habitante de 195 litros.

2.1.1 Crecimiento Poblacional

En Ecuador el Instituto Nacional de Estadística y Censos es la institución encargada de generar las estadísticas públicas y oficiales del país, por lo que para la parroquia de Manglaralto se tiene la siguiente información:

Tabla 2-1. Resultados de los Censos poblacionales de la parroquia Manglaralto (INEC, 2001) (INEC, 2010)

Censo	Población
2001	23 423
2010	29 145

Por motivos de pandemia el censo previsto para el año 2020 no pudo ser realizado, sin embargo, el Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia

Manglaralto tiene datos asegurando que la población actual, año 2021, es de 35 000 habitantes (Neira & Muñoz, 2021). Por lo que se procede a calcular el crecimiento geométrico poblacional para los próximos 10 años, donde X es la población actual, r es la tasa de crecimiento en Ecuador para el año 2020 considerada como 1.55 % (DatosMundial, s.f.), t es el tiempo en años transcurridos y Y es la población a futuro.

$$Y = X(1 + r)^t$$

$$Y = 35\,000(1 + 0.0155)^{10}$$

$$Y = 35\,000(1.1663)$$

$$Y = 40\,820$$

La población de la parroquia Manglaralto tendría una población de 40 820 habitantes en 10 años.

2.1.2 Consumo de habitante por día

El hecho de que la provincia de Santa Elena esté por debajo del consumo mínimo requerido se debe a que existen comunas que no cuentan con el acceso de agua potable diariamente las 24 horas del día; en el caso de la parroquia de Manglaralto el acceso al agua dulce durante la época seca se da mediante tanqueros, y la red de distribución de agua potable está abierta para los habitantes en horarios preestablecidos (Neira & Muñoz, 2021); por lo que la parroquia al tener un mayor crecimiento poblacional y también al hecho de tener un acceso ilimitado al servicio los niveles del consumo del mismo incrementarán, de manera que se establecerá el consumo de 200 l/día por habitante para el presente proyecto y una población de 40,820 habitantes.

$$200 \frac{l}{día} \times 40\,820 \text{ hab.} = 8\,164\,000 \frac{l \cdot \text{hab}}{día}$$

$$8\,164\,000 \frac{l}{día} \times \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ horas}} \times \frac{0.001 \text{ m}^3}{1 \text{ l}} = 340.2 \frac{\text{m}^3}{h}$$

2.2 Integrated Membrane Solution Design (IMS Design)

El software IMS Design es un programa sofisticado que permite el diseño de un SOI basado en las características químicas del agua a tratar y el tipo de membrana a utilizar, la simulación permitirá conocer el número de bastidores y módulos necesarios, en la Tabla 2-2 se presentarán características principales del software.

Tabla 2-2. Parámetros y alcances de IMS Design (Cisternas, 2019)

RESTRICCIONES DE DISEÑO	
Número máximo de pasos	2
Número máximo de etapas por paso	6
Número máximo de elementos por contenedor	8
Procesos de simulación agregados	NF
Alcances adicionales	
Sistema de desgasificación	No
Dosificación de químicos	No
Rechazo de carga biológica	No
Recirculación de flujos	Sí
Split de permeado	Sí
Bomba booster (presión de compensación)	Sí
Balance de carga (ajuste sobre el agua de alimentación)	No
Estimación del número de membranas requeridas	Sí
Filtro cartucho	No
Postratamiento químico	Sí
Sistema híbrido de membranas	Sí
Dispositivo de recuperación de energía	Sí
Cálculo de consumo energético	Sí
Evaluación de reemplazo de membrana	No
Costo de Operación	Sí
Costo de Inversión	Sí

2.2.1 Análisis Químico

El análisis químico consiste en que a partir de una muestra de agua se analiza sus propiedades químicas, para esto, fue tomada una muestra de agua de mar en la Parroquia Manglaralto. Los parámetros que se analizaron serán los datos de entrada que funcionan como el agua de alimentación que entraría al sistema

Tabla 2-3. Valores de Cationes obtenidos del análisis químico.

ION	kg m ⁻³	kg m ⁻³ CaCO ₃
Ca	0.00041	0.00103
Mg	1.11352	4.56361
Na	11.53433	25.07463
K	0.38342	0.49033
NH ₄	0.00001	0.00003
Ba	0.000025	0.00002
Sr	0.00757	0.00864

Tabla 2-4. Valores de aniones obtenidos del análisis químico.

ION	kg m ⁻³	kg m ⁻³ CaCO ₃
CO ₃	0.01223	0.02039
HCO ₃	0.11591	0.09501
SO ₄	1.655	1.72396
Cl	20.07456	28.3139
F	0.00178	0.00468
NO ₃	0.0002	0.00016
PO ₄	0.0001	0.00016
SiO ₂	0.005	0
B	0.00376	0

Una vez realizado el análisis químico de la muestra de agua de mar de Manglaralto, estos datos son colocados en la ventana de Análisis de IMSDesing con sus respectivas unidades para luego proceder con el diseño del sistema.

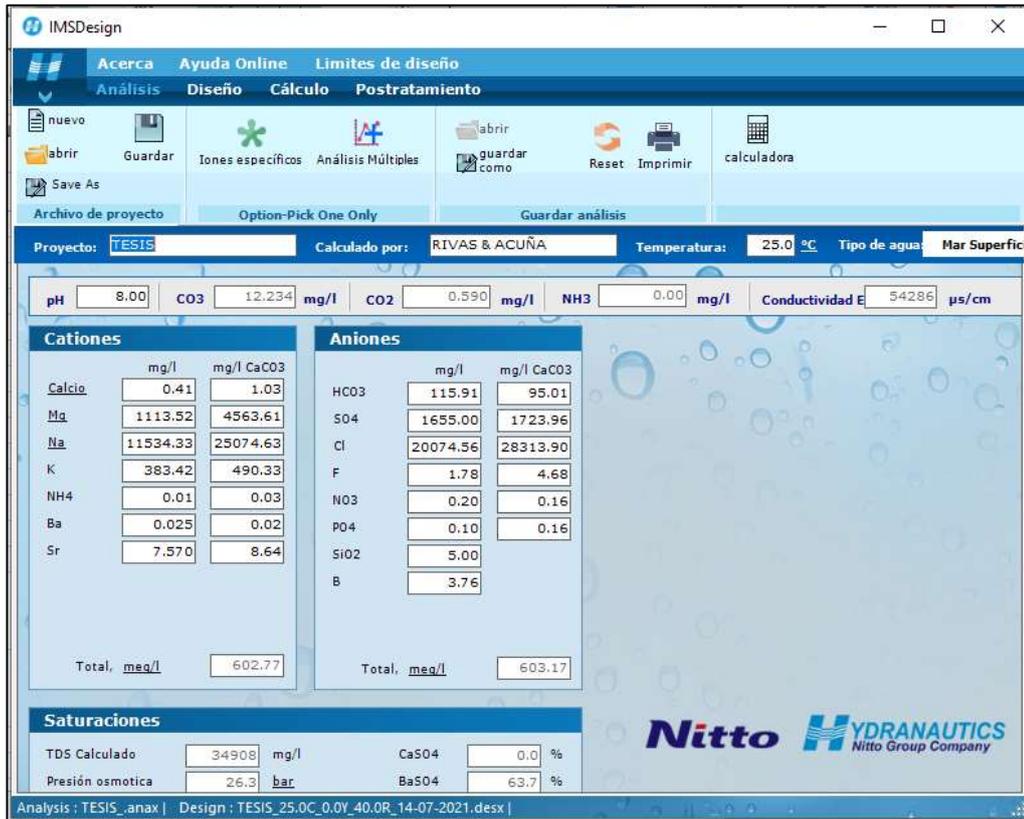


Ilustración 2-1. Ventana de análisis del Software IMSDesing

2.2.2 Diseño

Esta es la segunda etapa en el sistema de diseño de IMSDesign. Para realizar este paso debemos especificar parámetros como el flujo de permeado, la recuperación, el tipo de membrana y el número de etapas.

2.2.2.1 Flujo de permeado

El flujo por tren de permeado de nuestro sistema, es decir lo que debería producir la planta en metros cúbicos por hora, fue calculado anteriormente y se tuvo que para la proyección estimada la planta debería producir un aproximado de 340.2 metros cúbicos por hora.

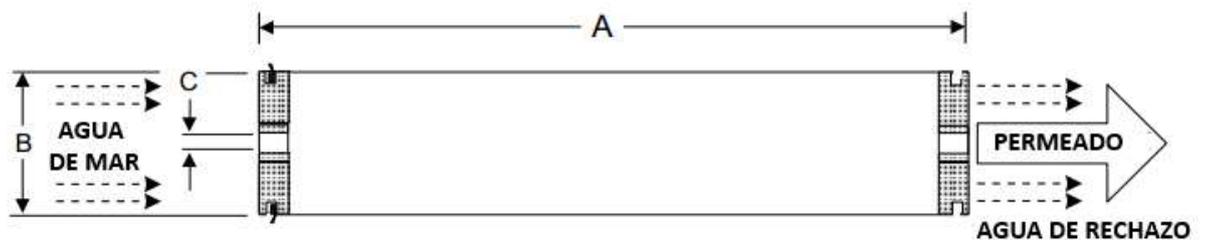
2.2.2.2 Recuperación (%)

Teóricamente el proceso de Ósmosis Inversa trabaja con un 50 % de conversión, es decir 50 % de agua producto y 50% de agua de rechazo. Pero para este tipo de agua de alimentación es recomendable usar un 45% de recuperación, por lo que para el diseño en este software se obtendrá un 45% de agua permeada y un 55% del subproducto.

2.2.2.3 Tipo de membrana

El tipo de membrana usado para para este diseño es conocido como SWC5 MAX que trabaja con una presión de alimentación de 55.2 bar y se obtiene un producto permeado con 290mg/l de TDS.

Una de estas membranas tiene la capacidad de producir hasta 37.5 m³/d con un rechazo de sal de 99.8%.



A (mm)	B (mm)	C (mm)
1016	200	28.6

2.2.2.4 Número de etapas

El número de etapas se refiere al número de procesos de ósmosis inversa con el agua de rechazo o concentrada.

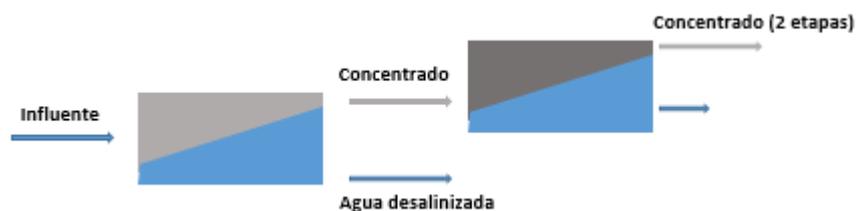


Ilustración 2-2. Definición gráfica de Etapas en un proceso de OI.

Para este diseño se ha establecido una sola etapa en el proceso, dado que el agua de rechazo pretende ser utilizada para beneficio de la comunidad, de esta manera el número de etapas es 1.

Dentro de los parámetros de diseño se establece también la concentración de la solución, la edad de la membrana, el factor de ensuciamiento, etc y para estos valores se usaron los límites establecidos de diseño para el tipo de membrana escogido. Una vez definidos estos valores, podemos continuar al proceso de cálculo.

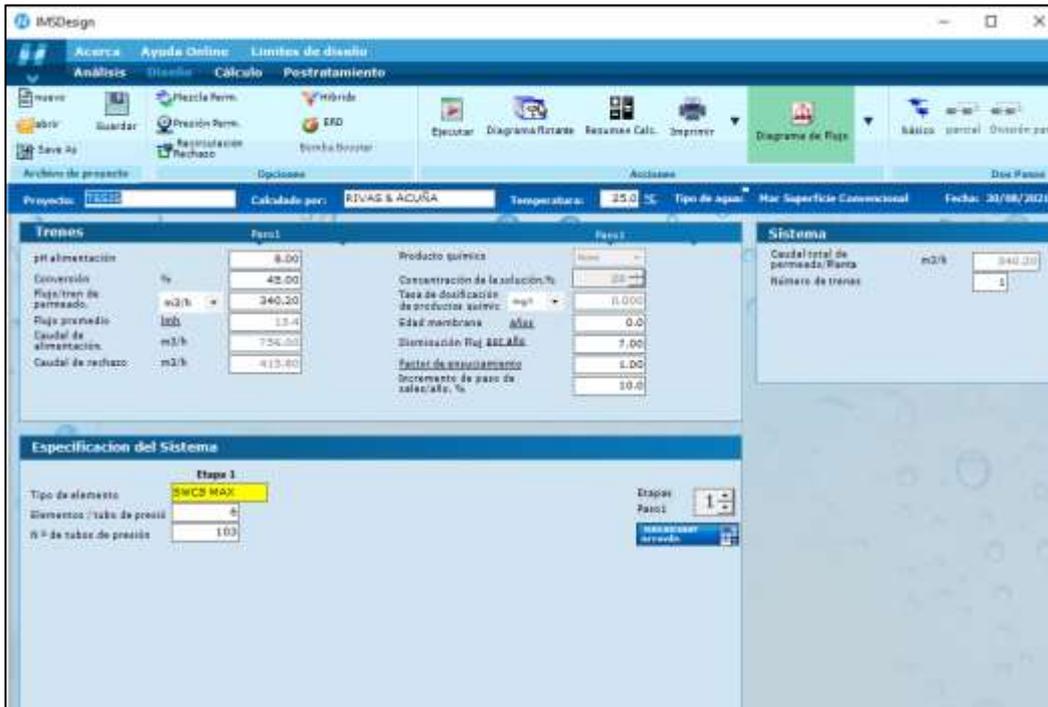


Ilustración 2-3. Ventana de Diseño del Software IMSDesing.

2.3 Plan de Seguridad de Agua

Las JAAPs deben asegurar que las condiciones químicas y físicas del agua estén de acuerdo con el marco legal ecuatoriano estipulado en la Constitución de la República del Ecuador actual, el Reglamento a la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamientos del Agua, y en especial la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108 la cual presenta los requisitos físicos y químicos del agua para consumo humano.

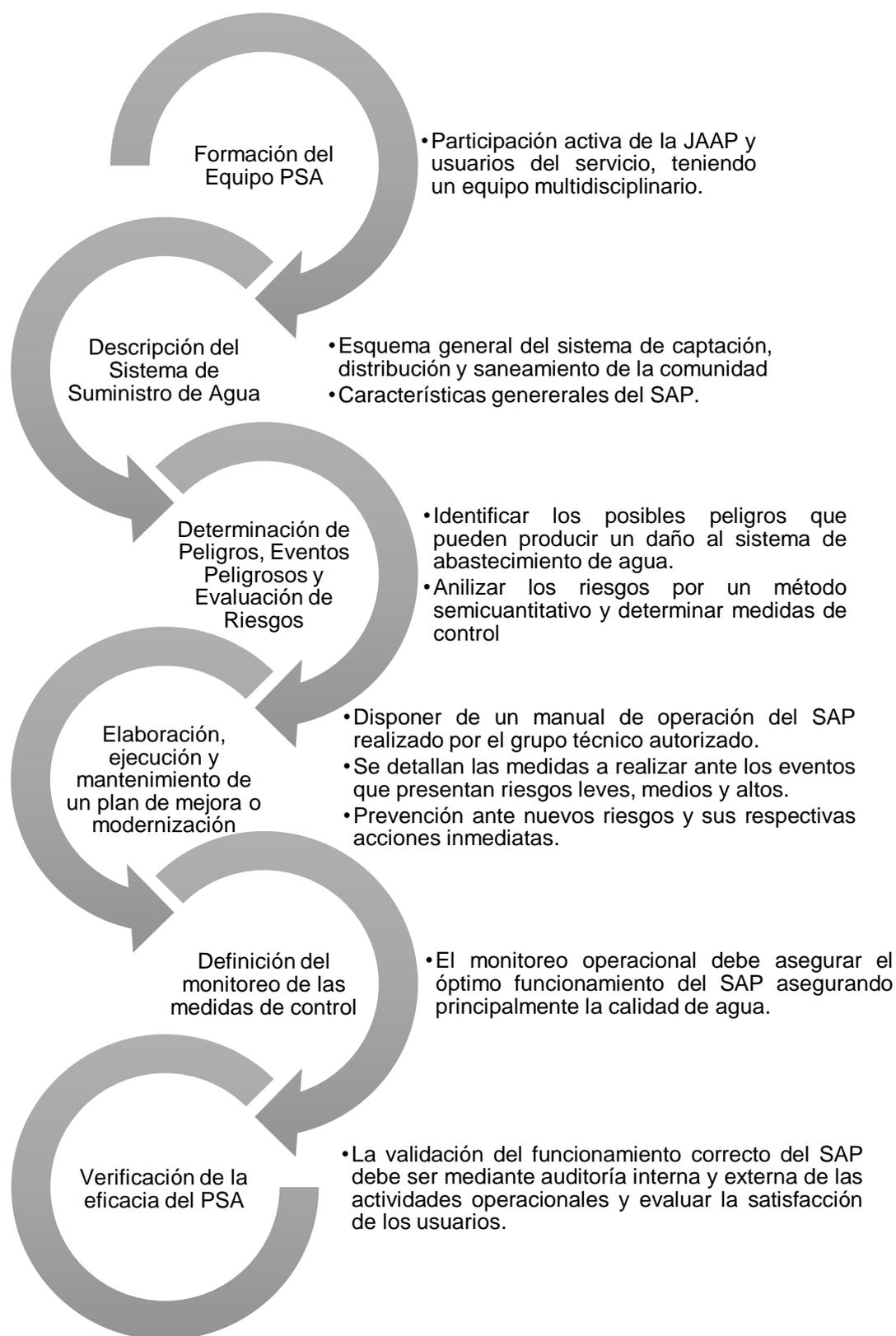


Ilustración 2-4. Pasos para el desarrollo de un plan de seguridad del agua.
(Corrales , y otros, 2009) (Encalada, 2017)

2.4 Agua de rechazo – Salmuera

La descarga de salmuera al mar ya sea por vertido directo o con dilución previa representa un impacto ambiental significativo al ecosistema que se encuentra dentro del área de influencia de una planta de desaladora, por lo que es necesario determinar el manejo adecuado del subproducto generado por el SOI, tomando en cuenta que esta contiene todos los componentes retenidos por las membranas por lo que debe existir, en primera instancia, una óptima desinfección. Los usos potenciales para la salmuera son:

1. Producción de sal común.
2. Acuicultura: aumento de biomasa en tilapia post marinado, cultivo de algas azules (aprovechamiento de espirulina), producción de nauplios de *Artemia* y quistes, entre otros usos.
3. Industria de alimentos: conservación y curado de alimentos, aplicación en la gastronomía

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Una planta desaladora de agua de mar funciona generalmente de la siguiente manera:

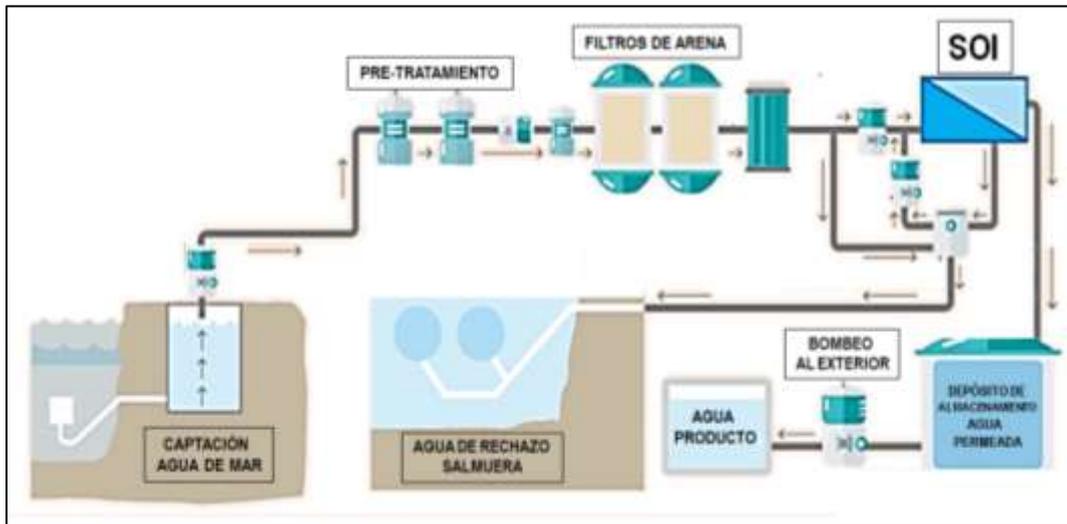


Ilustración 3-1. Esquema general de una planta desaladora de agua mediante OI. (Imitola, Lopez, & Ramírez, 2019)

Luego de un pretratamiento que consiste en una desinfección, coagulación, decoloración y antiincrustante, el agua pasa por filtros de arena donde finalmente se convierte en al agua de alimentación para el sistema de OI, el cual se describe a continuación.

3.1 Diseño de Sistema de Ósmosis Inversa

El SOI recibe una fuente de alimentación que será sometida al proceso, el mismo que trabajará con un porcentaje de conversión dependiendo de la membrana, una membrana eficaz se mide en cuanto al rechazo de sales, a su producción nominal y a los TDS obtenidos en el flujo permeado, a continuación, se detallan algunas de las especificaciones más importantes del SOI:

Tabla 3-1. Especificaciones del diseño de SOI

Caudal del Agua de Alimentación [m³ h⁻¹]	756
Conversión [%]	45
Caudal del Agua Producto [m³ h⁻¹]	340.2
Membrana	SWC5 MAX
Rechazo de sal de la membrana [%]	99.8
Numero de Tubos	103
Membranas por Tubos	6
Trenes	1

Posterior al diseño y cálculo en IMSDesing se obtienen los resultados, los mismos que se muestran de manera gráfica en el siguiente diagrama de flujo:

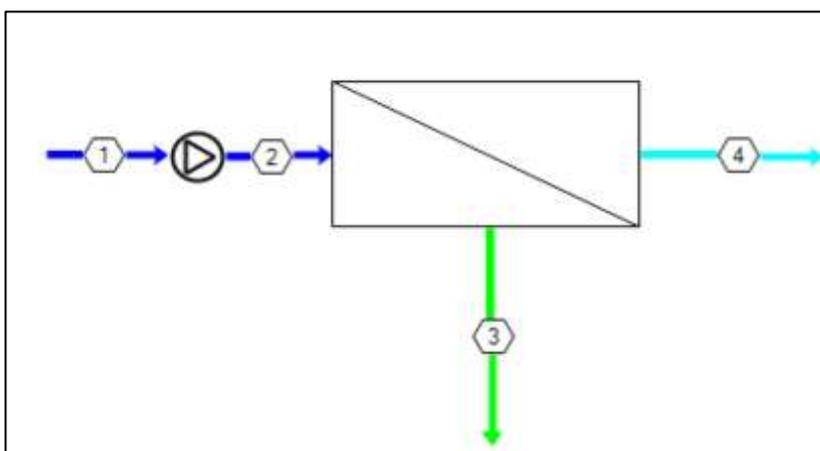


Ilustración 3-2. Flujo general de corrientes

Tabla 3-2. Valores en cada proceso del Sistema de OI.

Corriente N°	Caudal (m³ h⁻¹)	Presión (bar)	TDS (m g⁻¹)	pH	Econd (μs cm⁻¹)
1	756	0	34908	8	54286
2	756	51.6	34908	8	54286
3	416	50.7	63256	8.09	952229
4	340	0	221	6.54	472

La corriente 1 en este caso es el agua bruta, que luego de pasar por un proceso desarenador y una pre-filtración, esta se convierte en el agua de alimentación (corriente 2) que entra al sistema de OI, el mismo que luego de cumplir su función proporciona una corriente de agua producto (corriente 4) y una de agua rechazo (corriente 3).

La importancia de la calidad de agua producto radica en conocer si sus parámetros están dentro de los permitidos para el consumo humano. La siguiente tabla muestra los valores que se obtienen del agua de alimentación una vez que pasa por el proceso de ósmosis inversa:

Tabla 3-3. Valores obtenidos del proceso de ósmosis inversa.

ION (mg/L)	Agua de alimentación	Agua Producto	Agua de Rechazo
Dureza, como CaCO₃	4564.63	0.344	8296.2
Ca	0.41	0	0.7
Mg	1113.52	0.084	2023.8
Na	11534.33	83.269	20896.3
K	383.42	3.458	694.1
NH₄	0.01	0	0
Ba	0.025	0	0
Sr	7.57	0.006	13.8
H	0	0	0
CO₃	12.24	0	37.2
HCO₃	115.91	1.338	184.1
SO₄	1655	2.661	3005.9
Cl	20074.56	128.927	36381.3
F	1.78	0.023	3.2
NO₃	0.2	0.01	0.4
PO₄	0.1	0	0.2
OH	0.1	0.001	0.2
SiO₂	5	0.025	9.1
B	3.76	0.941	6.1
CO₂	0.59	0.59	0.75
NH₃	0	0	0
TDS	34907.83	220.74	63256.13
pH	8	6.54	8.09

3.1.1 Consumo energético

El cálculo de la energía requerida se evidencia en la siguiente en la siguiente tabla con un total de 3.97 kwh por metro cúbico.

Tabla 3-4. Cálculo de la energía requerida.

Presión de la bomba / Boost [bar]	51.6
Caudal producto [m³ h⁻¹]	340.2
Caudal de la bomba [m³ h⁻¹]	756
Eficiencia de la bomba [%]	87
Eficiencia del motor [%]	95
Eficiencia variador frecuencia [%]	97
Bombeo de energía [BHP]	1808.5
Bombeo de energía [kw]	1349.1
Energía de bombeo [kwh m³]	3.97

3.1.2 Requisitos químicos

Para el lavado químico de las membranas se puede tratar la combinación de los siguientes químicos con la concentración especificada.

	Conc. Solución [%]	Peso específico
SMBS	10	1.10
Antincrustante	40	1.00
NaOCl	10	1.30

3.1.3 Inversión y Costos

En esta sección se evidencia cual es la inversión total del sistema implementado en la planta con una capacidad de 340.2 m³ h⁻¹, cantidad suficiente de agua calculada para abastecer a la población de la parroquia de Manglaralto durante las 24 horas.

Tabla 3-5. Especificaciones de la inversión.

Capacidad de la planta [m³ h⁻¹]	340.201
Inversión específica [USD m³h⁻¹]	22 151.9
Inversión [USD]	7 536 077
Vida de la planta [años]	15
Coste de la membrana [USD/Elemento]	800
Número de elementos	618
Coste energético [USD kwh⁻¹]	0.2
Coste del antincrustante [USD kg⁻¹]	2.2
Consumo energético [kwh m⁻³]	3.97
Coste de ácido [USD kg⁻¹]	0.15

El costo total del agua por metro cúbico se evidencia en la siguiente tabla, siendo la suma del coste invertido en capital, energía requerida y consumida, coste de material como membranas y requisitos químicos y mantenimiento de las membranas.

Tabla 3-6. Costo total del agua por metro cúbico en planta.

Coste de capital [USD m⁻³]	0.17
Coste energético [USD m⁻³]	0.79
Coste productos químicos [USD m⁻³]	0.01
Costes de remplazo de membrana [USD m⁻³]	0.04
Mantenimiento [USD m⁻³]	0.08
Cose total de agua [USD m⁻³]	1.10

A este último valor del coste de agua en planta se le debe añadir los costos operarios, para ello se ha considerado un costo de USD 0.70 por hora de trabajo del operador. Esto resulta en un costo final del agua en planta de **USD 1.80** el metro cúbico.

3.1.4 Agua Producto

En esta sección se hace una comparación y análisis de los parámetros obtenidos del proceso de OI para el agua producto y sus límites máximos permitidos según la INEN.

Tabla 3-7. Comparación límites máximos permitidos INEN

Ion (mg/L)	Agua de alimentación	Agua Producto	Agua de Rechazo	Límite máximo permitido INEN
Dureza, como CaCO₃	4 564.63	0.344	8 296.2	
Ca	0.41	0	0.7	
Mg	1 113.52	0.084	2 023.8	
Na	11 534.33	83.269	20 896.3	
K	383.42	3.458	694.1	
NH₄	0.01	0	0	
Ba	0.025	0	0	0.7
Sr	7.57	0.006	13.8	
H	0	0	0	
CO₃	12.24	0	37.2	

HCO3	115.91	1.338	184.1	
SO4	1 655	2.661	3 005.9	
Cl	20 074.56	128.927	36 381.3	
F	1.78	0.023	3.2	1.5
NO3	0.2	0.01	0.4	50
PO4	0.1	0	0.2	
OH	0.1	0.001	0.2	
SiO2	5	0.025	9.1	
B	3.76	0.941	6.1	2.4
CO2	0.59	0.59	0.75	
NH3	0	0	0	
TDS	34907.83	220.74	63 256.13	500
pH	8	6.54	8.09	6.00 -9.00

Para el análisis del agua producto obtenida a través del proceso de OI, algunos de los parámetros son comparados con los requisitos requeridos de agua potable establecidos por la INEN. En este caso el Bario, Fluoruros, Nitratos, Boro, los Sólidos Disueltos Totales y el pH están del rango permitido por la normativa. (NTE INEN, 2014)

3.1.5 Gestión del Agua de rechazo

Una de las principales preocupaciones son los posibles impactos ambientales causados por la descarga extensiva de salmuera; subproducto inevitable de la desalinización que puede afectar gravemente a la biota marina. Este subproducto, denominado comúnmente como Salmuera tiene diferentes usos en algunas industrias para su aprovechamiento como, por ejemplo:

Usos	Descripción
Conservas de alimentos	La salmuera es usada para que los alimentos se conserven durante largos periodos
Obtención de sal de alta calidad	A través de procesos de evaporación la salmuera es usada para obtener Sal de alta pureza para su comercialización.
Acuicultura	La salmuera es el sistema más eficaz y económico para la congelación de camarones, sardinas y otros productos del mar y de la acuicultura.

En esta sección se pretende la selección de la mejor alternativa para el aprovechamiento del agua rechazo o Salmuera. La finalidad se centra en darle un buen uso a esta agua concentrada en sales y que no sea descargada o vertida

directamente al mar ni a redes de alcantarillado, para ello, a continuación, se podrá observar una tabla con las diferentes opciones de gestión posibles.

Tabla 3-8. Alternativas para la Gestión de Salmuera

Alternativa	Objetivo	Viabilidad
Lagunas de evaporación	Confinar la salmuera en piscinas para luego de un proceso de evaporación obtener SAL.	Buena
Inyección de Sondeos Profundos (ISP)	Consiste en inyectar la salmuera en el subsuelo a través de un pozo profundo	Poca
Sistema Vertido Líquido Zero (ZLD)	Consiste en la conversión de la salmuera en un efluente de agua de elevada calidad, por un lado, y las sales en estado sólido cristalizadas por otro lado.	Buena
Comercialización directa	Consiste en distribuir la salmuera a compradores directos.	Buena

3.2 Plan de Seguridad de Agua

El objetivo de la elaboración de este plan es el aseguramiento de las buenas prácticas de abastecimiento de agua potable basándonos en el Manual para el Desarrollo de Planes de Seguridad del Agua elaborado por la OMS y la IWA, y la Guía para Sistemas Rurales de Agua Potable del Ecuador elaborado revisado por la CLOCSAS, ROSCGAE y Wash-Rural.

3.2.1 Equipo PSA

Los encargados de la documentación del PSA deben formar parte de la comunidad como usuario, representante de un grupo de interés específico, operador, entre otros roles. A continuación, se resumen los requisitos necesarios para formar parte del equipo PSA.

Tabla 3-9. Descripción del Equipo de PSA (Autoras, 2021)

ENTIDAD	REPRESENTANTE	CARGO	RESPONSABILIDAD EN EL EQUIPO
JAAPMAN	Presidente	Director a cargo de la Distribución de Agua	Planificar las instalaciones necesarias para la red de distribución y asegurar un servicio de calidad

	Tesorero	Jefe de Presupuestos y Contabilidad	Supervisar los estados de cuenta presupuestales
GAD	Presidente	Vocero de la Comunidad	Reportar las quejas o inconformidades de la comunidad
Instituciones de Educación Superior	Profesionales de Tercer y Cuarto Nivel	Jefe de Operaciones y Calidad	Controlar las operaciones de abastecimiento y tratamiento
		Operador de Sistema de Ósmosis Inversa	Revisar las condiciones de las membranas y mantenerlo en buen estado
		Operador de Suministro de Agua	Supervisar el estado de las bombas y dar el respectivo mantenimiento
		Jefe de Tratamiento de Agua	Gestionar los aditivos necesarios para el pre y postratamiento del agua

3.2.2 Sistema de Suministro de Agua

En la siguiente ilustración se aprecia un esquema general realizado con el programa SketchUp Pro-2021, donde se representa al océano como fuente natural de agua, la JAAPMAN sería la encargada de la captación para continuar con el proceso de pretratamiento, posteriormente al sistema de membranas y el agua producto debe ser tratada adecuadamente para que esta sea distribuida a la comunidad; con la producción masiva de agua de rechazo, la planta desalinizadora de ósmosis inversa lograría convertirse en un proveedor de salmuera, de manera que se aplicaría el concepto de economía circular.

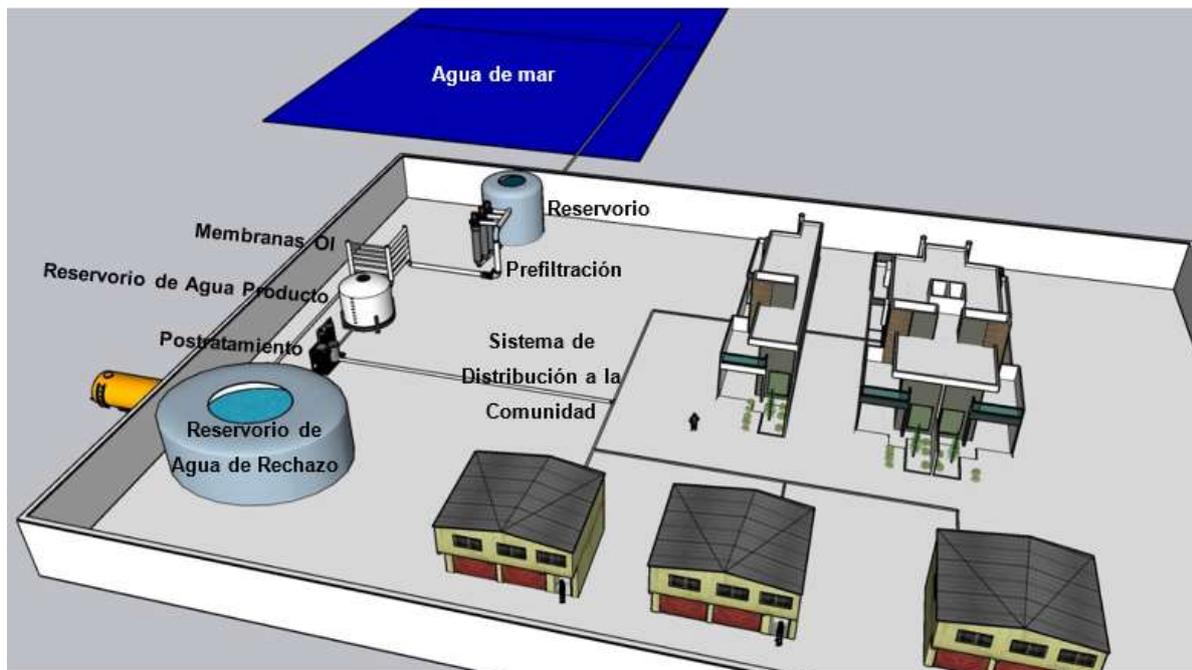


Ilustración 3-3. Esquema General del Sistema de Agua y Saneamiento

Tabla 3-10. Amenazas relacionadas al SAP (Autoras, 2021)

COMPONENTES DEL SAP	EVENTO O FUENTE DE PELIGRO	PELIGROS ASOCIADOS	CLASIFICACIÓN DEL RIESGO	MEDIDAS DE CONTROL
Captación desde el mar	Batimetría	Cambios en la estructura del fondo marino	Bajo	Evaluación de impacto ambiental
	Fauna	Migración de especies bentónicas	Bajo	
		Afectación en la salud de organismos	Moderado	
	Fenómenos meteorológicos y climatológicos	Alteración en la calidad del agua (contaminación)	Alto	Análisis químico semestral del agua fuente
	Descarga de residuos de industrias cercanas			

Filtración y Sistema de Ósmosis Inversa	Obstrucción de los poros en el filtro	Variación en los diferenciales de presión	Alto	Monitoreo a cada hora del día
		Deterioro de los filtros	Alto	
		Deficiencia en la remoción de partículas	Alto	
	Abastecimiento eléctrico	Suspensión de los procesos	Moderado	Generador de energía
Distribución a la comunidad	Avería de tubos	Corte de servicio	Moderado	Presupuesto de contingencia
	Vandalismo	Daño a los arreglos de tubería	Moderado	
		Toma ilegal de agua potable	Bajo	Multas

3.2.3 Plan de Mejoras o Modernización

Tabla 3-11. Plan de Mejoras (Autoras, 2021)

MEDIDA	FUNDAMENTO	PLAN DE MEJORA	RESPONSABLES	EJECUCIÓN
Evaluación de Impacto Ambiental	Tener una línea base y conocer las repercusiones del proyecto a futuro	Contratación de una consultora	Consultora especializada	Antes y después de la etapa de construcción del proyecto, auditorías anuales
Análisis químico del agua fuente	Prevenir la contaminación y sobrecarga de trabajo de los equipos	Evaluación de la calidad de agua	Laboratorio acreditado por el SAE	Semestral y ante eventos que podrían cambiar su calidad
Evaluación del rendimiento del SOI	Detectar anomalías a tiempo para realizar el respectivo mantenimiento requerido para	Implementación de indicadores cualitativos y cuantitativos del rendimiento	Jefe de Operaciones y Calidad	Mensual

	mejorar las condiciones de trabajo del equipo			
Análisis químico del agua producto y de rechazo	Asegurar el bienestar y satisfacción de los consumidores	Evaluación de la calidad de agua	Laboratorio acreditado por el SAE	Semestral y ante eventos que podrían cambiar su calidad

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se diseñó un Sistema de Osmosis Inversa con una capacidad de 8165 m³ diarios capaces de suministrar agua necesaria a una población de 40820 habitantes proyectada a 10 años con un consumo diario óptimo de 200 L. La planta contaría con una vida útil de 15 años y posibilitaría la obtención de agua de calidad apta para el consumo humano según la INEN.
- La proyección de costo del SOI se calculó en un valor de 7 536 077 lo que resulta en un valor de USD \$ 1.80 el metro cúbico de agua sumando costos de capital, energéticos, químicos, costos de mantenimiento y operarios. Este valor representa una gran diferencia con el costo actual del agua en la comuna de Manglaralto, que tiene un valor de USD \$ 6.00 el metro cúbico.
- La operación de una planta OI requiere una constante monitorización de la producción y estado del agua producto, esto se logra a través de parámetros como la presión diferencial, el caudal, la conductividad y la calidad de agua.
- Los criterios de diseño se realizaron en IMSDesing, un programa de ordenador usado como herramienta para desarrollar y probar variadas configuraciones de sistemas y no deberían verse como completos, pero si confiables ya que suministran un medio de estimación de la producción y calidad de agua a partir de la veracidad de los parámetros de entrada dados.
- Por conceptos de economía circular, la mejor alternativa para la gestión de salmuera es su comercialización directa, pudiendo ser aprovechada en otras industrias, lo que resulta en darle un valor añadido al subproducto del SOI que podría llegar a disminuir el costo del metro cúbico de agua en planta.
- Se elaboró un Plan de Seguridad de Agua (PSA) para la planificación y gestión responsable del agua que faculta la prevención de cualquier evento de riesgo que suponga un peligro para el proyecto

- Como recomendaciones del proyecto, antes de la implementación del SOI en planta es importante un estudio piloto, el costo de estos estudios puede variar dependiendo de del tamaño de la planta piloto, tiempo de trabajo, tiempo de trabajo, análisis de datos, etc.; sin embargo, los costos de estos estudios piloto son insignificantes cuando se les compara con el coste real de la planta, y estos estudios son un medio muy efectivo de evitar problemas luego de la construcción.
- Se recomienda, además, el análisis de una segunda etapa en el proceso de Ósmosis Inversa, que aumentaría el porcentaje de recuperación, es decir, aumentaría la producción de agua permeada, en otras palabras, se obtendría un mayor porcentaje de agua producto, por ende, uno menor de agua de rechazo.
- De ser realizado el proyecto recomendamos realizar un estudio de mercado de la Salmuera que asegure el éxito de comercializar la misma.

BIBLIOGRAFÍA

- Arnal, J., García-Fayos, B., & Sancho, M. (2011). Membrane Cleaning. En R. Ning, *Expanding Issues in Desalination* (págs. 63-84). Recuperado el 17 de Agosto de 2021, de <https://bit.ly/3kmGY7w>
- Banco Mundial. (2019). *Agua: Panorama General*. Obtenido de <https://bit.ly/3raVoJA>
- Carrión-Mero, P., Montalván, F. J., Morante-Carballo, F., Loo-Flores De Valgas, C., Apolo-Masache, B., & Heredia, J. (2021). *Flow and Transport Numerical Model of a Coastal Aquifer Based on the Hydraulic Importance of a Dyke and Its Impact on Water Quality. Manglaralto-Ecuador*. <https://doi.org/10.3390/w13040443>
- Cisternas, F. (2019). Evaluación de Alternativas Tecnológicas para la Remoción de Boro de Aguas Salobres para su Uso en la Agricultura Altiplánica. 22-45. Valparaíso, Chile: Universidad Técnica Federico Santa María.
- Corbatón, M. (2015). Limpieza de Membrana de Ultrafiltración Aplicadas en la Industria Alimentaria por Medio de Técnicas No Convencionales y Caracterización del Ensuciamiento de las Membranas. (U. P. València, & I. d. Medioambiental, Edits.) Valencia.
- Corrales , L., Bartram, J., Davison, A., Deere, D., Drury, D., Gordon, B., . . . Stevens, M. (2009). Manual para el Desarrollo de Planes de Seguridad del Agua: Metodología Pormenorizada de Gestión de Riesgos para Proveedores de Agua de Consumo. Ginebra: Organización Mundial de la Salud.
- Curcio, E., & Drioli, E. (2009). Membranes for Desalination. En A. Cipollina, G. Micale, & L. Rizzuti, *Seawater Desalination: Conventional and Renewable Energy Processes* (págs. 41-75). Palermo: Springer.
- Dévora, G., González, R., & Ponce, N. (2012). Técnicas para Desalinizar Agua de Mar y su Desarrollo en México. *VIII(2)*, 57-68. El Fuerte, México: Universidad Autónoma Indígena de México.
- Ebrahim, S. (1994). Cleaning and Regeneration of Membranes in Desalination and Wastewater Applications: State-of-the-Art. *Desalination*, 96, 225-238.
- Encalada, M. (2017). Planes de Seguridad del Agua (PSA): Guía Rápida para la Implementación en Sistemas de Agua Potable Rurales del Ecuador. Quito: Confederación Latinoamericana de Organizaciones Comunitarias de Servicios de

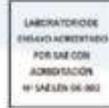
Agua Potable y Saneamiento; Red de Organizaciones Sociales y Comunitarias de la Gestión del Agua en el Ecuador; Wash-Rural.

- Ettouney, H., & Wilf, M. (2009). Commercial Desalination Technologies: An Overview of the Current Status and Applications of Commercial Seawater Desalination Processes. En G. Micale, A. Cipollina, & L. Rizzuti, *Seawater Desalination: Conventional and Renewable Energy Processes* (págs. 76-107). Palermo: Springer.
- Fajardo, A. (2018). *Desalinización de Agua: ¿Una Alternativa Sostenible para la Potabilización del Agua?* Recuperado el 20 de Junio de 2021, de Repositorio de la Fundación de Universidad de América: <https://bit.ly/3qRs2Qv>
- Fariñas, M. (1999). Ósmosis Inversa. Fundamentos, Tecnología y Aplicaciones. España: Mc Graw-Hill Interamericana de España.
- Fritzmann, C., Löwenberg, J., Wintgens, T., & Melin, T. (2007). State-of-the-Art of Reverse Osmosis Desalination. *Desalination*, 216, 1-76.
- García, C. (2002). Aplicación de la Ósmosis Inversa y la Nanofiltración en el Acondicionamiento de Aguas para Calderas. España: Universidad de Oviedo.
- GESTIONADMI, C. L. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Manglaralto 2014-2019*. Manglaralto.
- Howard, G., Bartram, J., Williams, A., Overbo, A., Fuente, D., & Geere, J.-A. (2020). *Domestic Water Quantity, Service Level and Health*. Ginebra: Organización Mundial de la Salud.
- Imitola, A., Lopez, A., & Ramírez, J. (Noviembre de 2019). *DISEÑO DE UNA PLANTA DESALINIZADORA DE AGUA DE MAR EN LA ZONA DE LA MEDIA-ALTA GUAJIRA*. Obtenido de <https://manglar.uninorte.edu.co/bitstream/handle/10584/8757/Proyecto%20Final.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- INEC. (2001). *Cantón Santa Elena*. Recuperado el 10 de Julio de 2021, de <https://bit.ly/2TiCjSl>
- INEC. (2010). *Censo de Población y Vivienda*. Recuperado el 10 de Julio de 2021, de <https://bit.ly/3kkjfVT>
- Kucera, J. (2010). *Reverse Osmosis: Design, Processes and Applications for Engineers*. Recuperado el 10 de Junio de 2021, de <https://bit.ly/3xHFVCW>
- Ministerio de Turismo. (2021). *Visualización de información turística de Ecuador*. Obtenido de <https://www.turismo.gob.ec/>

- Molina, A., Pozo, M. & Serrano, J. (2018). *Agua, saneamiento e higiene*. 79. www.ecuadorencifras.gob.ec
- Morante, F., Montalván, F. J., Carrión, P., Herrera, G., Heredia, J., Elorza, F. J., Pilco, D., & Solórzano, J. (2019). Hydrochemical and geological correlation to establish the groundwater salinity of the coastal aquifer of the Manglaralto River basin, Ecuador. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 229, 139–149. <https://doi.org/10.2495/WRM190141>
- Naciones Unidas. (n.d.). *Agua y saneamiento – Desarrollo Sostenible*. Retrieved July 13, 2021, from <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
- Neira, L., & Muñoz, P. (2021). Interés en la creación de una Planta de Ósmosis Inversa. (B. Acuña, & S. Rivas, Entrevistadores)
- NTE INEN. (2014). *Agua Potable - Requisitos*. Quito.
- Prats, D. (2017). La Desalación: Aspectos Técnicos y de Gestión. En A. Molina, & P. Fernández, *Herramientas para la Gestión Territorial Sostenible del Agua* (págs. 67-79). Alicante: Universidad de Alicante.
- Psoch, C., & Schiewer, S. (2006). Direct Filtration of Natural and Simulated River Water with Air Sparging and Sponge Ball for Fouling Control. *Desalination*, 197, 190-204.
- Salamanca, M., & Schneider, W. (2006). La Salinidad en los Océanos. *Biología Marina y Oceanografía: Conceptos y Procesos*, 1, 152. Chile: Universidad de Concepción.
- Sánchez, A. (2017). *Registro Oficial N° 41. Acuerdo Ministerial 1523. Artículo 1*. Obtenido de <https://bit.ly/3BhGvdl>
- Tarazaga, C., Campderrós, M., & Pérez, A. (2006). Physical Cleaning by Means of Electric Field in the Ultrafiltrations of a Biological Solution. *Journal of Membrane Science*, 278, 219-224.
- Zhao, Y., Wu, K., Wang, Z., Zhao, L., & Li, S. (2000). Fouling and Cleaning of membrane- A Literature Review. *Journal of Environmental Sciences*, 12, 241-251.

APÉNDICES

Resultados de Laboratorio de agua fuente.



INFORME DE RESULTADOS

INF LASA-30-06-21-2686
ORDEN DE TRABAJO No. 21-2789

INFORMACIÓN DEL CLIENTE		
SOLICITADO POR: ACUÑA MERCHAN BELEN STEPHANIE	DIRECCIÓN: ALBORADA	
TELÉFONO/FAX: 0987719981	TIPO DE MUESTRA: AGUA	PROCEDENCIA: AGUA DE MAR - MUNGLAR ALTO
IDENTIFICACIÓN: AGUA NATURAL 13:26	CODIGO INICIAL: M1 - FECHA DE TOMA DE MUESTRA: 13/06/2021	
<i>Información suministrada por el cliente</i>		
INFORMACIÓN DEL LABORATORIO		
MUESTREO POR: SOLICITANTE	FECHA DE MUESTREO: -	INGRESO AL LABORATORIO: 17/06/2021
FECHA DE ANÁLISIS: 17-30/06/2021	FECHA DE ENTREGA: 30/06/2021	NÚMERO DE MUESTRAS: Una (1)
CÓDIGO DE MUESTRA: 21-7420		REALIZACIÓN DE ENSAYOS: LABORATORIO

ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO

ITEM	PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	INCERTIDUMBRE U (k=2)	MÉTODO DE ENSAYO
1	ANHIDRIDO CARBÓNICO (CO ₂) LIBRE	mg/l	1,97	-	³ CALCULO APHA 4500-CO ₂ D *
2	BARJO	mg/l	<0,025	± 7,19%	³ PEE LASA INS.09 EPA 6020, 6020A, APHA 3125 *
3	BICARBONATOS (HCO ₃ ⁻)	mg/l	115,91	-	³ VOLUMETRIA APHA 2320 B *
4	BORO	mg/l	3,7639	+ 8,97%	³ PEE LASA INS.09 EPA 6020, 6020A, APHA 3125 *
5	CALCIO	mg/l	0,4135	+ 9,97%	³ PEE LASA INS.09 EPA 6020, 6020A, APHA 3125 *
6	CARBONATOS (CO ₃ ⁻²)	mg/l	18,34	-	³ VOLUMETRIA APHA 2320 B *
7	COLOR TOTAL	mg/l	<0,10	-	³ Espectrofotometría HACH 8167 DPD *
8	ESTRONCIO	mg/l	7,5702	± 14,84%	³ PEE LASA INS.09 EPA 6020, 6020A, APHA 3125 *
9	FLUORUROS	mg/l	1,78	+ 18%	³ PEE LASA FQ 12 APHA 4500 F D *
10	MAGNESIO	mg/l	1113,52	+ 11,17%	³ PEE LASA INS.09 EPA 6020, 6020A, APHA 3125 *
11	NITRÓGENO AMONIACAL	mg/l	1,90	± 20%	³ PEE LASA FQ 18 HACH 8038
12	POTASIO	mg/l	383,42	± 13,11%	³ PEE LASA INS.09 EPA 6020, 6020A, APHA 3125 *
13	SILICE	mg/l SiO ₂	<5	± 13%	³ PEE LASA FQ 16 APHA 4500-SiO ₂ C *
14	SODIO	mg/l	11534,33	± 17,89%	³ PEE LASA INS.09 EPA 6020, 6020A, APHA 3125 *
15	SULFATOS	mg/l	1655	-	³ PEE LASA FQ 09a APHA 4500-SO ₄ E *

Los ensayos marcados con * NO están incluidos en el alcance de acreditación del SAE
Los ensayos marcados con (b) NO están incluidos en el alcance de acreditación de AZLA.
Los ensayos marcados con (a) ESTÁN incluidos en el alcance de acreditación de AZLA.

QUIM. PABLO SAAVEDRA
JEFE DE DEPARTAMENTO

Prohibida la reproducción parcial por cualquier medio sin permiso por escrito del laboratorio.
LASA se responsabiliza exclusivamente del resultado correspondiente a los ensayos en la muestra recibida en el laboratorio.
Los criterios de conformidad serán emitidos voluntariamente a el cliente lo solicita por escrito.
El laboratorio se compromete con la Integridad y Confidencialidad de la información y los resultados (la aceptación de este informe implica la aceptación de la política relativa al tema y declarada en www.laboratoriolasa.com)

ANEXOS



Anexo 1. Visita a la JAAPMAN en Manglaralto.



Anexo 2. Reunión con la Vicepresidenta del GAD de Manglaralto y la Presidenta de la JAAPMAN del actual periodo.



Anexo 3. Distribución de agua a los habitantes de Manglaralto a través de tanqueros.



Anexo 4. Habitantes recibiendo el agua a través de tanqueros.



Anexo 5. Visita a la Planta de Ol en Galapesca.



Anexo 6. Visita al Sistema de Ol en Galapesca.



Anexo 7. Evaluación del agua producto y agua de rechazo en Planta de OI en Galapesca.



Anexo 8. Evaluación de los diferenciales de presión en la Planta de OI en Galapesca.