



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA LA
DESALINIZACIÓN DE AGUA DE MAR
APLICABLES EN LA ISLA UNIÓN, SAN VICENTE Y
LAS GRANADINAS

TESIS

Para obtener el título de:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A:

Gregory Rossello Dwayne Huggins

D I R E C T O R:

M en I. Cristian Emmanuel González Reyes



MÉXICO, D.F.

Enero, 2014



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
COMITÉ DE TITULACIÓN
FING/DICyG/SEAC/UTIT/177/2013

Señor
GREGORY ROSSELLO DWAYNE HUGGINS .
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor M.I. CRISTIAN EMMANUEL GONZÁLEZ REYES que aprobó este Comité, para que lo desarrolle usted conforme a la opción I. "Titulación mediante tesis o tesina y examen profesional", para obtener su título en INGENIERIA CIVIL

"EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA LA DESALINIZACIÓN DE AGUA DE MAR APLICABLES EN LA ISLA UNIÓN, SAN VICENTE Y LAS GRANADINAS "

INTRODUCCIÓN

I. LA ISLA UNIÓN

II. LA DESALINIZACIÓN

III. OTRAS ALTERNATIVAS PARA SUMINISTRAR AGUA POTABLE

IV. ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS CONSIDERADAS

V. CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFÍA

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria a 22 de Noviembre de 2013

EL PRESIDENTE DEL COMITÉ

M. EN I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ

JLTS/MTH

Agradecimientos

A Dios por su fortaleza y por guiarme en mi camino.

A mis padres; Calvert y José, a mi hermano; Jon, por permanecer siempre junto a mí, apoyándome incondicionalmente, por su cariño y buen ejemplo.

A mi asesor; Cristian Emmanuel González Reyes, por sus valiosa enseñanza y paciencia durante el semestre que fue mi profesor, en el que tuve la fortuna de conocerlo y después fue una guía clave de motivación para concluir mis estudios de licenciatura, así como, éste trabajo de tesis.

A Delia Henry y Asram Soleyn; por su apoyo en momentos clave brindándome confianza para no abandonar o rendirme en mis estudios profesionales, recordándome que: Rendirme no es una opción.

A las personas que de alguna manera se cruzaron en mi vida y que dejaron huella para poder llegar a este momento, ya que sin ustedes, no hubiera sido posible completar éste ciclo de mi desarrollo.

A Danroy Ballantyne y Vialé Richards de la Unidad de Recursos Hídricos de la “Central Water & Sewerage Authority” de San Vicente y las Granadinas, por su ayuda con las pruebas físico químicas en el laboratorio de dicha unidad y proporcionar los datos de calidad de agua de las fuentes subterráneas de la isla Unión.



Gregory Rossello Dwayne Huggins



Enero, 2014

Evaluación de alternativas para la desalinización de agua de mar aplicables en la isla Unión, San Vicente y las Granadinas



TESIS

Que para obtener el título
Ingeniero Civil

Facultad de Ingeniería

Director: M en I Cristian Emmanuel
González Reyes

Contenido

Introducción.....	1
Objetivo	1
Alcances.....	2
1. La isla Unión	3
1.1 Características del medio físico.....	3
1.1.1 Ubicación	3
1.1.2 Geomorfología y geología	5
1.1.3 Hidrogeología.....	6
1.1.3.1 La unidad de acuífero aluvial.....	7
1.1.3.2 La unidad de piroclastos mixtos	7
1.1.3.3 La unidad de roca volcánica andesita.....	8
1.1.4 Clima.....	8
1.2 Características socioeconómicas.....	9
1.2.1 Población	9
1.2.2 Educación.....	9
1.2.3 Vías de comunicación	9
1.2.5 Servicios públicos.....	10
1.2.5.1 Electricidad	10
1.2.5.2 Teléfonos	10
1.2.6 Actividades económicas.....	10
1.2.6.1 Pesca	10
1.2.6.2 Turismo	10
1.2.6.3 Construcción.....	12
1.3 Situación actual	12
1.3.1 Marco jurídico en materia de agua.....	12
1.3.2 Fuentes de agua	14
1.3.2.1 Agua subterránea/pozos.....	14
1.3.2.2 Agua de lluvia	17
1.3.2.3 Agua trasladada.....	19
1.3.3 Patrones de consumo.....	20
1.3.4 Calidad de agua	20
1.3.4.1 Características microbianas	20
1.3.4.2 Características físicas y organolépticas	21
1.3.4.3 Características químicas.....	21
1.3.4.4 Clasificaciones del agua según la concentración de SDT	22
1.3.4.5 Calidad de fuentes existentes de agua en la isla Unión.....	23
1.3.4.5.1 Pruebas realizadas e información recopilada	23
1.3.4.5.2 Resultados de pruebas realizadas e información recopilada	26
1.4 Situación futura	28
1.4.1 La vida útil.....	28
1.4.2 El periodo de diseño	29
1.4.3 Proyecciones de población.....	29
1.4.3.1 El método aritmético	29
1.4.3.2 El método geométrico.....	30
1.4.3.3 Resultados de la proyección de población.....	30
1.4.4 Proyecciones de demanda	31

2 La Desalinización	35
2.1 ¿De qué se trata?	35
2.2. Historia	35
2.3 Métodos	37
3.3.1 <i>Tecnologías de membranas</i>	38
2.3.1.1 Electrodialisis y electrodialisis reversible	38
2.3.1.2 Nanofiltración	40
2.3.1.3 Ósmosis inversa	41
3.3.2 <i>Tecnologías termales</i>	43
2.3.2.1 Destilación súbita multietapa	43
2.3.2.2 Destilación multiefecto	44
2.3.2.3 Compresión de vapor	45
2.3.2.4 Desalinización termal a baja temperatura	46
2.3.2.5 Destilación solar	47
2.3.2.6 Congelación en vacío	48
2.3.2.7 Congelación usando un refrigerante secundario	49
2.3.2.8 Formación de clatratos	50
3.3.3 <i>Tecnología de intercambio de iones</i>	52
2.4 Situación presente/ estado del arte	53
2.5 Limitaciones	55
2.6 Costos	56
2.6.1 <i>Ósmosis inversa</i>	57
2.6.1.1 Costos capitales	57
2.6.1.2 Costos de operación	58
2.6.1.3 Costos resumidos de la ósmosis inversa	59
2.6.2 <i>Destilación solar</i>	60
2.6.2.1 Costos capitales	60
2.6.2.2 Costos de operación	64
2.6.2.3 Costos resumidos de la destilación solar	65
3 Otras alternativas para suministrar agua potable	66
3.1 Captación de agua subterránea	66
3.1.1 <i>Elementos requeridos</i>	66
3.1.2 <i>Limitaciones</i>	66
3.1.3 <i>Costos</i>	67
3.2 Captación de agua de lluvia	67
3.2.1 <i>Elementos requeridos</i>	67
3.2.2 <i>Limitaciones</i>	68
3.2.3 <i>Costos</i>	68
3.3 Traslado de agua desde otros sitios	68
3.3.1 <i>Elementos requeridos</i>	69
3.3.2 <i>Limitaciones</i>	69
3.3.3 <i>Costos</i>	70
3.3.3.1 Costos capitales	70
3.3.3.2 Costos de operación	71
3.3.3.2 Costos resumidos del traslado de agua	72
4. Análisis y comparación de las alternativas consideradas	73

5 Conclusiones	76
Apéndice 1	77
Apéndice 2	80
Apéndice 3	86
Apéndice 4	98
Fuentes	106
Bibliografía	106
Ciberografía	108

Índice de figuras

Figura 1 Mapa del Caribe	3
Figura 2 Mapa de San Vicente y las Granadinas	4
Figura 3 Mapa de la isla Unión	4
Figura 4 Vista de Clifton, isla Unión desde el mar.	5
Figura 5 Vista aérea de Ashton, isla Unión	5
Figura 6 Diagrama de unidades hidrogeológicas de la isla Unión.....	7
Figura 7 Gráfica de porcentaje de visitantes a la Unión por categoría	12
Figura 8 Diagrama de ubicación de pozos en la isla Unión	16
Figura 9 El pozo “Top Well”, ubicado en Ashton	16
Figura 10 Área de captación de agua de lluvia ubicado al lado del hospital.....	18
Figura 11 Área de captación de agua de lluvia ubicada al lado del hospital con vista de la zona de almacenaje y conexiones.	18
Figura 12 Jaden T, uno de los barcos capaces de trasladar pipas de agua y otros vehículos.....	19
Figura 13 Zona de Muestreo del agua del mar, Cambell, isla Unión con vista de Frigate Rock y la estrada artificial.	23
Figura 14 Equipo para la prueba Coliscan Easygel.....	24
Figura 15 Vertiendo la mezcla de agua con medio coliscan a la caja petri	25
Figura 16 Realización de pruebas fisicoquímicas en la Unidad de Recursos del Agua, CWSA	25
Figura 17 Resultados de prueba Coliscan Easygel para agua de lluvia captada en Clifton	26
Figura 18 Resultados de prueba Coliscan Easygel para agua del mar recogida en Cambell	27
Figura 19 Esquema general del proceso de desalinización.....	35
Figura 20 Marineros antiguos empleando destilación del agua del mar	36
Figura 21 Esquema de la electrodiálisis.....	39
Figura 22 Aparato de electrodiálisis demostrando cell stacks.....	39
Figura 23 Aparato de nanofiltración.....	41
Figura 24 Esquema del ósmosis y ósmosis Inversa.....	42
Figura 25 Destilación súbita multietapa (MSF).....	44
Figura 26 Destilación multiefecto (MED) con evaporadores horizontales	45
Figura 27 Compresión de vapor (VC).....	46
Figura 28 Esquema de destilación termal a baja temperatura	47
Figura 29 Esquema de destilación solar	48
Figura 30 Congelación en vacío (VFD)	49
Figura 31 Esquema del proceso SRF	50
Figura 32 Diagrama de molécula de metano envuelto por “cage” de moléculas de agua.	51
Figura 33 Esquema de formación de clatratos	51
Figura 34 Esquema de intercambio de iones.....	52
Figura 35 Gráfica de la producción mundial de plantas de desalinización en por ciento por región.....	54
Figura 36 Gráfica de la capacidad global de plantas de desalinización por tipo de tecnología	55
Figura 37 Esquema de las instalaciones propuestas para la destilación solar.	62
Figura 38 Diagrama de las instalaciones propuestas para la destilación solar.	64

Figura 39 Gráfica de los costos capitales totales en dólares americanos	73
Figura 40 Gráfica de los costos totales de operación en dólares americanos	74

Índice de Tablas

Tabla 1: Promedio anual de visitantes a la isla Unión por categoría	11
Tabla 2: Pozos existentes en la isla Unión antes de 2007 y sus características físicas.....	14
Tabla 3 Relación entre la palatabilidad y SDT.....	22
Tabla 4 Clasificación de agua según su concentración de SDT	22
Tabla 5 Resultados de pruebas realizadas en aguas superficiales	27
Tabla 6 Resultados de conductividad eléctrica promedio anual de varios sitios en la isla Unión.....	27
Tabla 7 Resultados de pH promedio anual de varios sitios en la isla Unión	28
Tabla 8 Resultados de la proyección de población.....	32
Tabla 9 Resultados de la proyección de demanda total anual	33
Tabla 10 Resultados de la proyección de demanda total diaria	34
Tabla 11 Costos asociados con la desalinización por ósmosis inversa.....	59
Tabla 12 Costos asociados con la desalinización por Destilación Solar	65
Tabla 13 Costos asociados con el traslado del agua	72
Tabla 14 Número de visitantes anuales a la Isla Unión por categoría	77
Tabla 15 Proyecciones de demanda anuales en galones americanos a la Isla Unión	79
Tabla 16 Resultados de conductividad eléctrica en $\mu\text{s}/\text{cm}$ de varios sitios en la isla Unión para el año 2009	80
Tabla 17 Resultados de conductividad eléctrica en $\mu\text{s}/\text{cm}$ de varios sitios en la isla Unión para el año 2010	81
Tabla 18 Resultados de conductividad eléctrica en $\mu\text{s}/\text{cm}$ de varios sitios en la isla Unión para el año 2011	82
Tabla 19 Resultados de pH de varios sitios en la isla Unión para el año 2009.....	83
Tabla 20 Resultados de pH de varios sitios en la isla Unión para el año 2010.....	84
Tabla 21 Resultados de pH de varios sitios en la isla Unión para el año 2011.....	85
Tabla 22 Costos de artículos de limpieza, filtros y químicos utilizados en la ósmosis inversa.....	88
Tabla 23 Costos de electricidad asociados con la planta de ósmosis inversa.....	89
Tabla 24 Salarios de los operadores de la planta de ósmosis inversa	90
Tabla 25 Salarios del supervisor de la planta de ósmosis inversa.....	91
Tabla 26 Costos de losa asociada a la destilación solar.....	92
Tabla 27 Costos de muros asociados a la destilación solar	92
Tabla 28 Costo de techo y lados de aluminio y policarbonato asociados a la destilación solar	92
Tabla 29a Costos asociados a las bombas del destilador solar.....	93
Tabla 29b Costos asociados al reemplazo de las bombas del destilador solar	93
Tabla 30 Salarios del supervisor del destilador solar.....	94
Tabla 31 Salarios del operador del destilador solar	95
Tabla 32 Salarios de los trabajadores de limpieza del destilador solar	96
Tabla 33a Consumo de energía eléctrica asociado a la opción del destilador solar	97
Tabla 33b Costos de electricidad asociados a la opción del destilador solar.....	97
Tabla 34 Costos asociados a los tanques de almacenamiento para la opción del traslado de agua	98
Tabla 35 Costos asociados a la iluminación para la opción del traslado de agua	98

Tabla 36 Salarios del capitán del barco	99
Tabla 37 Salarios de los ayudantes del barco	100
Tabla 38 Salarios del supervisor	101
Tabla 39 Salarios de los ayudantes generales	102
Tabla 40 Salarios del encargado de mantenimiento	103
Tabla 41a Consumo de combustible del barco.....	104
Tabla 41b Costos de combustible asociados con el barco	104
Tabla 42a Consumo de electricidad asociado con el traslado de agua	105
Tabla 42b Costos de electricidad asociados con el traslado de agua	105

Introducción

La Isla Unión es una parte del país de San Vicente y las Granadinas que se encuentra a 43 kilómetros al sur de la isla principal. Tradicionalmente sus habitantes han obtenido agua dulce de la captación de lluvia y a partir de unos cuantos pozos que se encuentran en varias partes de la isla. Sin embargo, debido a la intrusión salina el agua subterránea ya no se ocupa como fuente de agua para consumo humano. Esto sumado a las sequías que se presentan con más frecuencia, sobretodo en los últimos 15 años, implica la necesidad de una fuente confiable de agua dulce para el abastecimiento de agua potable a la población de esta isla. Además hay que considerar la necesidad que implica el sector turismo, mismo que ha experimentado un crecimiento durante las dos últimas décadas. En el capítulo 1 se exploran las características del medio físico, socioeconómicas, situación actual y situación futura, con el propósito de tener un panorama amplio de la isla Unión.

Tomando en cuenta la necesidad planteada, se decidió identificar y analizar, comparándose entre sí, posibles fuentes de suministro de agua dulce para su posterior potabilización y entrega a la población. Las principales fuentes identificadas son: la desalinización del agua del mar, la captación de agua de lluvia, la captación de agua subterránea y el traslado de agua de otro sitio.

En el capítulo 2 se desarrolla la desalinización, explorando su historia, métodos disponibles, el estado del arte en el mundo, sus limitaciones y los costos asociados con dos de los métodos que se identifican como posibles opciones para suministrar agua dulce a la isla Unión. En el capítulo sucesivo se analizan las alternativas, distintas a la desalinización, tomando en cuenta los elementos requeridos, las limitaciones y los costos asociados a cada alternativa.

Posteriormente, en el cuarto capítulo, se comparan técnica y económicamente las distintas alternativas, para luego, en el quinto capítulo, presentar las conclusiones.

Objetivo

Determinar la viabilidad del uso de desalinización de agua de mar para el suministro continuo de agua potable a la población de la isla Unión, evaluando las características técnicas y económicas de alternativas disponibles.

Alcances

Con este trabajo se pretende determinar la viabilidad del uso de la desalinización como proceso de tratamiento para la generación de agua dulce a suministrar a la población de la Isla Unión. Además, en caso de que resulte ser una opción viable, determinar algunos datos básicos para la realización potencial de un proyecto de desalinización en la isla.

Este documento no incluye el diseño de los procesos ni de la infraestructura requerida para la potabilización, tampoco de los sistemas requeridos para la distribución del agua.

Dado que no se contaba con los recursos necesarios para llevar a cabo la determinación de todos los parámetros indicados en la NOM-127-SSA-2000, para el caso de México y particularmente en el caso de San Vicente de las guías de la Organización Panamericana de Salud (OPS), solamente se determinaron: SDT, pH, Coliformes Fecales, parámetros considerados, al momento de realizar el muestreo, como indicadores del estado de conservación de las fuentes disponibles.

1. La isla Unión

1.1 Características del medio físico

1.1.1 Ubicación

La isla Unión se ubica a 43 kilómetros al sur de la isla principal del país de San Vicente y las Granadinas, localizado al sur de las Antillas menores, entre Santa Lucía, al norte Granada al sur, con Barbados al este.



Figura 1 Mapa del Caribe
(Fuente: Google Earth)



Figura 2 Mapa de San Vicente y las Granadinas.
(Fuente: Google Earth)



Figura 3 Mapa de la isla Unión
(Fuente: Google Earth)

1.1.2 Geomorfología y geología

La Isla Unión tiene una extensión superficial de 8.3 kilómetros cuadrados. Sus puntos más altos están a una cota aproximada de 1000 pies sobre el nivel del mar, dichos puntos se encuentran hacia el centro de la isla. La mayor parte de la isla consiste de terreno inclinado con muy poco espacio plano, tal como se aprecia en las ilustraciones 4 y 5.



Figura 4 Vista de Clifton, isla Unión desde el mar.



Figura 5 Vista aérea de Ashton, isla Unión.

Debido a la topografía, no se presentan ríos ni arroyos u otros flujos superficiales naturales. Sin embargo, en la zona de Richmond, a una elevación de 15m, se ha identificado un pequeño lago, el cual tiene asignado el código 11210003 por el organismo a cargo de los recursos hídricos del país (ver figura 7). Al parecer este lago es alimentado por un acuífero local y representa la única fuente superficial de agua dulce presente en la isla.

Así como otras islas de las Granadinas, Unión fue formada por actividad volcánica y de hecho es parte de las cimas expuestas de una cadena de montañas volcánicas sumergidas (Plan and Policy for a System of National Parks and Protected Areas in Grenada and Carriacou 1993). Por eso, a pesar de tener en las playas arena blanca de origen coral, solamente se presentan suelos volcánicos en la isla.

El material de suelo y roca presente en la Isla se puede clasificar en tres tipos: roca volcánica andesita, piroclastos mixtos, depósitos aluviales. A continuación se realiza una breve descripción de cada tipo.

Andesita fracturada se encuentra en el centro de la isla en forma de los picos altos. Los piroclastos constituyen la mayor parte de material volcánico presente en la isla y sus formaciones son fáciles de reconocer por su color rojo. Los depósitos aluviales se concentran principalmente en el valle de Ashton, aunque se presentan en otras áreas bajas alrededor de la costa.

1.1.3 Hidrogeología

En la isla Unión se consideran tres unidades de acuíferos, correspondientes a los tipos de material de suelo y roca presentes: la unidad aluvial, la unidad piroclasto mixto y la unidad de roca volcánica. En la figura 6 se aprecia, por medio de un diagrama, la ubicación de estas unidades.

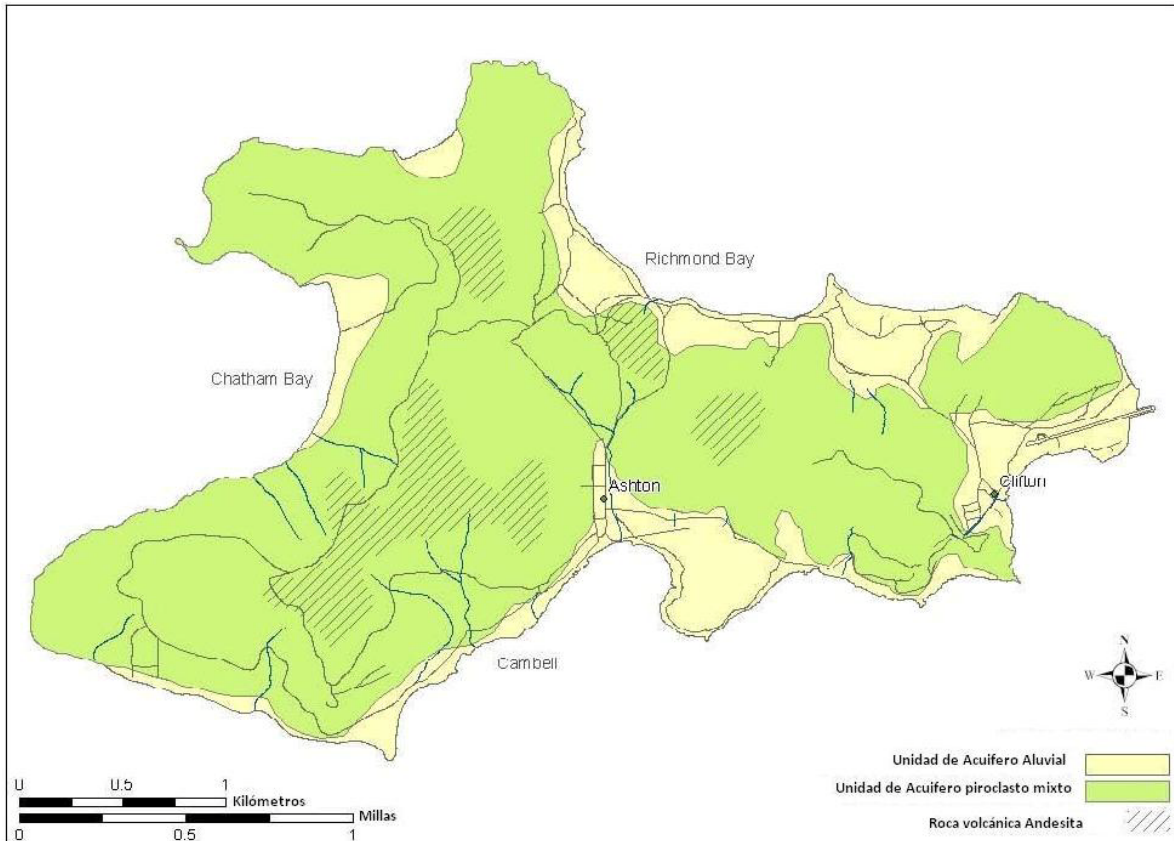


Figura 6 Diagrama de unidades hidrogeológicas de la isla Unión
 (Fuente: Modificada de National Water Resource Management Study, St Vincent & the
 Grenadines, Hydrogeological Report)

1.1.3.1 La unidad de acuífero aluvial

Los depósitos aluviales que se encuentran en los valles principales representan la única unidad significativa de acuífero en la isla. Se estima que esta unidad ocupa 20% del área superficial total. Sin embargo, debido a su proximidad al mar y pequeñas extensiones horizontales, su potencial como fuente de agua potable se reduce a causa de la intrusión salina. El valle que se encuentra en Ashton, por su tamaño y patrón de drenaje, ha sido identificado como la zona más prometedora para proveer agua subterránea.

1.1.3.2 La unidad de piroclastos mixtos

Se ha demostrado en estudios geológicos que los piroclastos mixtos en la isla tienden a tener un alto contenido de arcillas, lo cual reduce la potencial formación de acuíferos. Sin embargo,

dependiendo del contenido de arcilla y ceniza de este material, en ciertos puntos se pueden presentar fuentes locales de agua subterránea y, por lo tanto, se considera como un acuífero pobre.

Se estima que esta unidad tiene una extensión lateral del 70% del área superficial de la isla Unión.

1.1.3.3 La unidad de roca volcánica andesita

La roca volcánica andesita suele ser densa y masiva, sin fracturas abiertas y poros interconectados, características que le confieren una permeabilidad y porosidad muy baja y por ello se considera como un acuífero pobre. Sin embargo, se considera que existen algunas zonas en la isla donde se presenta el potencial para la existencia de agua subterránea, tal como Water Rock Reserve en Chatham Estate y Mount Olympus.

Se estima que esta unidad ocupa el 10% del área superficial de la isla Unión. Cabe mencionar que esta unidad ocupa una extensión mayor, ya que gran parte de ésta se encuentra por debajo de la unidad de piroclastos mixtos, lo cual no permite determinar con exactitud su extensión actual.

1.1.4 Clima

El clima de la isla Unión es tipo tropical marítimo. Típicamente se presentan dos estaciones en el año; la estación seca, que suele ocurrir de enero a mayo; y la estación de lluvias, que coincide con el periodo de huracanes, es decir de junio a diciembre.

En Unión, debido a su extensión pequeña y terreno de baja altura, por lo general no se presentan lluvias orográficas, como sucede en la isla principal de San Vicente. Desafortunadamente, cuando se hizo la investigación, no estaban en funcionamiento aparatos para la medición de precipitación. Razón por la cual, no existen datos confiables respecto a cantidad de lluvia que recibe la isla durante el año. Sin embargo, según información contenida en el “Plan and Policy for a System of National Parks and Protected Areas in Grenada and Carriacou”, elaborada por el gobierno de Granada, en las islas pequeñas de las Granadinas, las cuales incluyen a la isla Unión, la precipitación anual presenta valores de entre 127 y 177.8 cm.

La temperatura promedio anual es de 26.7°C, con una máxima de 33°C. Se presenta poca variación de temperatura entre diferentes ubicaciones, día y noche y estacional, ya que el océano y los vientos provenientes del noreste tienen el efecto de estabilizarla.

Respecto a la humedad no se cuenta con registros.

1.2 Características socioeconómicas

1.2.1 Población

Según censos realizados por la oficina de censos y estadísticas del gobierno de San Vicente y las Granadinas, la población total de la isla Unión en el año 1980 fue de 1646 personas, 1928 personas en el año 1991 y en el año 2001, 1935 personas.

Se realizó otro censo en el año 2011, sin embargo, durante el primer trimestre del año 2012, hubo la mala fortuna de que todos los datos recopilados se perdieron en un incendio de la oficina de censos y estadísticas.

Cabe mencionar que durante su festival anual, conocido como Easterval, que se lleva a cabo durante la semana santa, la isla experimenta un aumento significativo en su población. No existen cifras oficiales de este incremento, sin embargo, se estima que en promedio entre 1000 y 1200 personas visitan la isla durante este festival. En general la Isla experimenta aumentos en su población debido al turismo, esto se analizará con mayor detalle en la sección 1.2.6.2. Turismo.

1.2.2 Educación

La isla unión cuenta con dos escuelas primarias, cada una con una capacidad máxima para 150 alumnos, y una escuela secundaria con capacidad máxima de 320 alumnos. Por lo general los habitantes asisten a la primaria en la isla Unión y la práctica común es mandar a los estudiantes de nivel secundaria a escuelas en la isla principal de San Vicente. Para estudios medios superiores y superiores es necesario ir a la isla principal.

1.2.3 Vías de comunicación

La isla Unión cuenta con un puerto marítimo en el poblado de Clifton donde recibe la mayor parte de sus insumos y a las personas que llegan a la isla.

En Clifton también se encuentra el aeropuerto de la isla. Tiene una pista de 2500 pies de largo, lo que permite acomodar aviones ligeros, tales como el De Haviland Twin Otter. En promedio se presentan 1600 movimientos de aviones por año, entendiéndose por movimiento a un aterrizaje o un despegue.

La isla cuenta con aproximadamente 40 km de caminos pavimentados distribuidos en su extensión.

1.2.5 Servicios públicos

1.2.5.1 Electricidad

El servicio de electricidad en la isla está bajo el cargo de la paraestatal *St Vincent Electricity Services Ltd* (VINLEC) que tiene la responsabilidad de generar y suministrar servicios eléctricos a la población de San Vicente y las Granadinas. En la actualidad opera una planta generadora con capacidad de 1320kW que usa diesel. Sin embargo, existen planes de aumentar esta capacidad 210kW en los próximos 5 años.

La isla cuenta con 1124 conexiones distintas al servicio de electricidad, estas son responsables de un consumo mensual promedio de 195,820 kW/h, según VINLEC.

1.2.5.2 Teléfonos

La compañía privada *Lime* es el proveedor principal de líneas telefónicas fijas en la isla Unión, cuenta aproximadamente con 400. La isla Unión, como el resto del mundo, ha sido testigo del auge en el uso de celular, sin embargo, no existen datos oficiales que indiquen el nivel de cobertura.

1.2.6 Actividades económicas

1.2.6.1 Pesca

La pesca en la isla Unión, como en el resto de las Granadinas, es una actividad tradicional. Debido a la cercanía con arrecifes de coral, principalmente se pescan mariscos como langostas y caracoles marinos. Los pescadores suelen vender la mayor parte de sus productos a los hoteles y restaurantes de la isla y de las islas cercanas.

1.2.6.2 Turismo

El turismo es una de las principales actividades económicas en la isla e impacta en alguna forma u otra sobre la vida de todos sus habitantes. En la isla existen varios tipos de alojamientos, desde posadas hasta hoteles de lujo. La isla Unión sirve de enlace para el hospedaje en hoteles que se encuentran en islas cercanas, tales como Petit San Vicente y la isla Palm.

Con base en datos provenientes de la Autoridad del Turismo del país para el periodo de 2001 a 2012, el promedio anual de visitantes que se hospedan en la isla Unión es de 4608. Esta cifra

representa el nueve por ciento del promedio anual de todos los visitantes a la isla, como se indica en la figura 7. En la tabla 9 del apéndice 1 se pueden consultar los datos anuales a detalle.

El alojamiento no es el único aspecto del turismo que se presenta en la isla, ésta sirve como un punto de partida para muchos turistas que solo vienen durante el día para tomar excursiones al parque marino de Tobago Cays, sitio que se puede observar al norte durante días soleados. En promedio la isla recibe 5,370 excursionistas al año, lo cual representa el diez por ciento de todos los visitantes a la isla, tal como se muestra en la figura 7. Cabe mencionar que aunque el valor promedio de visitantes es alto la tendencia es a la baja, sobre todo a partir del año 2005. Para mayor detalle consultar la tabla 9 del apéndice 1.

También el sector de yates juega un papel muy importante en el turismo de la isla Unión, ya que es responsable de aproximadamente el 32 por ciento de los visitantes recibidos, con un valor promedio anual de 17,324 turistas. Los visitantes de esta categoría representan un factor importante en el uso de recursos hídricos en la isla, ya que, adicional al agua que consumen, normalmente abastecen sus yates con agua potable, aunque no suelen hospedarse en la isla.

De todas las categorías, el sector de cruceros presenta el número mayor de visitantes, con un valor promedio anual de 26,256 visitantes, que equivalen al 49 por ciento. A pesar de tener un valor tan elevado, comparado con las otras categorías, no tiene un impacto mayor en cuestiones de agua potable, ya que implica el ingreso de personas por cuestiones de inmigración que a menudo no permanecen más de dos horas en la isla.

Con base en los registros de los años 2001 a 2012, en la tabla 1 se muestran datos de los promedios anuales, por categoría, de visitantes a la isla Unión. Para los datos anuales actuales consultar la tabla 14 en el apéndice 1.

Tabla 1: Promedio anual de visitantes a la isla Unión por categoría
(Fuente: elaboración propia con base en datos otorgados por la Autoridad del Turismo de San Vicente y las Granadinas)

Categoría de Visitantes	Promedio Anual de Visitantes
Huéspedes	4,608
Excursionistas	5,370
Yates	17,324
Cruceros	26,256
Total	53,558

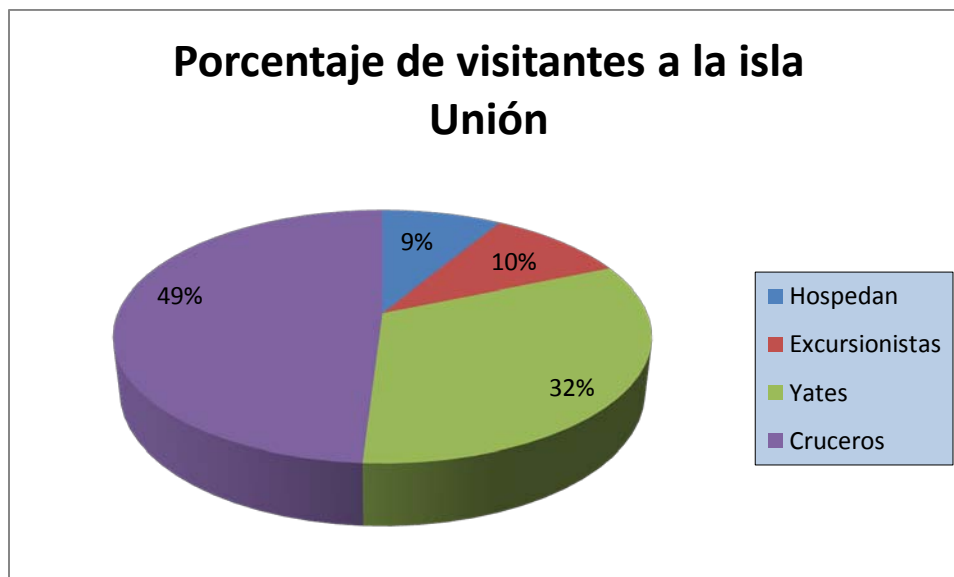


Figura 7 Gráfica de porcentaje de visitantes a la Unión por categoría

(Fuente: Elaboración propia con base en datos de la Autoridad del Turismo de San Vicente y las Granadinas.)

1.2.6.3 Construcción

Durante la primera década del tercer milenio la industria de la construcción ha experimentado un auge en todas las islas de las Granadinas. En la isla Unión este auge se debe principalmente al regreso de paisanos que migraron a países como Inglaterra, Canadá y los Estados Unidos de América, al jubilarse de sus trabajos en estos países. Al regresar requieren casas, empiezan negocios etc., los cuales requieren la construcción de nueva infraestructura. También hay un porcentaje de extranjeros que han migrado a la isla Unión convirtiéndola en su hogar.

1.3 Situación actual

1.3.1 Marco jurídico en materia de agua

Ni la Constitución de San Vicente y las Granadinas, ni la demás Legislación incluyen en su contenido secciones dedicadas en su totalidad al agua. La Constitución ni lo menciona, sin embargo, dentro de las leyes del país se encuentran artículos o secciones que abordan el tema de manera directa e indirecta. A continuación, se establecen las leyes relevantes al objetivo de este trabajo describiendo brevemente cada una.

The Central Water and Sewerage Authority Act 1991. Esta ley establece las competencias de *La autoridad central de agua y alcantarillado (CWSA, por sus siglas en inglés)*, organismo equivalente

a la Comisión Nacional de Agua de México. Además indica que dicho organismo es responsable de la investigación de los recursos hídricos del país y aconseja al gobierno respecto a su preservación, administración y mejoramiento. También dicta que la CWSA tiene la responsabilidad de monitorear tanto las aguas superficiales como subterráneas para determinar la existencia de contaminación y determinar sus causas.

The Public Health Act 1977. Esta ley desglosa las funciones y tareas que se encuentran bajo el cargo del *Departamento de Salud Pública de San Vicente y las Granadinas*. Según esta Ley la función principal de este Departamento es promover la salud pública y la prevención, limitación y eliminación de enfermedades transmisibles y prevenibles en el país.

Bajo la sección 91 de esta Ley dicho Departamento tiene la autoridad en materia de pozos u otras fuentes de agua, que probablemente será ocupada para consumo humano u otros usos domésticos.

Adicionalmente el epígrafe X de esta ley estipula que es la obligación de todas las autoridades de salud tomar las medidas legales, necesarias y prácticas para prevenir la contaminación a cualquier fuente de agua utilizada por el público para consumo humano y uso doméstico, además indica la responsabilidad de dichas autoridades de la purificación de cualquier fuente contaminada y las acciones legales correspondientes a las personas que causan tal contaminación.

The Environmental Health Services Act 1991. La Sección 10 de esta ley indica que no se construirá, alterará o reemplazará cualquier infraestructura que pueda liberar un contaminante a cualquier factor del ambiente sin antes contar con un certificado de permiso emitido por el Jefe de Salud ambiental. Tiene implicaciones, dentro del contexto de este trabajo, ya que se considera la salmuera como una fuente de contaminación. En el capítulo 2 de este trabajo se abarcará el tema de desalinización a detalle.

The National Parks Act 2002. Con base en esta ley se formó la Autoridad Nacional de Parques, Playas y Ríos que según la Sección 7 tiene el poder y control sobre todos los ríos, manantiales, pantanos, cascadas y playas en el país. Las funciones de esta autoridad son administrar y mantener todos los parques nacionales y los elementos del país mencionados anteriormente.

The Town and Country Planning Act 1992. Esta legislación estableció un Consejo de Desarrollo y Planeación Física que en su esencia funciona como la Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda del Distrito Federal. Tiene la tarea de analizar propuestas de desarrollos de infraestructura. Durante este proceso escudriña detalles como el diseño de edificios, planes para el desalojo de aguas residuales, etc. Esta ley tiene implicaciones para la construcción o desarrollo de cualquier fuente de abastecimiento de agua potable a la población de la isla Unión, ya que rige sobre la infraestructura requerida para tal provisión.

1.3.2 Fuentes de agua

1.3.2.1 Agua subterránea/pozos

Por varias décadas los habitantes de la isla han ocupado cinco pozos en la zona de Ashton y uno en Cambell. Sin embargo, el agua de estas fuentes ya no se ocupa para el consumo humano, ya que, debido a la intrusión salina, hoy en día presenta un sabor no agradable. Esta agua se ocupa principalmente para consumo de animales, la construcción y actividades de limpieza.

Los pozos se encuentran a distancias de entre 60 y 494 metros del mar, a elevaciones entre tres y trece metros. Sus profundidades varían entre tres y siete metros. Tienen un diámetro promedio de un metro y medio. El agua se encuentra a profundidades entre 1.6 y 4.6 metros (NWRMS Hydrogeological Report, 2009). En la tabla 1 se encuentra la información específica de cada uno de estos pozos. Esta incluye el nombre, coordenadas cartesianas, código asignado en el estudio de recursos hídricos y características físicas.

Tabla 2: Pozos existentes en la isla Unión antes de 2007 y sus características físicas
(Fuente: Modificada del NWRMS Hydrogeological Report, 2009)

Nombre	Código	Coordenadas X en m	Coordenadas Y en m	Elevación en m	Unidad de Acuífero	Diámetro en mm	Profundidad de Pozo en m	Profundidad de Agua en m
Ashton Pozo Público 1	11210001	461167	1392020	3	Aluvial	1500	3.1	1.57
Ashton Pozo Público2 (Top well)	11210002	460992	1392221	10	Aluvial	1500	5.7	3.07
Ashton Pozo Privado 1	11210004	460974	1392295	13	Aluvial	1500	6.9	4.6
Ashton Pozo Privado 2	11210005	461045	1392359	10	Aluvial	1500	N.D	N.D
Ashton Pozo Público3 (Bottom Well)	11210006	460945	1391891	7	Aluvial	1500	5.3	3.93
Pozo Cambell	11210007	459804	1390931	10	Aluvial	1500	3.2	1.93

Considerando la tabla anterior, entiéndase como profundidad de pozo a la distancia, desde el nivel de superficie del terreno hasta el fondo, mientras que la profundidad del agua se refiere a la distancia entre el nivel de superficie del terreno y el nivel de superficie del agua.

También existen dos pozos perforados en la zona de Ashton en el año 2008, que formaron parte de una investigación nacional, cuyo propósito fue determinar y catalogar los recursos hídricos del

país, acción que precedió al establecimiento de un organismo nacional independiente de la CWSA (responsable del manejo de tales recursos, funciones que ejerce la CONAGUA en México). Estos pozos tienen un rango de profundidad de perforación entre 27 y 35 m. La profundidad del agua en estos se encuentra entre ocho y trece metros.

Con base en pruebas de bombeo con abatimiento escalonado¹ realizadas en el año 2008 se estima que estos pozos permiten una extracción sustentable de entre 0.6m³/h y 2m³/h (NWRMS Hydrogeological Report, 2009).

Adicionalmente se realizaron pruebas de bombeo constante que permitieron determinar la conductividad hidráulica² y la transmisibilidad³.

Los valores de transmisibilidad de la unidad del acuífero investigado en la isla Unión varían entre 0.35 m²/día a 8.64 m²/día, mientras que los correspondientes valores de conductividad hidráulica varían entre 0.04 m/día y 0.43 m/día. Estos valores indican que el acuífero en esta región es poco productivo, ya que, según los lineamientos establecidos por la CONAGUA de México, para que un acuífero sea viable requiere un valor de transmisibilidad igual o mayor a 10 m²/día.

¹ En estas pruebas se extrae agua, bombeando gastos diferentes en intervalos fijos de tiempo. Se suele incrementar el gasto de bombeo conforme procede la prueba

² La conductividad hidráulica se conoce como el volumen de agua que escurre en cierto tiempo, sujeto a condiciones físicas específicas, y que circula a través de una sección de área unitaria perpendicular al sentido de flujo, bajo la influencia de un gradiente hidráulico unitario. Se mide en m/s o m/día.

³ La transmisibilidad se define como “la cantidad de agua que pasa a través de una sección vertical de un metro de ancho y altura igual al espesor saturado del acuífero, bajo un gradiente hidráulico unitario” (Perforación de Pozos, CONAGUA, 1994). Tiene unidades de m²/s o m²/día.

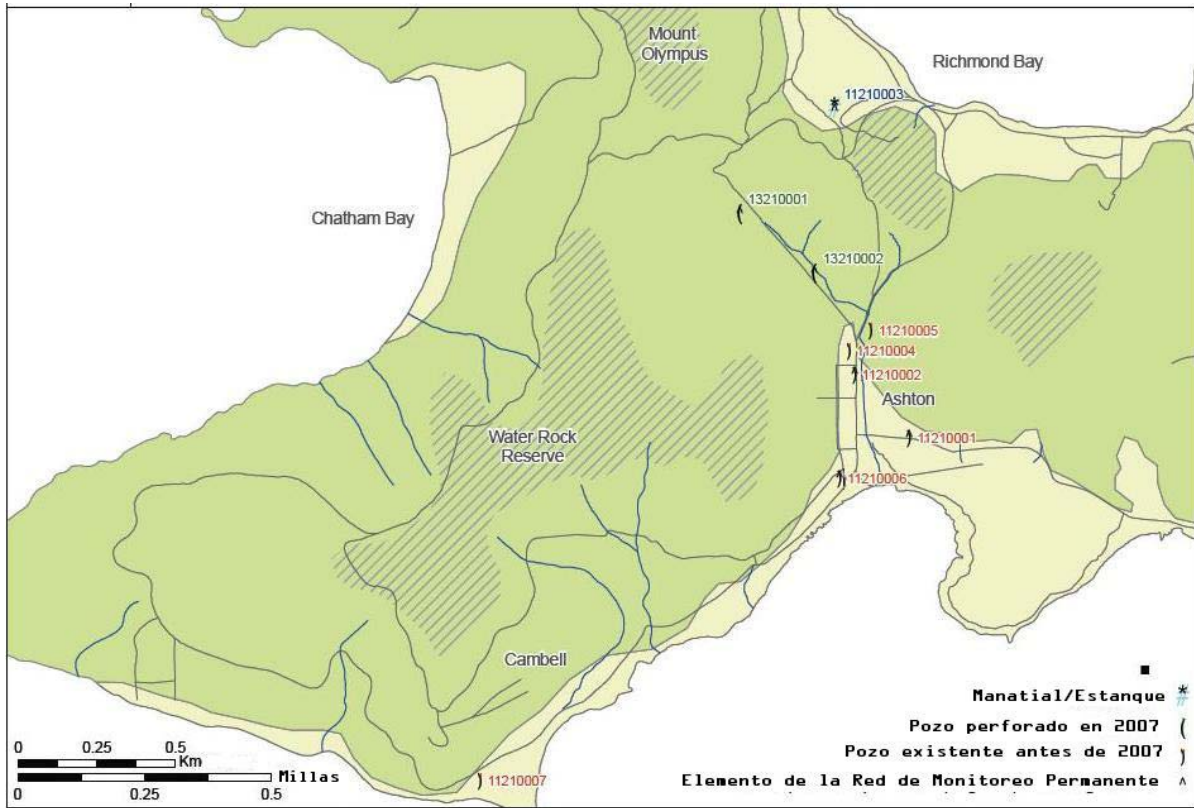


Figura 8 Diagrama de ubicación de pozos en la isla Unión
(Fuente: Modificada de NWRMS Hydrogeological Report 2009)



Figura 9 El pozo "Top Well", ubicado en Ashton

1.3.2.2 Agua de lluvia

El agua proveniente de la lluvia se ocupa por la población de la isla. Cuando cae sobre los techos es canalizada y dirigida a cisternas y/o tinacos elevados, estos se pueden observar afuera de muchas casas. 95% de las casas cuentan con cisternas mientras que el 50% cuenta con tinacos. El tamaño promedio de la capacidad de las cisternas es de 33m³, mientras que para los tinacos es de 4.6m³ (Socioeconomic Feasibility Study. Water Demand in the Grenadines, Draft Final Report. BCEOM 2005).

Según datos publicados en el censo nacional de 2001, desde los tanques se introduce el agua en los edificios a través de tuberías, en 30.7% de los edificios privados y en 1.2% de los edificios públicos. Cabe mencionar que en este censo se agrupan las Granadinas en dos denominaciones, las Granadinas del norte y las Granadinas del Sur. La isla Unión junto con las islas Canouan, Mayreau, Petit San Vicente y la isla Palm constituyen las Granadinas del Sur. Para las Granadinas del sur se encontró, a partir de este censo, que el 17% de las casas contaron con bombas para uso en sus sistemas hidrosanitarios. Adicionalmente se introduce el agua de manera manual empleando cubetas y otros recipientes, sobre todo en familias con escasos recursos.

También existen áreas públicas de captación en distintas ubicaciones, tales como en la iglesia Católica de San José y el área cercana al hospital en Clifton. Varios de estos lugares públicos ya tienen más de 20 años de operación y se encuentran en un estado de deterioro que sugiere falta de mantenimiento, lo que implica agua no apta para consumo humano. Por ejemplo el sitio de captación de las figuras 10 y 11 tuvo un poco más de 42 años en operación a la fecha de la fotografía.



Figura 10 Área de captación de agua de lluvia ubicado al lado del hospital



Figura 11 Área de captación de agua de lluvia ubicada al lado del hospital con vista de la zona de almacenaje y conexiones.

1.3.2.3 Agua trasladada

En tiempos de estiaje la práctica de trasladar agua en barco desde la isla principal de San Vicente hasta la isla Unión es común, sobre todo para los edificios que pertenecen al gobierno, tales como la comisaría de policía, el centro de salud, las escuelas, el aeropuerto, entre otros.

Durante el estiaje de 2011 se tuvo que recurrir a este método para llevar agua potable desde la isla principal de San Vicente a Bequia, otra isla de las Granadinas que se encuentra a 14.5 kilómetros al sur de San Vicente.

El director asistente de asuntos de las Granadinas del Gobierno de San Vicente y las Granadinas, Herman Belmar indicó que el traslado de agua costó \$5,000 XCD⁴, implicando el transporte de 33,000 galones de agua del puerto de Kingstown (San Vicente) al puerto de Port Elizabeth (Bequia), sin considerar el costo de transportar el agua al barco y luego su distribución. Como se ha descrito en la sección 1.1.1 Ubicación, la isla Unión se encuentra a una distancia de 43 kilómetros al sur de San Vicente, lo cual implica un costo aun mayor al costo de traslado.

Consultando a Bequia Express Ltd y Jaden Inc., dos compañías que operan barcos dentro del país de San Vicente y las Granadinas, con capacidad para llevar pipas de agua y otros vehículos, se obtuvieron cotizaciones por cada viaje, éstas son \$11,000XCD y \$9,000XCD, respectivamente.

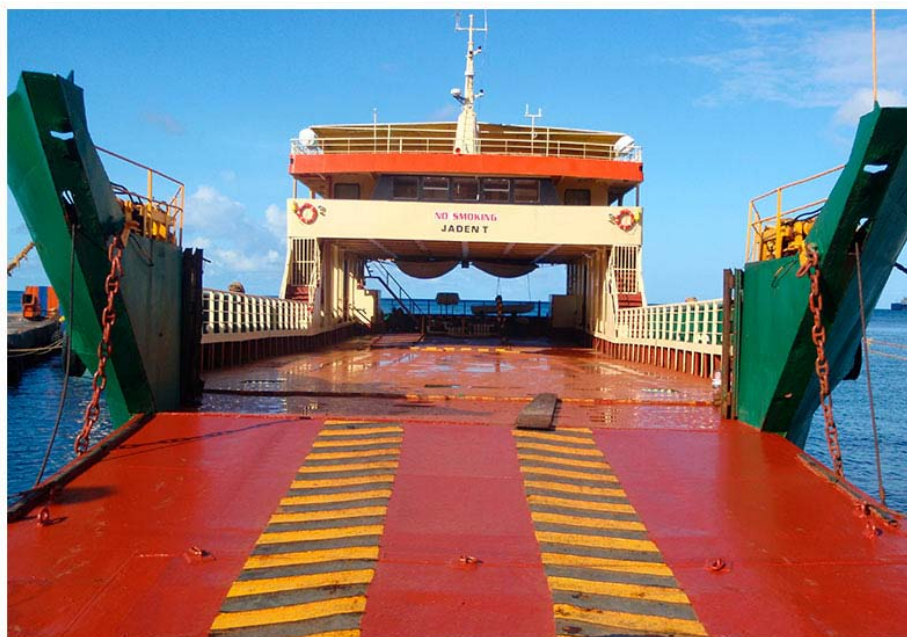


Figura 12 Jaden T, uno de los barcos capaces de trasladar pipas de agua y otros vehículos.
(Fuente: www.jadeninc.com)

⁴ XCD refiere al dólar del Caribe oriental que es la moneda oficial de San Vicente y las Granadinas y otros siete países que junto con las Islas Vírgenes Británicas forman la Organización de Estados del Caribe Oriental (OECS por sus siglas en inglés). 1XCD = 0.37 USD

1.3.3 Patrones de consumo

En la isla principal de San Vicente, donde el 98% de los clientes de la CWSA cuenta con un medidor de agua en funcionamiento, se ha determinado, con base en lecturas, un consumo promedio diario de entre 28 y 30 galones americanos por persona. Debido a la tendencia de ocupar agua embotellada para el consumo personal se espera que este rubro disminuya, tal como sucede en las otras islas de las Granadinas.

Cabe mencionar que la meta de la CWSA es que el consumo diario promedio se reduzca a un valor de entre 10 y 15 galones por persona, por ende el organismo mantiene una campaña constante para concienciar a los ciudadanos sobre la necesidad de disminuir el consumo de agua.

Con base en los resultados derivados del estudio socioeconómico realizado en las tres islas principales de las Granadinas en 2005 por la compañía BCEOM, se estimó que en la isla Unión, durante la temporada de lluvias, el consumo promedio diario, por persona, es de 23.1 galones, por otro lado, durante la estación seca, esta cifra baja a 18.2 galones.

1.3.4 Calidad de agua

Según el diccionario Real Academia Española la calidad es la propiedad o conjunto de propiedades inherentes a algo, que permiten juzgar su valor. En el caso de agua potable se suele emplear las siguientes propiedades para la determinación de su calidad: i) características microbianas, ii) características físicas y organolépticas, iii) características químicas y iv) características radioactivas. Para cada característica existen límites establecidos según el organismo o autoridad a cargo de agua potable para la región en consideración. Debido a que San Vicente y las Granadinas no cuenta con su propia legislación en temas de calidad de agua, dicho País se apega a las normas de la Organización Panamericana de Salud (OPS) y, por extensión, a la Organización Mundial de Salud (OMS). A continuación se describen brevemente las características mencionadas anteriormente.

1.3.4.1 Características microbianas

Las características microbianas se refieren a organismos patógenos como bacterias, virus y protozoos. Existe una amplia variedad de especies de organismos patógenos, sin embargo, los coliformes suelen ser los más comunes y por ende se les consideran en la mayoría de las normas y regulaciones referentes al agua potable.

Las unidades para cuantificar esta característica son el número más probable por 100mL (NMP/100ml) o unidades formadoras de colonias por 100ml (UFC/100ml), según sea el método⁵ utilizado.

Según las normas mexicanas y las normas de la OPS no se debe detectar ningún tipo de organismos coliformes en una muestra de agua.

1.3.4.2 Características físicas y organolépticas

Las características físicas y organolépticas refieren a las propiedades que el ser humano puede percibir de manera sensorial. Estas características son: el color, el olor, el sabor y la turbiedad. Las características de olor y sabor se determinan de manera cualitativa, mientras que el color y la turbiedad de manera cuantitativa, utilizando equipo especial.

El agua potable no debe tener color, sin embargo naturalmente en las fuentes de agua, debido a la presencia de materia orgánica y suelo, suele presentarse. El color se mide en unidades de color verdadero (TCU según sus siglas en inglés) en la escala de platino-cobalto. Las normas del OPS no dictan un valor fijo para el nivel de color, como en las normas de México. En las normas de México el límite permisible es de 20 TCU mientras que en las normas de la OPS se recomienda no rebasar 15 TCU.

La ausencia de turbiedad es una característica importante del agua potable, esta es causada por materia orgánica o inorgánica, presente en la fuente de agua. Esta característica se mide en unidades nefelométricas (UTN). En las normas mexicanas así como en las normas del OPS se indica un valor de 5 UTN como el límite aceptable para agua potable suministrada.

Tanto el olor como el sabor se pueden presentar debido a una gran variedad de causas, las cuales pueden ser químicas, biológicas o físicas. Como se mencionó anteriormente, estas características se miden de manera cualitativa, razón por la cual las normas de la OPS y de México solo establecen que debe ser agradable o tolerable a la mayoría de los consumidores sin que sea objetable por cuestiones de salud.

1.3.4.3 Características químicas

La presencia de químicos, tanto orgánicos como inorgánicos, confiere al agua distintas características, según sea la sustancia química presente. Algunas características no afectan a los seres humanos pero otras resultan ser nocivas. Las normas de la OPS establecen, para una amplia variedad de químicos y compuestos químicos, límites máximos permisibles en el agua destinada al

⁵ La técnica de número más probable o la técnica de filtración por membrana.

consumo humano. Sin embargo, para los propósitos de este trabajo, no se consideran los químicos individuales.

La concentración de sólidos disueltos totales (SDT) resulta ser la característica química más significativa, tanto para el agua de la fuente original como para el agua potable. Este parámetro se registra en mg/L y está relacionado con la conductividad del agua.

Con base en la concentración de SDT se puede clasificar el agua con fines de desalinización, la cual se tratará más adelante. También tiene implicaciones para los métodos de potabilización del agua proveniente de cualquier fuente. Según las normas de la OPS el límite permisible de SDT para agua potable es 1,000 mg/L. También, dentro las normas de la OMS, se encuentra una relación entre la palatabilidad del agua y los SDT de acuerdo a estudios mundiales realizados. Esta relación se muestra en la tabla 3.

Tabla 3 Relación entre la palatabilidad y SDT
(Fuente: Organización Mundial de Salud)

Palatabilidad	SDT
Excelente	Menor que 300 mg/L
Buena	Entre 300 y 600 mg/L
Aceptable	Entre 600 y 900 mg/L
Pobre	Entre 900 y 1,200 mg/L
Inaceptable	Mayor que 1,200 mg/L

1.3.4.4 Clasificaciones del agua según la concentración de SDT

El agua se clasifica según su valor de concentración de SDT en dulce, ligeramente salobre, moderadamente salobre, altamente salobre y salada. El agua dulce es aquella que tiene un valor de SDT de 1,000mg/L o menor; ligeramente salobre, tiene valores de SDT entre 1,000 y 5,000 mg/L; moderadamente salobre, entre 5000 y 15000 mg/L. Los valores de SDT de agua altamente salobre presentan concentraciones de entre 15,000 y 35,000 mg/L, mientras que agua salada suele tener valores arriba de 35,000 mg/L. Los resultados anteriores se resumen en la tabla 4.

Tabla 4 Clasificación de agua según su concentración de SDT
(Fuente: Organización Mundial de Salud)

Clasificación	SDT en mg/L
Dulce	Menor que 1,000 mg/L
Ligeramente Salobre	Entre 1,000 y 5,000 mg/L
Moderadamente Salobre	Entre 5,000 y 15,000 mg/L
Altamente Salobre	Entre 15,000 y 35,000 mg/L
Agua Salada	Mayor que 35,000 mg/L

1.3.4.5 Calidad de fuentes existentes de agua en la isla Unión

1.3.4.5.1 Pruebas realizadas e información recopilada

Por razones económicas y por la imposibilidad de visitar la isla periódicamente, se optó por recopilar información disponible de la CWSA, Adicionalmente se llevó a cabo un muestreo de 2 fuentes de agua superficial, en donde se determinaron algunas características fisicoquímicas y los niveles de coliformes presentes.

Una muestra fue tomada del mar en Cambell, al sur de Ashton, mientras que la otra es agua de lluvia captada y almacenada en una casa privada en Clifton.



Figura 13 Zona de Muestreo del agua del mar, Cambell, isla Unión con vista de Frigate Rock y la estrada artificial.

Las muestras fueron sometidas a una prueba para la determinación de coliformes fecales, utilizando el producto Coliscan Easygel de la compañía Micrology Laboratories, LLC. Esta prueba funciona mediante la acción de enzimas producidas por los coliformes sobre dos azúcares, cada azúcar vinculado a un pigmento distinto. Tanto el azúcar como los pigmentos están presentes en el medio de cultivo de Coliscan Easygel. Los coliformes que no son fecales solo producen una de estas dos enzimas y, por lo tanto, solo actúan sobre uno de los azúcares, produciendo un color rosa, mientras que los coliformes fecales producen ambas enzimas y, por lo tanto, actúan sobre ambos azúcares, uno que produce un color azul y otro que produce un color rosa. La mezcla de estos pigmentos produce el color morado, indicador de la presencia de coliformes fecales.

Esta prueba consiste en introducir entre 1 y 5 mL de agua de la fuente que se quiere muestrear en un recipiente que contiene Coliscan Easygel. En este estudio se utilizaron 5 mL de agua de cada muestra. Una vez lleno el recipiente se tapa y se agita para mezclar el agua con el medio presente,

luego cuidadosamente se vierte la mezcla en una caja petri. Se permite que la mezcla se solidifique formando un gel. Después, se tiene la opción de transferir la caja petri a una incubadora donde debe permanecer a una temperatura de 35°C durante 24 horas, o bien, se puede dejar a la temperatura ambiente por 48 horas.

Al pasar el periodo de tiempo empleado se inspecciona la caja petri contando solamente las colonias de bacteria que aparecen como puntos rosas y morados. Los morados son colonias de coliformes fecales, mientras que los rosados son otros coliformes. Para expresar los resultados por 100 ml de agua se divide 100 entre la cantidad de agua de la muestra agregada a la botella con el medio. El número resultante se multiplica por el número de colonias contadas en la caja petri. Cabe mencionar que para determinar la cantidad de coliformes fecales solamente se toman en cuenta los puntos morados, mientras que para coliformes totales se toma en cuenta tanto los puntos morados como los puntos rosados.



Figura 14 Equipo para la prueba Coliscan Easygel
(Fuente: www.microbiologylabs.com)



Figura 15 Vertiendo la mezcla de agua con medio coliscan a la caja petri

Adicionalmente en la unidad de recursos del agua de la CWSA, se determinaron, las siguientes características fisicoquímicas: conductividad, salinidad, SDT y pH. Los resultados se presentan en el apartado 1.3.4.5.2 Resultados de pruebas realizadas e información recopilada.



Figura 16 Realización de pruebas fisicoquímicas en la Unidad de Recursos del Agua, CWSA

1.3.4.5.2 Resultados de pruebas realizadas e información recopilada

En esta sección se encuentran los resultados de las pruebas realizadas para este trabajo, en adición a datos relevantes que provienen de un programa de monitoreo mensual que realiza la CWSA. Los resultados de las pruebas realizadas se presentan en la tabla 4 mientras que en las tablas 5 y 6 se muestran, respectivamente, los promedios anuales de conductividad eléctrica y pH determinados por la CWSA. Los datos de dichos parámetros ocurridos en los meses en que fue posible su determinación, para los años 2009 al 2011, se muestran en el apéndice 2.

Con base en una investigación realizada en el año 2008 por la compañía Egis bceom International se determinó una relación proporcional entre la conductividad y los SDT presentes en el agua subterránea de la isla Unión cercana a 0.6, lo significa, por ejemplo, que agua dulce con valor de SDT de 1,000mg/L, el valor correspondiente de la conductividad es de 1,600 μ s/cm.



Figura 17 Resultados de prueba Coliscan Easygel para agua de lluvia captada en Clifton

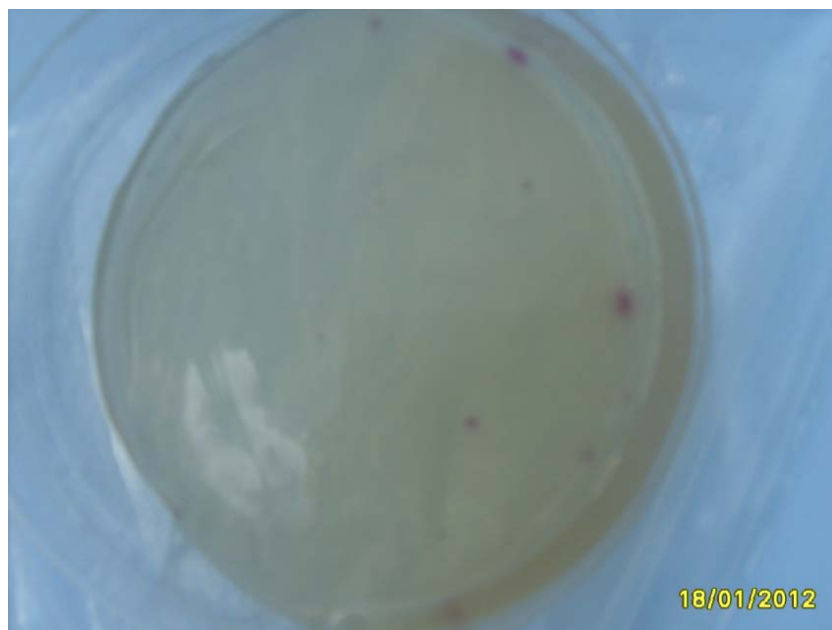


Figura 18 Resultados de prueba Coliscan Easygel para agua del mar recogida en Cambell

Tabla 5 Resultados de pruebas realizadas en aguas superficiales

Fuente Superficial	Conductividad Eléctrica (Salinidad (g/L)	pH	Coliformes Fecales (colonias /100 mL)	Otros Coliformes (colonias /100mL)	Coliformes Totales (colonias /100 mL)
Agua de lluvia captada en Clifton	70	0.034	7.358	180	1,060	1,240
Agua del mar	52,750	34.7	8.028	0	260	260

Tabla 6 Resultados de conductividad eléctrica promedio anual de varios sitios en la isla Unión
(Fuente: Elaboración propia con base en datos de la CWSA)

Código	Nombre	Conductividad Eléctrica Promedio Anual ($\mu\text{s/cm}$)			
		2009	2010	2011	Promedio
11210001	Ashton pozo público 1	7,651	6,831	7,615	7,366
11210002	Ashton pozo público 2 (Top Well)	3,804	4,279	3,028	3,704
11210003	Lago Richmond	453	426	-	439
11210004	Ashton pozo privado 1	5,874	-	-	5,874
11210005	Ashton pozo privado 2	-	-	-	-
11210006	Ashton pozo público 3 (Bottom Well)	2,314	2,238	2,284	2,279
11210007	Pozo Cambell	15,570	-	-	15,570
13210001	NWRMS Ashton upper borehole	4,066	4,223	2,534	3,608
13210002	NWRMS Ashton lower borehole	5,548	5,841	5,584	5,658
	Captación al lado del hospital	97	80	90	89

Tabla 7 Resultados de pH promedio anual de varios sitios en la isla Unión
(Fuente: Elaboración propia con base en datos de la CWSA)

Código	Nombre	pH promedio anual			
		2009	2010	2011	Promedio
11210001	Ashton pozo público 1	7.131	7.208	7.242	7.191
11210002	Ashton pozo público 2 (Top Well)	7.495	7.682	8.012	7.682
11210003	Lago Richmond	7.410	8.025	7.497	7.768
11210004	Ashton pozo privado 1	6.054	-	-	6.054
11210005	Ashton pozo privado 2	-	-	-	-
11210006	Ashton pozo público 3 (Bottom Well)	8.074	7.930	8.315	8.079
11210007	Pozo Cambell	6.933	-	-	6.933
13210001	NWRMS Ashton upper borehole	6.968	7.132	7.692	7.172
13210002	NWRMS Ashton lower borehole	7.112	7.519	7.808	7.387
	Captación al lado del hospital	8.415	8.460	8.464	8.446

1.4 Situación futura

La situación futura es uno de los parámetros que mayor impacto tienen sobre la realización de cualquier proyecto, ya que sirve como indicador de si se cumplirá el proyecto con sus propósitos o si se convertirá en infraestructura ociosa. Además proyecta lo que ocurrirá en el futuro, tomando en cuenta tendencias del pasado y presente.

Para definir la situación futura se realizan proyecciones de población y de demanda, tomando como base los conceptos de vida útil y periodo de diseño, los cuales se definen a continuación.

1.4.1 La vida útil

La vida útil de un proyecto se determina, fundamentalmente, con base en la duración y calidad de los materiales empleados en los componentes y sistemas de tal proyecto. Adicionalmente, en el caso de los sistemas de abastecimiento de agua, se considera la calidad del agua producida. Además, se consideran los factores de riesgo, que en este caso son principalmente los huracanes y sus consecuencias, acciones sísmicas y la contaminación ambiental, en particular del ambiente marino.

Se considera una vida útil de 30 años con base en lineamientos de la CONAGUA que establecen una vida útil de entre 30 y 40 años para la obra civil de elementos de un sistema de abastecimiento de agua potable tales como tanques superficiales, estaciones de bombeo y pozos.

1.4.2 El periodo de diseño

Según la CONAGUA el periodo de diseño es el intervalo del tiempo durante el cual se estima que la obra por construir llega a su nivel de saturación. Este debe ser menor a la vida útil.

Por otra parte el periodo de diseño está relacionado con las características económicas del proyecto en cuestión. Estas se basan en las tasas de interés real, las cuales representan el costo del dinero en el mercado sin considerar la inflación.

Para este estudio se considera un periodo de diseño de 25 años, ya que la política interna de la CWSA dicta que los proyectos de captación de agua y otras obras civiles se deben diseñar por un periodo mínimo de 25 años.

1.4.3 Proyecciones de población

Las proyecciones de población tienen un papel muy importante en el análisis y desarrollo de cualquier proyecto de infraestructura o social, ya que sirven para saber cuántos individuos pueden ser beneficiados por tal proyecto, además permiten determinar si el proyecto será económicamente viable.

Para la realización de las proyecciones de demanda se utilizaron los siguientes métodos: el método aritmético y el método geométrico. A continuación se explica cada uno de estos métodos.

1.4.3.1 El método aritmético

Este método se fundamenta en la hipótesis de que el crecimiento de la población es lineal, lo cual implica que la variación de la población en el tiempo es constante. La resolución y simplificación subsecuente de la ecuación diferencial se muestra en la ecuación siguiente:

ecuación 1

— **ecuación 2**

Donde P_f es la población futura
 P_u es la población del último censo
 P_p es la población del penúltimo censo
 f es el año de la población futura

u es el año del último censo

p es el año del penúltimo censo

Se cuenta con datos de población de los censos de los años 1980,1991 y 2001, los cuales se sustituyen en las ecuaciones 1 y 2 a. Se presentarán los resultados en la sección 1.4.3.3. Resultados de la proyección de poblaciones.

1.4.3.2 El método geométrico

Para este método se considera que la variación de la población con respecto al tiempo es proporcional a la población misma. De lo anterior se infiere que con mayor población se presenta mayor crecimiento. La solución y simplificación subsecuente de la ecuación diferencial se muestra en la ecuación 3.

ecuación 3

Donde P_f es la población futura

P_o es la población inicial

$T.C$ es la tasa de crecimiento poblacional que se define en la siguiente ecuación

— — ecuación 4

n es el número de años entre censos ($n = t_u - t_p$)

t_u es el año del último censo

t_p es el año del penúltimo censo

Se cuenta con datos de población de los censos de los años 1980, 1991 y 2001, los cuales se sustituyen en las ecuaciones 3 y 4. Se presentarán los resultados en la sección 1.4.3.3 Resultados de la proyección de la población.

1.4.3.3 Resultados de la proyección de población

En esta sección se presenta los resultados de la proyección de la población utilizando los métodos aritmético y geométrico. Los cálculos respectivos de cada método se pueden observar en el apéndice 1. En la tabla 8 se presentan los valores de población para los años 2015 al 2040.

1.4.4 Proyecciones de demanda

Para desarrollar estas proyecciones se toma en cuenta la cantidad de agua asignada a cada habitante, llamada dotación, ésta considera todos los consumos y posibles fugas en un sistema de abastecimiento de agua potable en un día medio del año. Se expresa en unidades de volumen por habitante por día.

Según el Sr Reynold Hewitt, especialista en salud pública de la Unidad de Servicios Ambientales de la Secretaria de Salud y Medioambiente de San Vicente y las Granadinas, cada persona del país debe contar para todos los usos, incluyendo aseo y consumo personal, con 60 galones americanos (227 litros) de agua, en promedio por día.

Tomando en cuenta la naturaleza cálida y seca del clima de la isla, 60 galones americanos parecen ser adecuados. Como dato interesante, dicho valor aproxima a los 230 litros por habitante por día asignado por la CONAGUA para la clase socioeconómica media situada en zonas cálidas. Sin embargo, con base en los datos provenientes de la CWSA respecto al consumo actual en la isla principal y sus metas de reducción, se fija la demanda en 20 galones americanos por persona por día.

Es importante destacar que, con el propósito de cobranza de la tarifa básica⁶, la CWSA solo distingue entre usuarios residenciales y comerciales, y no toma en cuenta clase socioeconómica.

Adicional a las poblaciones proyectadas para los diferentes intervalos, se consideran porcentajes de visitantes a la isla, según categoría, para determinar el número de personas que requieren agua potable, luego con base en este número calcular la demanda de agua potable. Este porcentaje de visitantes se determina con base, tanto en información proporcionado por la Autoridad de Turismo, como en pláticas con varios habitantes de la isla que venden agua al sector de yates. La determinación de la contribución de los diferentes sectores de turismo a la demanda de agua potable en la isla se muestra en el apéndice 1.

Según la Autoridad de Turismo, en un día típico, durante diciembre a abril, la ocupación de los hoteles en la Isla Unión es de 78%. Los visitantes se hospedan, en promedio, 12 días. La autoridad anticipa que, en la próxima década, un día típico tendrá una ocupación incrementada al 84%. Este crecimiento esperado se debe a la ampliación de la pista y terminal del aeropuerto de la isla cercana, Canouan y la construcción de un aeropuerto nuevo en la isla principal, con capacidad para recibir vuelos comerciales directos desde Norte América y Europa.

Los resultados de las proyecciones de demanda anual y diaria para los años 2015 al 2040 se encuentran en las tablas 9 y 10, respectivamente.

⁶ Todos los usuarios conectados a la red de agua potable en San Vicente pagan una tarifa básica por mes aunque no hay consumo de agua. Ésta tarifa es diferente para usuarios residenciales y usuarios comerciales.

Tabla 8 Resultados de la proyección de población
(Fuente: Elaboración propia)

Año	Población	
	Aritmético	Geométrico
2015	2,119	2,138
2016	2,133	2,154
2017	2,146	2,170
2018	2,159	2,186
2019	2,172	2,202
2020	2,185	2,219
2021	2,198	2,235
2022	2,212	2,252
2023	2,225	2,269
2024	2,238	2,285
2025	2,251	2,302
2026	2,264	2,319
2027	2,277	2,337
2028	2,291	2,354
2029	2,304	2,371
2030	2,317	2,389
2031	2,330	2,407
2032	2,343	2,425
2033	2,356	2,443
2034	2,370	2,461
2035	2,383	2,479
2036	2,396	2,497
2037	2,409	2,516
2038	2,422	2,535
2039	2,435	2,553
2040	2,449	2,572

Tabla 9 Resultados de la proyección de demanda total anual
(Fuente: Elaboración propia)

Año	Demanda Total Anual en galones americanos		Demanda Total Anual en m ³	
	Aritmético	Geométrico	Aritmético	Geométrico
2015	46,021,864	46,165,439	174,212	174,755
2016	46,195,147	46,359,221	174,868	175,489
2017	46,368,671	46,554,139	175,524	176,227
2018	46,542,439	46,750,201	176,182	176,969
2019	46,716,451	46,947,414	176,841	177,715
2020	46,890,707	47,145,786	177,501	178,466
2021	47,065,209	47,345,325	178,161	179,221
2022	47,239,958	47,546,037	178,823	179,981
2023	47,414,954	47,747,932	179,485	180,746
2024	47,590,199	47,951,018	180,148	181,514
2025	47,765,693	48,155,301	180,813	182,288
2026	47,941,438	48,360,789	181,478	183,065
2027	48,117,434	48,567,492	182,144	183,848
2028	48,293,682	48,775,417	182,811	184,635
2029	48,470,183	48,984,572	183,480	185,427
2030	48,646,938	49,194,965	184,149	186,223
2031	48,823,948	49,406,605	184,819	187,024
2032	49,001,215	49,619,500	185,490	187,830
2033	49,178,738	49,833,658	186,162	188,641
2034	49,356,519	50,049,087	186,835	189,456
2035	49,534,559	50,265,797	187,509	190,277
2036	49,712,859	50,483,796	188,184	191,102
2037	49,891,420	50,703,092	188,859	191,932
2038	50,070,242	50,923,694	189,536	192,767
2039	50,249,327	51,145,610	190,214	193,607
2040	50,428,676	51,368,851	190,893	194,452

Tabla 10 Resultados de la proyección de demanda total diaria
(Fuente: Elaboración propia)

Año	Demanda Total Diaria en galones americanos		Demanda Total Diaria en m ³	
	Aritmético	Geométrico	Aritmético	Geométrico
2015	126,087	126,481	477	479
2016	126,562	127,012	479	481
2017	127,037	127,546	481	483
2018	127,514	128,083	483	485
2019	127,990	128,623	484	487
2020	128,468	129,167	486	489
2021	128,946	129,713	488	491
2022	129,425	130,263	490	493
2023	129,904	130,816	492	495
2024	130,384	131,373	494	497
2025	130,865	131,932	495	499
2026	131,346	132,495	497	502
2027	131,829	133,062	499	504
2028	132,311	133,631	501	506
2029	132,795	134,204	503	508
2030	133,279	134,781	505	510
2031	133,764	135,361	506	512
2032	134,250	135,944	508	515
2033	134,736	136,531	510	517
2034	135,223	137,121	512	519
2035	135,711	137,715	514	521
2036	136,200	138,312	516	524
2037	136,689	138,913	517	526
2038	137,179	139,517	519	528
2039	137,669	140,125	521	530
2040	138,161	140,737	523	533

2 La Desalinización

2.1 ¿De qué se trata?

La desalinización implica la obtención de agua dulce a partir de agua salobre o agua del mar, a través de procesos físicos o químicos. El agua dulce se define como agua con una concentración de sólidos disueltos totales menor a 1,000 mg/L. (Sandia 2003).

La desalinización ocurre naturalmente como parte del ciclo hidrológico cuando la temperatura del agua de mar se eleva por acción directa de los rayos de sol. Una parte del agua se evapora y deja la sal, luego se condensa, formando nubes, que eventualmente precipitarán.

La desalinización antropogénica convierte el agua salada en agua dulce empleando energía en un proceso o conjunto de procesos. Adicionalmente, durante este proceso, se produce un flujo secundario de agua con alta concentración de sal y ocasionalmente contaminantes. Tales contaminantes suelen ser los óxidos de los materiales empleados en el proceso, aumento de la temperatura de la salmuera y emisión de gases de efecto invernadero.

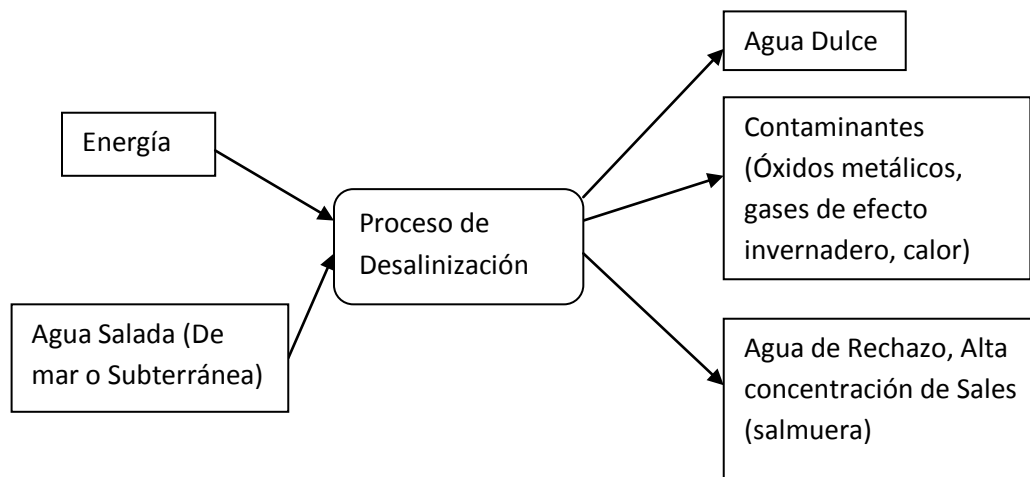


Figura 19 Esquema general del proceso de desalinización
(Fuente: Elaboración propia)

2.2. Historia

La desalinización se ha empleado por siglos como manera de obtener agua dulce, incluso en la biblia, en el libro Éxodo, capítulo 15, se insinúa sobre el proceso, cuando Moisés colocó cierto árbol en las aguas de Mara y estas cambiaron de sabor amargo a dulce.

Existen registros de que Aristóteles escribió en el siglo IV A.C. acerca del uso de técnicas de evaporación utilizadas por marineros griegos para desalinizar agua del mar, además del uso de filtros de arena y de una técnica que consta del empleo de una mecha de lana para succionar el agua, en donde la sal queda atrapada en la lana.

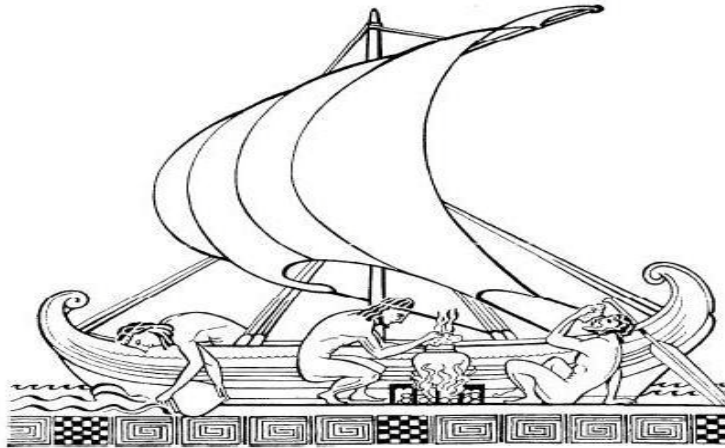


Figura 20 Marineros antiguos empleando destilación del agua del mar
(Fuente: Seawater desalination using renewable energy sources)

Los Romanos emplearon filtros de arcilla para remover sal durante el primer siglo D.C. Desde este tiempo también se ha empleado la destilación. En aquel entonces se hirvió el agua salada y se recogió el vapor, primero en lana y luego esponjas. En el siglo VIII D.C. químicos árabes publicaron el primer documento científico acerca de la desalinización. En el siglo XVI, en adición a los métodos de filtración por arena y la destilación, se contaba con el uso de recipientes de cera blanca para la absorción de la sal. El explorador francés, Jean de Lery, reportó que en el año 1565 se empleó de manera exitosa la destilación de agua del mar en un viaje a Brasil.

En el año 1684, basado en correspondencia entre el secretario de la *Comisión de Admírales de Inglaterra*, Samuel Pepys, y el capitán del barco naval Mermaid, Capitán Gifford, se cree que fueron realizados experimentos con una máquina para producir agua dulce a partir del agua del mar, utilizando el proceso de destilación. Sin embargo, no existe información respecto a los resultados obtenidos por tales experimentos.

En 1790 el Secretario de Estado de los Estados Unidos de América, Thomas Jefferson, recibió una oferta para vender, al gobierno de su país, un método para convertir agua del mar en agua dulce por medio de la destilación. En 1852 se otorgó la primera patente en Gran Bretaña para un equipo de desalinización; y en 1869 se estableció la primera planta en tal país, utilizando la destilación para suministrar agua dulce a los barcos anclados en puerto. En Chile en 1878 se construyó una planta desalinizadora basada en destilación solar, llamada *Las Salinas*, la cual operó durante 50 años de manera continua.

En 1912 se instalaron en Egipto 6 plantas desalinizadoras con una capacidad de producción total de 75 m³/día. (Dessouky 2007)

Curaçao, en las Antillas holandesas, fue el primer lugar comprometido con el uso de desalinización como fuente principal de agua potable, con plantas en operación desde 1928. En 1938 se construyó una planta grande para desalar agua del mar en Arabia Saudita.

Durante la segunda guerra mundial se realizó investigación al respecto de la desalinización como medida para suministrar agua potable a la milicia en lugares de escasez. Al terminar la guerra, Estados Unidos de América, entre otros países, continuó investigaciones sobre el tema. En los años 50 se desarrolló el proceso de Destilación Súbita Multietapa o MSF por sus siglas en inglés (Multi Stage Flash) en Inglaterra y los EUA.

En 1954 en Arabia Saudita, se instalaron las primeras plantas comerciales de desalinización a base de electrodiálisis (McRae 2000). Durante los años 60 surgió la posibilidad de utilizar el proceso de ósmosis inversa, y hacia el fin de esta década se habían construido algunas plantas, las cuales al principio se utilizaron para aguas subterráneas salobres. Durante la siguiente década el mejoramiento de materiales y permeabilidad de las membranas permitió el uso del agua del mar. Sin embargo, no fue hasta la década de los 80 cuando se desarrollaron membranas de calidad y precios adecuados para convertir este proceso en un método viable.

Entre los años 70 y la primera década del tercer milenio se han visto avances significativos en las tecnologías empleadas en la desalinización, en particular con el uso de membranas. Por ende también se ha notado un aumento considerable en la producción de agua dulce a partir de los procesos de desalinización, sobretodo en regiones como el Medio Oriente y América Latina. En 2005 se abrió en Israel la planta de desalinización, mediante ósmosis inversa, más grande del mundo, con una capacidad de producción diaria de 330, 000 m³ de agua dulce. (Sauvet Goichon 2007)

Con respecto a San Vicente y las Granadinas, entre el año 2000 y la actualidad, ha habido un aumento en la desalinización, con la instalación de varias plantas desalinizadoras pequeñas en islas como Bequia, Mustique y Canouan. Estas plantas se basan en la ósmosis inversa y fueron construidas por la iniciativa privada. Sin embargo, en el año 2009 se instaló una planta piloto de ósmosis inversa en Paget Farm, Bequia, con fondos del Banco Mundial, dicha planta pretende servir como una fuente complementaria de abastecimiento de agua potable a la población de tal isla.

2.3 Métodos

Se pueden clasificar los métodos de desalinización a través de 3 tipos de tecnologías generales: tecnologías de membranas, tecnología de intercambio de iones y tecnologías termal. Cabe mencionar que, sin importar el método empleado, es necesario realizar un pre tratamiento del

agua cruda para prevenir la incrustación y formación de espuma, corrosión, crecimiento biológico y contaminación del equipo. También requiere un post tratamiento químico (Kaligirou 2004).

3.3.1 Tecnologías de membranas

Según la organización *American Water Works Association* una membrana es una película delgada que permite pasar las moléculas de agua prohibiendo el paso de moléculas indeseables de mayor tamaño, tales como virus, bacterias, metales y sales.

Las membranas se fabrican a partir de una amplia variedad de materiales, tanto polímeros como no polímeros. Las membranas sintéticas son las más empleadas y su uso crece entre 5 y 10% anualmente. (Krukowski 2001).

Existen tres procesos principales para el uso de membranas en la desalinización: ósmosis inversa (OI), nanofiltración (NF) y electrodiálisis (ED). Estos procesos utilizan la presión o la electricidad. Los procesos de ósmosis inversa y nanofiltración utilizan la presión, mientras que la electrodiálisis requiere corriente eléctrica.

La calidad del agua en su fuente es un factor principal en la determinación del proceso de tecnología de membrana a emplear. Suele suceder que las fuentes superficiales presentan grandes variaciones de calidad, sobretodo en cuestiones de turbiedad y sólidos disueltos totales (SDT), en comparación con las fuentes subterráneas. Por ejemplo un río, que por su naturaleza corriente es susceptible de recibir descargas sanitarias a lo largo de su cauce.

2.3.1.1 Electrodiálisis y electrodiálisis reversible

La electrodiálisis (ED) se utiliza principalmente para la desalinización de agua salobre (Reahl 2004) y no de agua proveniente del mar. En este método los iones de los minerales disueltos en el agua se transfieren a través de membranas, de una solución de menor concentración a una de mayor, por causa de la presencia de una corriente eléctrica continua.

La corriente directa es aplicada a través de electrodos que se encuentran en ambos lados de una membrana para separar minerales disueltos en el agua. Estas membranas están arregladas en unidades conocidas como *cell pairs* (pares de celdas) compuestas de una membrana que permite el paso de aniones y otra que permite el paso de cationes más dos espaciadores. Se denomina *cell stack* al conjunto de *cell pairs* y los electrodos. El número de *cell pairs* que contiene un *stack* depende del sistema y sus requisitos particulares. Los espaciadores tienen el papel de distribuir el flujo de agua sobre la superficie de las membranas y por lo tanto su material de composición es importante.

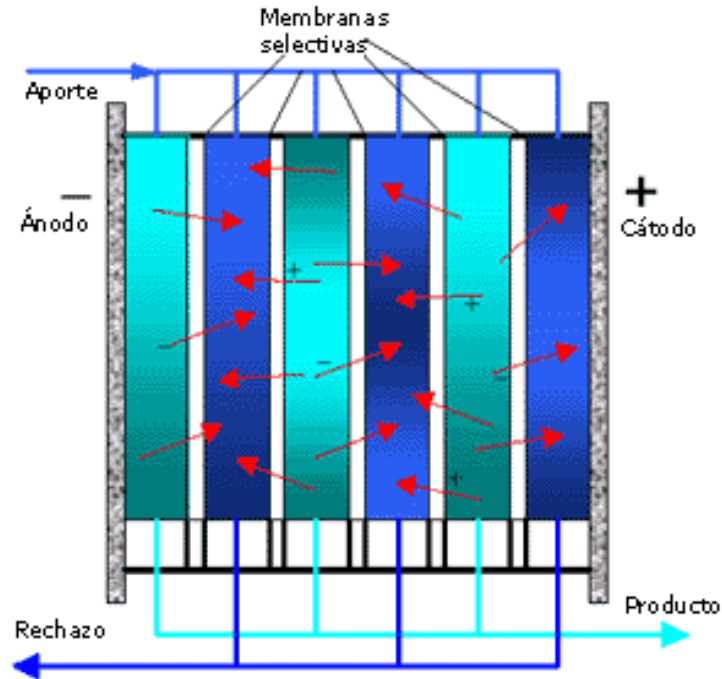


Figura 21 Esquema de la electrodiálisis
(Fuente: La desalación como alternativa al PHN.2001)



Figura 22 Aparato de electrodiálisis demostrando cell stacks
(Fuente: ge energy.com)

El proceso es efectivo en la desalinización porque el cátodo atrae los iones de sodio mientras que el ánodo atrae los iones de Cloro (Younos 2005). Requiere una presión entre 70 y 90 psi. (Brunner 1990). El proceso tiene una buena recuperación⁷ con la posibilidad de remover entre 75 y 98% de (SDT)⁸ del agua de la fuente. (Younos 2005)

La electrodiálisis reversible (EDR) es fundamentalmente lo mismo que la electrodiálisis, con la excepción de que se cambia la polaridad de la corriente eléctrica durante intervalos determinados. Este cambio de polaridad cambia la dirección de flujo de los iones y actúa como un mecanismo de limpieza, disminuyendo la incrustación en las membranas. La EDR tiene una recuperación mayor comparada con la ED debido a la circulación del agua de la fuente y el cambio de polaridad. La EDR también tiene otras ventajas, se puede adaptar a varios parámetros de operación, requiriendo poca mano de obra y sus costos de mantenimiento son generalmente bajos. (American Water Works Association 1999)

Tanto la electrodiálisis como la electrodiálisis reversible demuestran poca sensibilidad al pH y a la dureza del agua de la fuente. Por otro lado, el parámetro de SDT en el agua cruda tiene importancia en ambos procesos. El aumento en SDT provoca un incremento en el costo de la desalinización. Según Brunner estos procesos son mejor empleados para agua salobre con valores de SDT de hasta 4,000mg/L. Tampoco se debe emplear en aguas con valores de SDT menores de 400ppm, debido a que el agua pura tiene poca conductividad y por lo tanto necesitará más energía eléctrica.(Kaligirou 2004)

2.3.1.2 Nanofiltración

La nanofiltración es una tecnología más reciente, sus membranas fueron desarrolladas a mediados de la década de los 80 (Singh 1997). Consiste en aumentar la presión del agua de la fuente para pasarla a través de una membrana semipermeable, la cual retiene ciertos iones dejando pasar otros. La presión requerida suele ser entre 50psi y 450psi, la última empleada para volúmenes de agua muy grandes (Axeon Water Technologies).

Existen dos tipos de membranas para la nanofiltración (NF): membranas en forma de espiral y membranas tubulares. Cada tipo tiene sus correspondientes ventajas y desventajas. Las membranas en forma espiral son más económicas en su producción y tienen mayor área superficial, sin embargo, son más susceptibles a la contaminación. A pesar de las virtudes de las membranas en forma espiral, las membranas tubulares tienden a ser más empleadas, ya que no se presenta tan fácilmente la contaminación durante su uso.

Las membranas para la nanofiltración cuentan con poros de diámetro entre 0.001 y 0.01 micrones (Axeon Water Technologies). A pesar de este rango específico de diámetro de poro las membranas

⁷ Se entienda por recuperación a la proporción de agua dulce producida con respecto al agua de la fuente

⁸ En este caso SDT se refiere a los iones correspondientes a las sales presentes en el agua, principalmente Na y Cl.

de nanofiltración se suelen clasificar según un parámetro conocido como el tamaño límite de masa molecular o MWCO, por sus siglas en inglés. El MWCO es la masa molecular de la molécula del 90% del soluto retenido por la membrana. El MWCO se mide en Daltons. El tamaño mínimo de partículas removidas por este método oscila entre 200 y 400 Daltons. (Duranceau 2001)

Se han realizado pruebas con diferentes concentraciones de sales (Hilal et al 2005, Tanninen et al 2006), sin embargo, se ha demostrado que este proceso en sí mismo no puede reducir la salinidad del agua proveniente del mar a niveles especificados en los estándares para agua potable. Por lo tanto no se puede utilizar por si solo como un método de desalinización de agua del mar. En el caso de agua ligeramente salobre ha tenido resultados favorables. (Bohdziewicz et al 1999, Lhassani et al 2001, M'nif et al 2007) Su uso principal es el ablandamiento de agua, ya que es muy efectivo removiendo iones divalentes, tales como calcio y magnesio.



Figura 23 Aparato de nanofiltración
(Fuente: Made in China.com)

2.3.1.3 Ósmosis inversa

Considerando dos soluciones con diferentes concentraciones separadas por una membrana u otro medio permeable o semi permeable como se muestra en la figura 24. En el fenómeno de ósmosis las moléculas de agua pasan a través de la membrana, de la solución de menor concentración a la solución de mayor concentración. Por otra parte, en el mecanismo de ósmosis inversa se utiliza el aumento en la presión para pasar moléculas de agua en la dirección opuesta, como se indica en la figura 24.

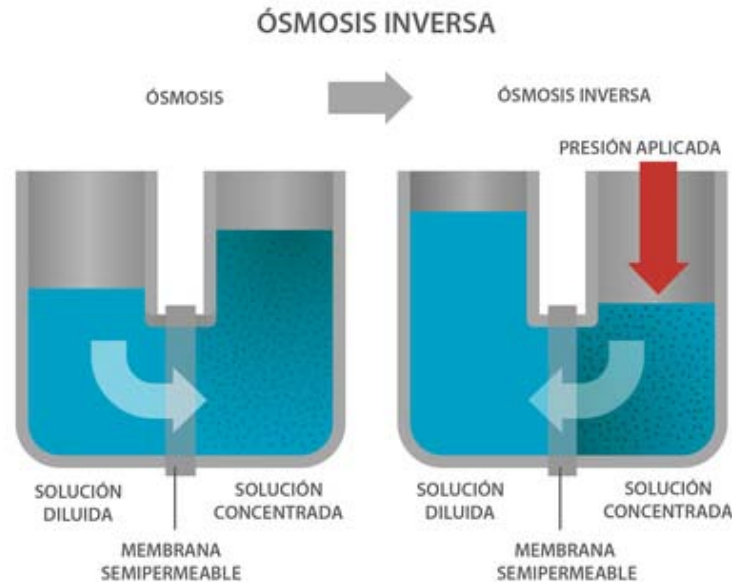


Figura 24 Esquema del ósmosis y ósmosis Inversa

(Fuente: www.drinking-water.org)

Las membranas utilizadas en el proceso de ósmosis inversa se clasifican, según la fuente de agua que traten, en dos tipos principales: membranas para agua de mar y membranas para agua salobre. Las membranas para el agua de mar se emplean para tratar agua con un rango de SDT entre 10,000 y 60,000 mg/L, mientras que las membranas para agua salobre se emplean para concentraciones entre 1,000 y 10,000 mg/L (Mickley 2001).

Las membranas se suelen fabricar a partir de celulosa de acetato. También existen desde los años 60, las típicamente conocidas como membranas delgadas compuestas (en inglés: Thin film composite membranes), no basadas en acetato de celulosa. Las membranas delgadas compuestas producen, en comparación con las de celulosa de acetato, un mayor volumen de agua dulce por área superficial de membrana. Además pueden estar sometidas a un rango más amplio de pH; por otro lado, son más susceptibles a degradarse en presencia del cloro (El-Dessouky y Ettouney 2002).

El MWCO también se emplea en las membranas destinadas para la ósmosis inversa. En este proceso se remueven partículas con tamaño mínimo de entre 50 y 200 Daltons (Duranceau 2001).

La presión requerida en el proceso de ósmosis inversa depende directamente de los SDT del agua de la fuente. Para agua salobre se necesita una presión de entre 140 y 400 psi, mientras que para agua del mar este valor puede alcanzar los 1200 psi (Younus 2005).

2.3.2 Tecnologías termales

Las tecnologías termales también se conocen como tecnologías de cambio de fase, debido a que el agua cambia su estado físico como parte del proceso. Estas tecnologías se encuentran en uso desde hace muchos siglos ya que fueron las primeras en ser descubiertas.

Entre las tecnologías termales se encuentran en uso cinco métodos de destilación y tres métodos de solidificación y posterior fusión. Los cinco métodos de destilación son: destilación súbita multietapa (MSF, por sus siglas en inglés), destilación multiefecto (MED, por sus siglas en inglés), compresión de vapor (VC, por sus siglas en inglés), desalinización termal a baja temperatura (LTTD, por sus siglas en inglés), y destilación solar. Los tres métodos de solidificación del agua son: congelación en vacuo (VFD, por sus siglas en inglés), congelación usando un refrigerante secundario (SRF, por sus siglas en inglés), la formación de clatratos o hidratos. A continuación se describen detalladamente cada uno de estos métodos.

2.3.2.1 Destilación súbita multietapa

Se basa en calentar el agua salada, ya sea agua salobre o agua del mar, causando su evaporación, para luego condensar el vapor formado, produciendo agua dulce pura. Este proceso se realiza en varias etapas según sea la necesidad. Típicamente una planta desalinizadora tipo MSF tiene entre 4 y 40 etapas (Clayton 2006).

Primero se calienta el agua de la fuente al entrar a la primera cámara o etapa del sistema. Cuando se calienta esta agua, tanto la temperatura como la presión en el contenedor aumentan. El agua calentada se pasa a otro contenedor que se encuentra a una presión menor causando la formación de vapor, en el cual se remueve el vapor para luego condensarlo empleando agua fría de la fuente original que pasa por un condensador. La salmuera resultante de esta etapa se pasa a otra cámara con presión más baja que la anterior, produciendo más agua dulce. El proceso se repite hasta que la salmuera llega a una cámara que se encuentra a presión atmosférica, luego se descarta la salmuera. En la figura 25 se puede apreciar el esquema de la MSF.

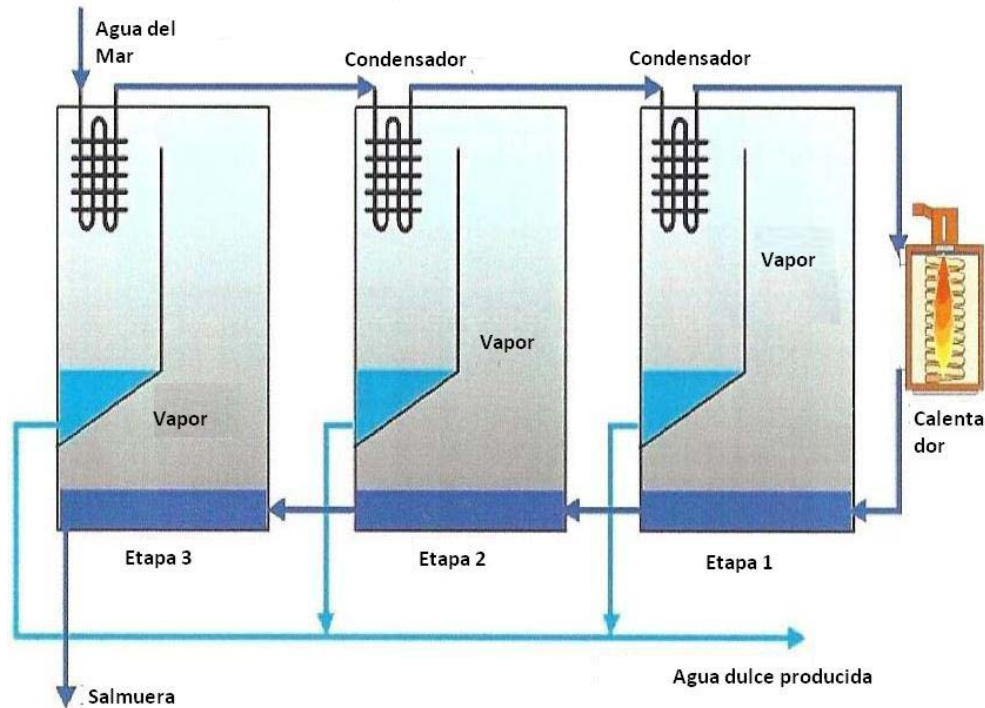


Figura 25 Destilación súbita multietapa (MSF)

(Fuente: Modificada de "A Review of Current Knowledge. Desalination for Water Supply")

2.3.2.2 Destilación multiefecto

También se conoce como long tube vertical distillation (LTV) en inglés. En principio es parecido a la MSF, ya que involucra la evaporación de agua salada para luego condensar el vapor producido en el proceso.

En la MED se utiliza vapor para calentar el agua salada de la primera etapa. La mayor parte del vapor producido en esta etapa se utiliza para calentar el agua salada de la siguiente etapa. En cada etapa parte del vapor producido se condensa formando agua dulce, la cual se extrae del sistema. En la figura 15 se aprecia el esquema de la MED.

Para mejorar el rendimiento de los equipos de la MED, la presión en cada etapa es sucesivamente más baja que en la anterior. Esto permite configurar una planta de MED para operar con una temperatura alta o baja. Se considera temperatura alta a aquellas iguales o por encima de 90°C, mientras que un valor menor de 90°C se considera una temperatura baja (Miller 2003).

En una planta con operación a temperatura baja el punto de ebullición más alto puede ser tan bajo como 55°C, lo cual reduce los efectos de corrosión e incrustación, además permite la utilización de calor que hubiera sido desperdiciado. (Miller 2003). Esta característica permite el uso del agua de rechazo de plantas termoeléctricas para producir el vapor requerido en la primera etapa de la MED.

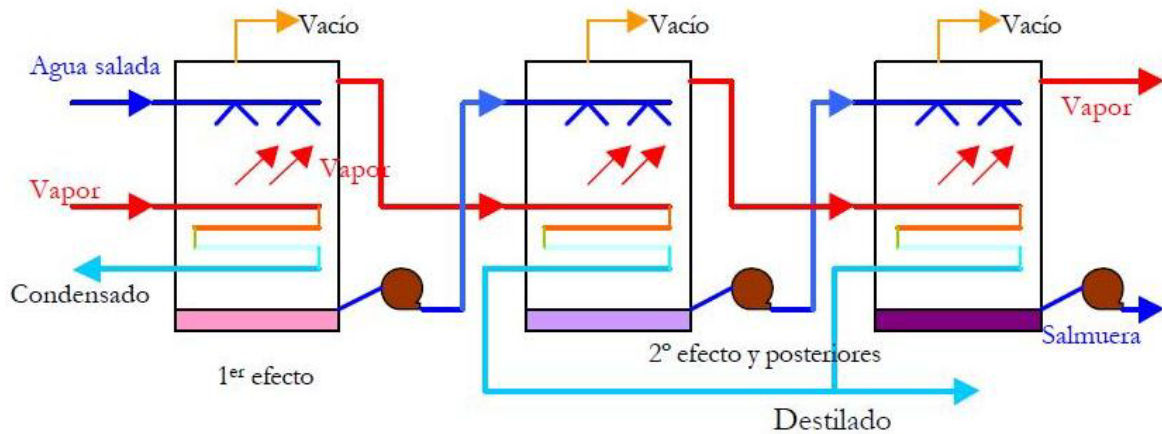


Figura 26 Destilación multiefecto (MED) con evaporadores horizontales
 (Fuente: La desalación como alternativa al PHN.2001)

2.3.2.3 Compresión de vapor

En el método de compresión de vapor se utiliza una fuente de calor para producir vapor a partir del agua salada, luego se comprime utilizando un compresor, causando un aumento en su temperatura y presión. Se utiliza agua de la fuente, que suele ser el mar, para enfriar el vapor comprimido, mismo que se condensa para formar agua dulce destilada. Durante este proceso de enfriamiento el agua de la fuente se calienta produciendo más vapor. El proceso de compresión de vapor se muestra en la figura 16.

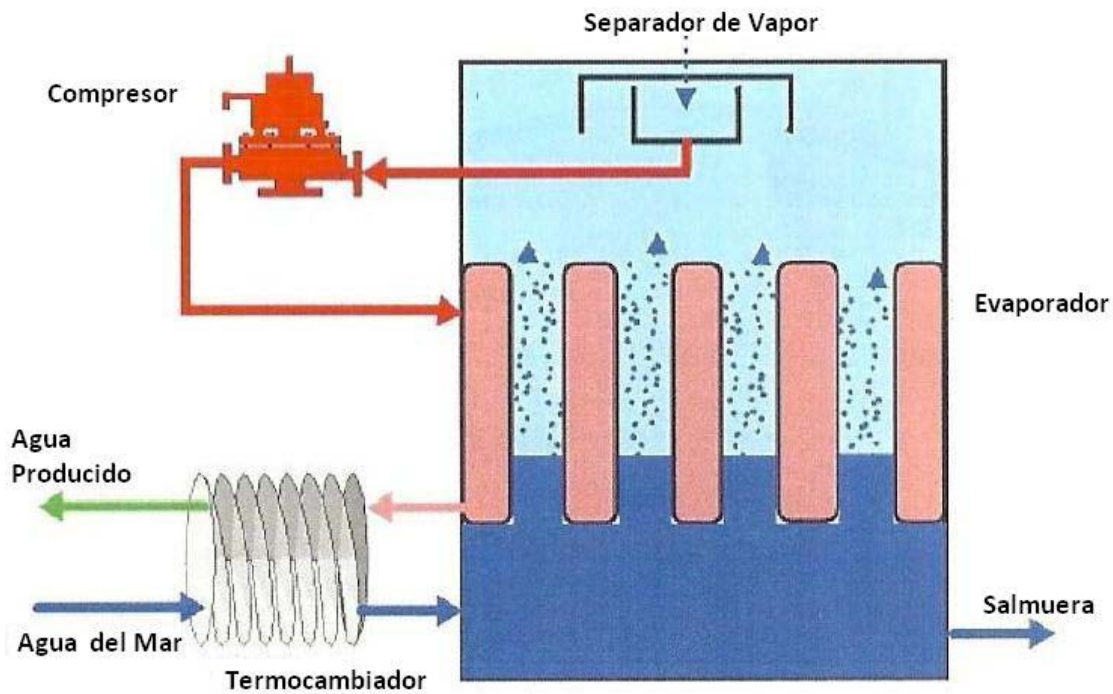


Figura 27 Compresión de vapor (VC)

(Fuente: Modificada de "A Review of Current Knowledge. Desalination for Water Supply")

2.3.2.4 Desalinización termal a baja temperatura

Debido a que la primera planta fue establecida en Kavaratti, India en 2005, se considera una tecnología relativamente nueva.

Opera con base en la diferencia de temperatura entre dos flujos o cuerpos de agua salada provenientes del mar. Este proceso aprovecha el hecho de que el agua tiene un punto de ebullición más bajo cuando está sometida a presiones bajas.

En la LTTD se introduce agua salada tibia en forma de chorro a una cámara de baja presión. Esta agua se suele obtener de niveles superficiales del mar. La baja presión provoca la evaporación del agua salada. El vapor producido pasa por un aparato conocido como condensador en donde agua salada fría, de niveles más profundos del mar, pasa por tubos, absorbiendo calor del vapor causando la formación de agua dulce.

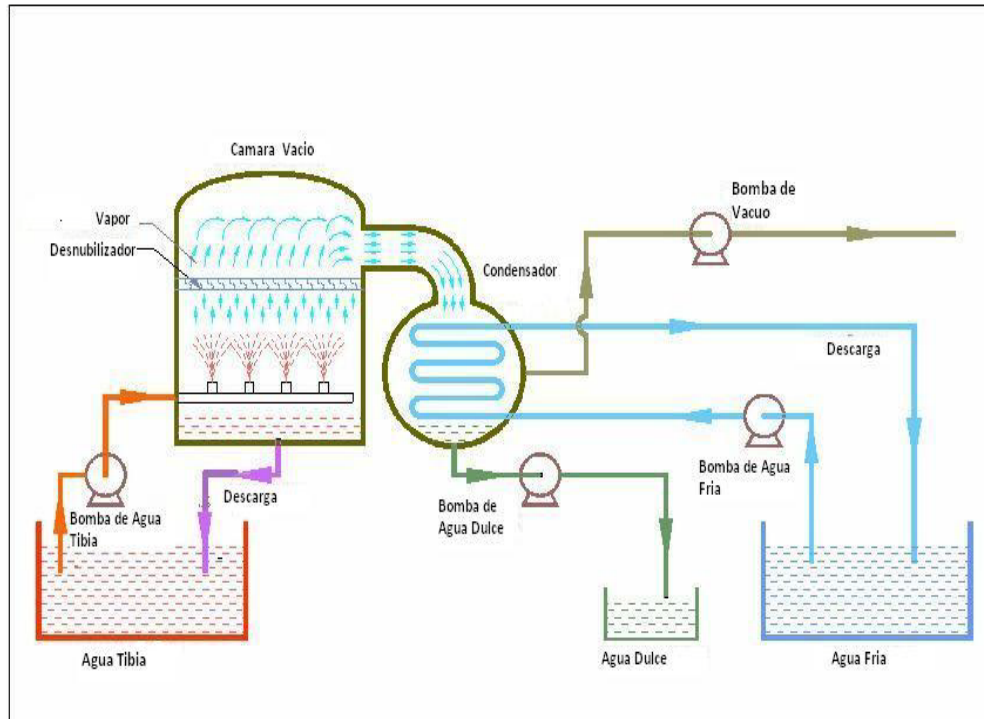


Figura 28 Esquema de destilación térmica a baja temperatura

(Fuente: Modificada de "Low Temperature Thermal Distillation Applications for Drinking Water")

2.3.2.5 Destilación solar

La destilación solar es uno de los métodos de desalinización más sencillos y antiguos en uso. Consiste en utilizar la energía solar para evaporar agua salada, el vapor de agua luego condensa sobre un techo artificial inclinado, escurriendo hacia canales recolectores en la parte inferior.

Tiene la ventaja de ser uno de los métodos más baratos en su aplicación ya que no requiere la instalación y mantenimiento de equipo especializado. Además, su fuente de energía es prácticamente infinita y gratuita y solo se requiere la instalación de estructuras de soporte y limpieza periódica.

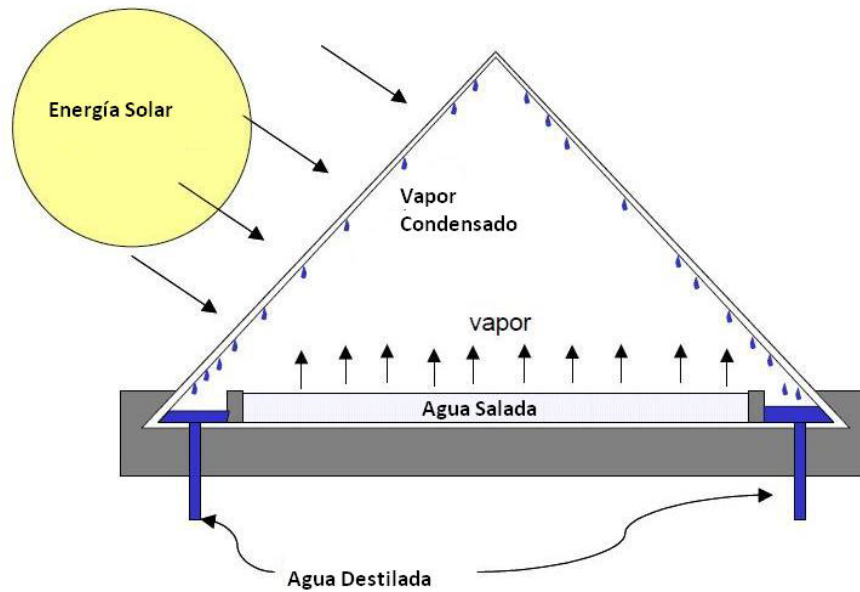


Figura 29 Esquema de destilación solar

(Fuente: Modificada de "Review of Water Resources and Desalination Technologies")

2.3.2.6 Congelación en vacío

Cuando se solidifica el agua salada las sales disueltas son excluidas del hielo formado. En el proceso de congelación en vacío (VFD) se introduce agua salada en forma de chorro, previamente enfriada en una cámara de vacío a una presión cercana a 0.004 atmósferas. Parte del agua salada introducida forma vapor, removiendo calor y provocando la formación de hielo.

El hielo formado flota en el agua salada, lavándose posteriormente con agua dulce. Se funde el hielo para producir agua dulce, la cual por ser menos densa permanece encima del agua salada y es extraída del aparato. En la figura 30 se aprecia el proceso de congelación en vacío.

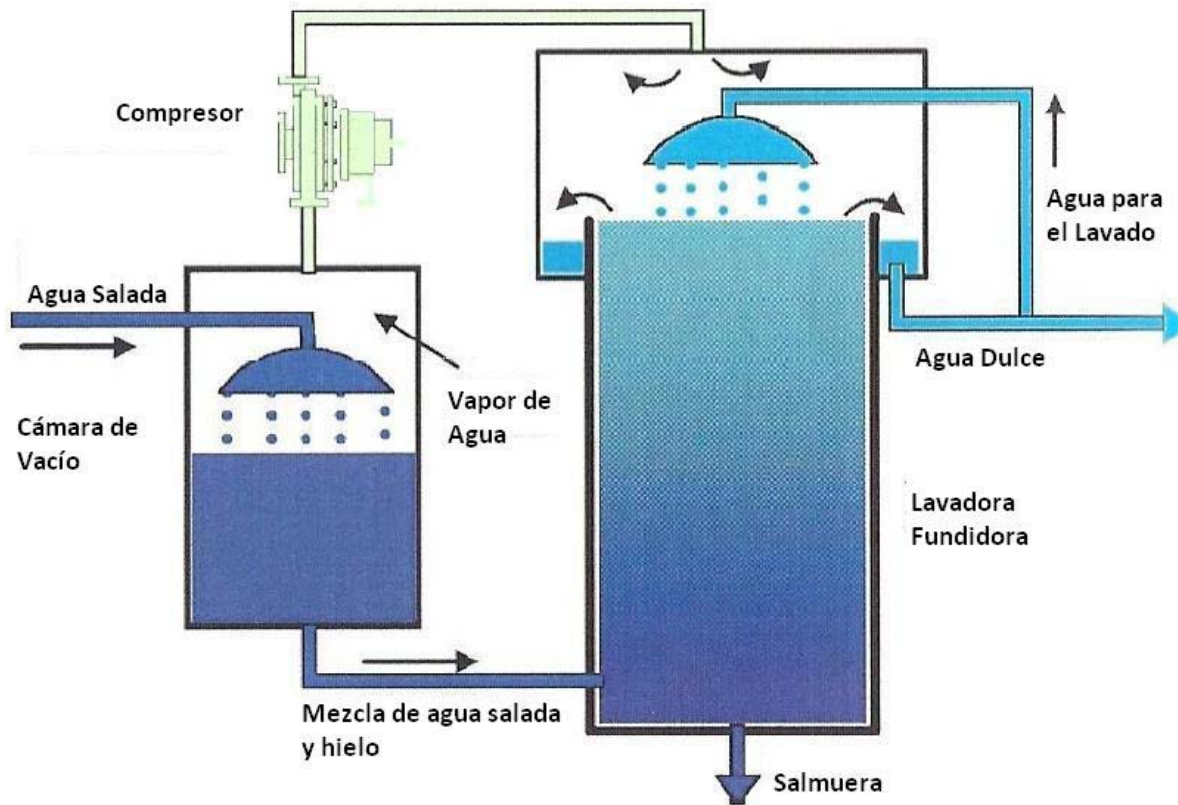


Figura 30 Congelación en vacío (VFD)

(Fuente: Modificada de "A Review of Current Knowledge. Desalination for Water Supply")

2.3.2.7 Congelación usando un refrigerante secundario

En el método de congelación usando un refrigerante secundario (SRF) se emplea un refrigerante de hidrocarburo líquido que no es mezclable con el agua, tal como el butano.

El refrigerante, al entrar en contacto directo con el agua salada, se evapora, produciendo una mezcla de hielo y agua salada. En un aparato conocido como el fundidor (melter en inglés), se extrae el refrigerante vaporizado para su compresión y posterior enfriamiento, antes de ponerlo en contacto directo, de nuevo, con agua salada. También se extrae la mezcla de agua y hielo, la cual se lava antes de llevarla al fundidor para producir agua dulce.

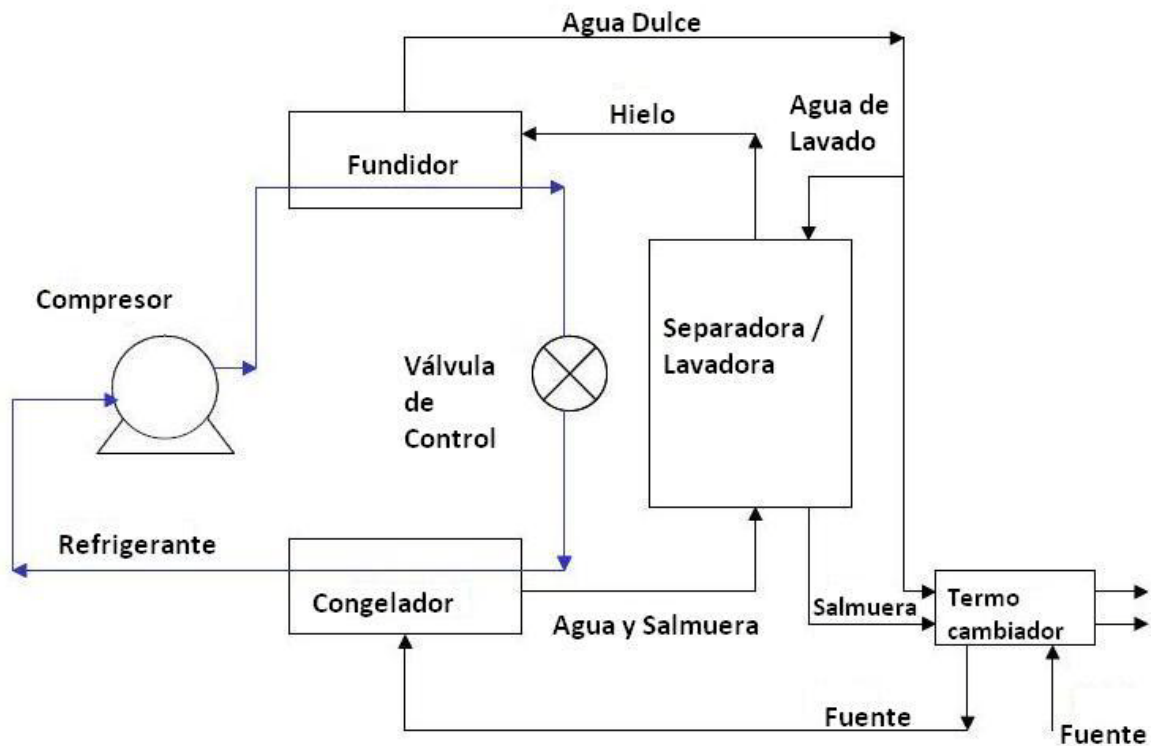


Figura 31 Esquema del proceso SRF

(Fuente: Modificada de "Review of Water Resources and Desalination Technologies")

2.3.2.8 Formación de clatratos

Se mezcla agua salada con un hidrocarburo para formar hidratos. Estos hidratos se conocen como clatratos. En un clatrato las moléculas de agua envuelven a una molécula de hidrocarburo en una forma que se denomina "cage"⁹, causando la formación de una fase sólida que parece hielo. El hidrato produce cristales de hielo que no contienen ninguna de las sales presentes en el agua salada, posteriormente son separados del agua salada y se fusionan para liberar agua dulce.

⁹ La palabra cage significa jaula en inglés.

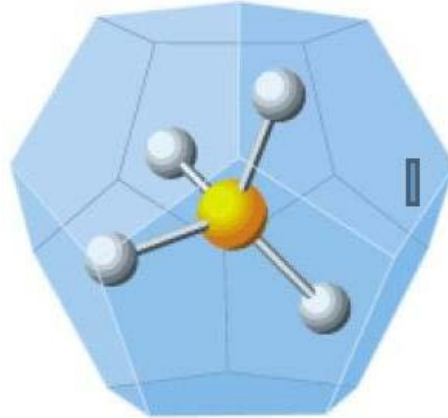


Figura 32 Diagrama de molécula de metano envuelto por "cage" de moléculas de agua.
(Fuente: A Review of Current Knowledge. Desalination for Water Supply)

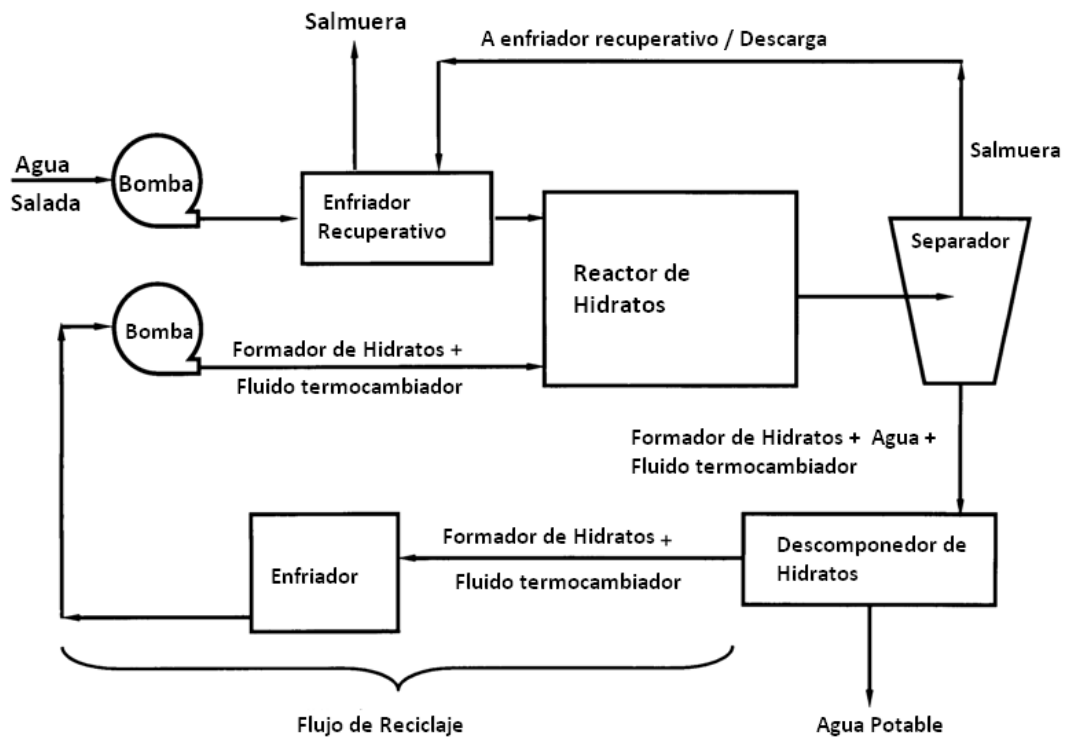


Figura 33 Esquema de formación de clatratos
(Fuente: Modificada de "Complex admixtures of clathrate hydrates in a water desalination method")

Cabe mencionar que aún se encuentra en desarrollo este método, sin embargo, si se logra su realización a gran escala promete ser una alternativa más económica que las tecnologías de membrana y otras tecnologías termales.

2.3.3 Tecnología de intercambio de iones

Un intercambiador de iones es un sólido orgánico o inorgánico que es capaz de intercambiar un ion (anión o catión) presente en sí mismo con otro ion, del mismo tipo, presente en una solución.

En el proceso se pasa agua salada sobre membranas sólidas, algunas de las cuales contienen cationes de hidrógeno (H^+) mientras que otras contienen aniones de hidróxido (OH^-). Las membranas catiónicas atraen los cationes de sodio que reemplazan los cationes de hidrógeno y en las membranas aniónicas los aniones de cloro se intercambian con los aniones de hidróxido. Los iones de H^+ y OH^- presentes en solución se combinan para formar agua.

Durante el uso de las membranas, tanto catiónicas como aniónicas, éstas pierden su efectividad, ya que poseen cantidades fijas de sus respectivos iones, mismos que van reduciéndose en función del volumen de agua salada tratada, es por ello que se requiere su regeneración. Esta regeneración se lleva a cabo utilizando ácido para las membranas catiónicas y sosa caustica para las membranas aniónicas.

Aunque en teoría se puede aplicar el proceso de intercambio iónico para desalinizar cualquier agua salada, en la práctica no es viable para valores de SDT altos, debido a la naturaleza finita de las membranas. Esta tecnología se suele emplear para aguas con valores de SDT de entre 10 y 800 mg/L (Clayton 2006).

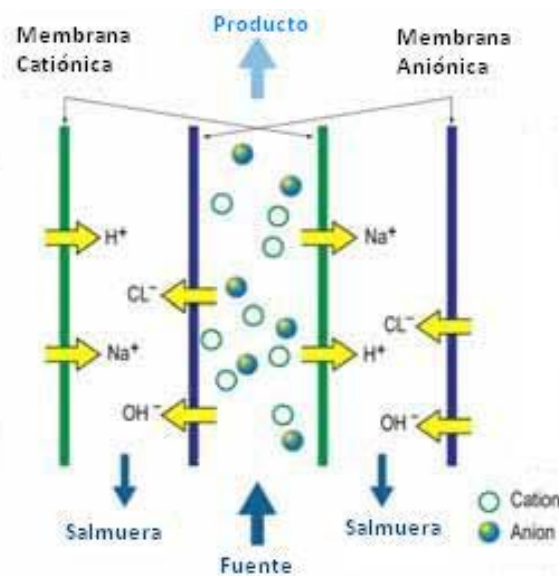


Figura 34 Esquema de intercambio de iones

(Fuente: Modificada de "Renewable Energy Opportunities en Water Desalination")

2.4 Situación presente/ estado del arte

Muchos países, debido al aumento dramático en sus poblaciones y otros factores como el cambio de clima, la contaminación y el desarrollo industrial, han experimentado escasez crónica de agua dulce y, por lo tanto, han tenido que buscar fuentes no tradicionales de agua dulce, en particular la desalinización de agua salada.

Según la asociación internacional para la desalinización (IDA por sus siglas en inglés) se practica la desalinización en 150 países del mundo, siendo 300 millones de personas las que dependen del agua desalinizada para sus necesidades diarias.

A partir del 30 de junio 2011 existen 15,988 plantas de desalinización en el mundo, con una producción global de 66.5 millones de metros cúbicos de agua dulce por día (IDA). Cerca de la mitad de estas plantas se encuentran en el medio oriente.

En el país de San Vicente y las Granadinas hay siete plantas de desalinización, de las cuales seis operan de manera regular y la última está programada para comenzar operaciones a finales del año 2013. Se encuentran tres plantas en la isla de Mustique, y dos plantas en cada isla para Bequia y Canouan.

El Medio Oriente es la región del mundo en donde se presenta la mayor producción de agua desalinizada en el mundo. Contribuye con 53.3% del volumen global. No es sorprendente este dato si se considera el clima árido de la zona y que hay poca disponibilidad de fuentes superficiales de agua dulce. Norte América es la zona en segundo lugar con un producción de 17%. Asia y Europa ocupan el tercer y cuarto lugar con 10.6 y 10.1%, respectivamente. Centro América sigue con 1.8%. África y Sud América empatan para el sexto lugar con 0.6% mientras que Australia se encuentra en el octavo lugar con solamente 0.4%.

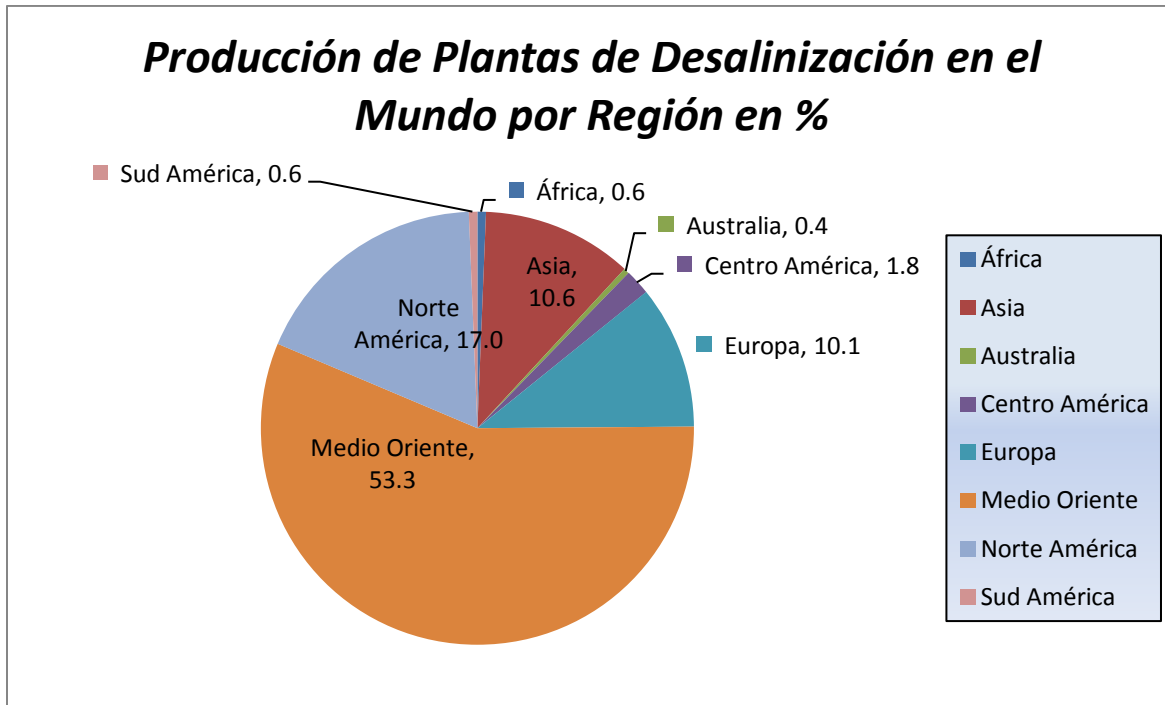


Figura 35 Gráfica de la producción mundial de plantas de desalinización en por ciento por región

(Fuente: Modificada de "Review of Current Knowledge. Desalination for Water Supply")

La mayor fuente utilizada para la desalinización de agua salada es agua del mar con una porción de 67% seguido por agua salobre con un porcentaje de 19% y agua de ríos y agua residual con 8 y 6%, respectivamente.

De las tecnologías de desalinización disponibles las de membranas tienen el mayor uso, seguido por las termales. En el año 2009 el proceso de ósmosis inversa produjo el 59% del agua desalinizada, esta cifra sigue creciendo conforme se presentan innovaciones respecto a los materiales empleados en la fabricación de las membranas ocupadas en el proceso. El proceso de MSF ocupó el segundo lugar en desalinización, con 27% de la producción de agua dulce. Esta tecnología se emplea principalmente en el medio oriente, en países como Arabia Saudita, Bahrén, y Qatar, donde la abundancia de petróleo facilita la provisión de las cantidades grandes de energía requeridas para el proceso. Los procesos de ED, MED y VC se utilizan a pequeña escala representando cuatro, cinco y cuatro por ciento respectivamente. El uno por ciento restante se asocia a otros métodos sin especificar. La distribución global de producción de agua dulce en función de las tecnologías de desalinización se presenta en la figura 36.

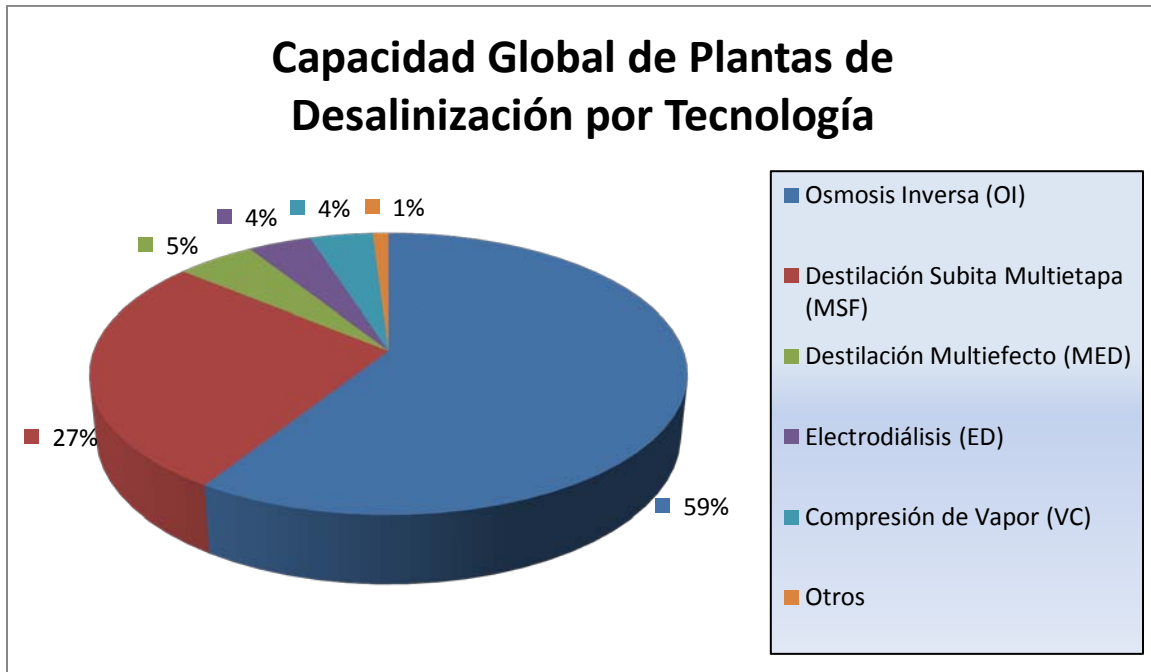


Figura 36 Gráfica de la capacidad global de plantas de desalinización por tipo de tecnología (Fuente: Modificada de "A Review of Current Knowledge. Desalination for Water Supply")

2.5 Limitaciones

Las limitaciones en la aplicación de desalinización como un método para el abastecimiento de agua potable dependen del método que se desea emplear y las condiciones particulares.

Cualquiera de los métodos de desalinización indicados anteriormente requiere la construcción de infraestructura para llevarlo a cabo. Además, para métodos de tecnologías de membranas y varios asociados con las tecnologías termales se requiere infraestructura de apoyo en la forma de plantas de energía eléctrica y líneas de transmisión. Todo lo anterior implica elevados costos de inversión inicial.

Con respecto a la MSF se requieren grandes cantidades de energía que típicamente son producidas por la quema de combustibles fósiles. En países como San Vicente y las Granadinas, que no son productores de tales combustibles, implica su importación a precios del mercado mundial.

La compresión de vapor suele ser viable donde se requiere cantidades de agua desalinizada relativamente pequeñas, como en barcos, hoteles y pequeñas comunidades. No es práctico para casos en donde se requiere producir grandes volúmenes de agua dulce.

En el caso de la destilación solar, para que sea efectivo a escala grande, se requiere una superficie de terreno amplia, debido a que no puede ser profundo el nivel del agua salada para evaporar. Para asegurar que las pérdidas de calor y vapor sean mínimas se tiene que sellar bien el sistema. La formación de alga en estos aparatos es otra limitación significativa ya que implica la contaminación del agua dulce producida. Por otra parte, esta tecnología depende de la radiación solar recibida en la zona, lo que a su vez se afecta por nubes y otros aspectos del clima.

La incrustación que se presenta en los procesos de las tecnologías termales resulta ser una limitación importante para la sustentabilidad de los equipos utilizados. Esta limitación incide sobre todo en la MED.

Las membranas son sensibles al pH, el cloro y otros químicos, lo que provoca la necesidad de emplear otros químicos para su neutralización antes de pasar el agua salada por las membranas. Estos químicos, en ocasiones, resultan ser fuentes de contaminación, al llegar al ambiente submarino en la salmuera.

El método de la formación de clatratos todavía se encuentra en la etapa inicial de su desarrollo. Debido a la necesidad de equipo y químicos especiales que conlleva, disminuye la posibilidad de ser considerado como un método viable para suministrar agua potable a la isla.

En el caso de la tecnología de intercambio iónico, agua con altos valores de SDT requiere un consumo elevado del ácido y la sosa. Por lo tanto, la desalación de agua del mar o agua altamente salobre por intercambio iónico no resulta ser redituable.

2.6 Costos

Los costos asociados con la desalinización se pueden clasificar en capitales y de operación. Los costos capitales se refieren a las erogaciones requeridas durante la planeación, construcción y puesta en marcha de la planta desalinizadora, tales como la compra de terrenos, equipo e infraestructura. Los costos de operación son aquellos asociados al funcionamiento normal de la planta desalinizadora, como la electricidad, sueldos de trabajadores y reactivos químicos empleados.

Tanto los costos capitales como los de operación dependen de varios parámetros, como el acceso a la fuente de agua, la salinidad, calidad y el método de disposición de la salmuera. Se considera un valor de salinidad de 37 000 mg/L correspondiente al valor superior del rango típico de 34,000 mg/L a 37,000 mg/L de agua del mar, según la *Enciclopedia Britannica* en su artículo "Salinity Distribution".

Para el desglose de los costos asociados a la desalinización solo se tomará en cuenta la destilación solar y la ósmosis inversa, esta última debido a que tiene presencia en la región geográfica y, en el caso de la destilación solar, no requiere el uso de equipos ni mano de obra especializada. También

se consideran las limitaciones mencionadas anteriormente respecto al consumo de energía de las tecnologías termales, diferentes a la destilación solar.

Se consideró la demanda proyectada de 533m³/día, tanto para una planta de ósmosis inversa como para la infraestructura de destilación solar. A continuación se desarrollan, tanto los costos capitales como los costos operacionales típicos que se esperan de manera separada para la ósmosis inversa y la destilación solar. En las tablas 11 y 12 se muestran, de forma resumida, los costos asociados a cada método traducidos a valor presente, iniciando en el 2015, ya que los procesos de licitación y construcción requieren al menos un año para llevarse a cabo, y este estudio se realiza al final del año 2013.

Para determinar el valor presente de los costos se emplea la siguiente ecuación:

En donde: VP es el valor presente
 j es el periodo en años
 f_j es el valor futuro en el periodo j
 Tco es la tasa de costo de oportunidad.

La tasa de costo de oportunidad refiere al costo del capital propio y es representativa del mercado. Para este caso se consideran las características del mercado bancario en San Vicente y las Granadinas, donde los intereses esperados, sobre depósitos realizados en los bancos comerciales, oscilan entre tres y cinco por ciento anual. La tasa del costo de oportunidad debe ser mayor que las tasas disponibles en el mercado financiero (Rodríguez Cairo et al 2010) y, por lo tanto, se selecciona una tasa de costo de oportunidad de siete por ciento para esta situación.

2.6.1 Ósmosis inversa

2.6.1.1 Costos capitales

Con base en información de Industrial Services Inc, una empresa dedicada al diseño, manufactura, instalación y mantenimiento de instalaciones para la desalinización, ubicada en Vermont en los Estados Unidos de América, una planta de ósmosis inversa con capacidad de 530m³/día (modelo140SE) con sus accesorios respectivos, repuestos para un año y capacitación de operadores, tendría un costo aproximado de \$283,262 USD, ya operando.

Según las especificaciones del fabricante, ocuparía una superficie de 7.26m por 1.02m y una altura de 2.62m. Para proteger el aparato de la intemperie y a la vez permitir acceso a los distintos componentes, se considera que debe estar en una estructura cerrada, de al menos 10m por 4m y con una altura mínima de 4m. Por ende se considera un terreno de 15m por 20m con la intención

de situar el equipo y también tener una zona para almacenamiento de los insumos e instalaciones para su operador. Considerando que los predios cerca del mar en las zonas de Clifton y Ashton se venden en promedio en \$15 XCD por ft², según un agente local de bienes raíces, lo cual se traduce en \$161.46 XCD por m², un terreno de este tamaño costaría \$48,438 XCD o \$17,922.06 USD.

2.6.1.2 Costos de operación

Anualmente se requiere comprar artículos específicos para la limpieza, mismos que representan un costo de \$3,624 USD, filtros por \$228 USD y químicos que cuestan \$13,572 USD. Lo anterior resulta en un costo anual total de consumibles de \$17,242 USD, para el primer año de operación. Se considera, con base en datos provenientes de usinflation.org, una inflación promedio de 1.5% anual, tomando en cuenta valores de la inflación de los Estados Unidos de América, ya que se suministran estos artículos de tal país. En la tabla 22 del apéndice 3 se muestra de forma detallada el desglose de estos costos.

La planta de ósmosis inversa consume 3.2 kwh de energía eléctrica por cada m³ de agua producido según el fabricante y, por lo tanto, en el año 2040, cuando llega la demanda máxima de 194,454m³ anuales se requerirán 622.25Mwh , que pueden ser suministrados, en parte o su totalidad, por fuentes de energía convencionales o por fuentes renovables, como paneles fotovoltaicos.

En el presente el proveedor de electricidad, VINLEC, establece un costo de \$0.405 XCD por cada kwh para los usuarios industriales con consumos mensuales de 200,001 kwh o mayor. Adicionalmente a esta tarifa se le suma el 15% del valor total por concepto de IVA y un cargo por combustible, que varía según el precio del petróleo en el mercado y. Considerando los valores mensuales para los últimos 3 años proporcionados por VINLEC se le asigna un valor de 51.7%.

Lo anterior implica un costo de \$83,798.57 USD para el consumo, más \$12,569.79 USD por concepto de IVA y \$43,323.86 USD por concepto de cargo por combustible, que resulta, para el primer año de operación de la planta, en un total anual de \$139,692.22 USD. Para años posteriores también se considera una inflación anual de dos punto cinco por ciento, tomando en consideración cifras provenientes de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe, que indica que, para los países suscritos al dólar del Caribe oriental, la inflación, durante el periodo de 2002 a 2010 (Alleyne y Lugay 2011), ha fluctuado entre 0.8 y 5.5%. Para el desglose de los costos de electricidad a detalle, observar la tabla 23 del apéndice 3.

Respecto a los recursos humanos se tomó como base una planta operada en la isla de Bequia, en donde existe 1 supervisor y 2 operadores. Un supervisor recibe mensualmente entre \$2,200 y \$3,170 XCD, dependiendo de su antigüedad. Dicho operador inicia percibiendo \$2,200XCD cada mes, y cada año esta cifra se incrementa en \$97XCD hasta llegar a un máximo de \$3,170XCD. Según sus años de servicio, un operador recibe \$1,750 XCD y \$2,600XCD al mes. El sueldo base es de \$1,750XCD mensual y aumenta cada año en \$85XCD hasta llegar a \$2,600XCD. Adicionalmente

a los salarios existe la contribución al fondo de pensiones nacional, administrado por el Fondo Nacional de Seguros o NIS por sus siglas en inglés. Bajo este concepto el empleado contribuye con 2% de su salario mensual, lo cual se deduce del salario automáticamente y el patrón contribuye con 3% del salario mensual de cada empleado. Para el cálculo de los salarios a largo plazo también se les afectaron por el 2.5% anual de inflación.

Esto indica que en el primer año de operación el supervisor representa un costo de \$27,192 XCD, mientras que un operador cuesta \$21,630 XCD. Por ende en el primer año el total anual erogado para salarios será \$70,452 XCD que son \$26,067.24 USD. En las tablas 25 y 26 del apéndice 3 se puede apreciar, a detalle, el desglose de los costos relacionados con los salarios.

2.6.1.3 Costos resumidos de la ósmosis inversa

Considerando todos los costos capitales y costos de operación anuales desglosados en las secciones 2.6.1.1 y 2.6.1.2, transformándolos a valor presente para luego sumarlos, se determina un costo total de \$9,060,728.89 XCD o \$3,355,650.96 USD, como se muestra en la tabla 11.

Tabla 11 Costos asociados con la desalinización por ósmosis inversa
(Fuente: Elaboración propia)

Costos capitales	XCD	USD
Suministro y colocación de planta desalinizadora	\$701,983.05	\$262,915.00
Terreno	\$48,438.00	\$17,922.06
Total costos capitales	\$750,421.05	\$280,837.06
Costos de operación anual totales en valor presente		
Costos de operación	XCD	USD
Artículos de limpieza, filtros, químicos	\$652,497.48	\$241,424.07
Electricidad	\$6,307,748.45	\$2,333,866.93
Salarios	\$1,350,061.92	\$499,522.91
Total costos de operación anual	\$8,310,307.84	\$3,074,813.90
Costo total de la opción en valor presente		
Total	\$9,060,728.89	\$3,355,650.96

2.6.2 Destilación solar

2.6.2.1 Costos capitales

La destilación solar implica la construcción de un aparato grande o varios aparatos de tamaño menor con capacidad total para producir la demanda diaria. Se requiere construir una bahía de poca profundidad para colocar el agua salada proveniente del mar, sobre la cual se construye una especie de invernadero sellado, que permite la condensación del vapor formado y luego su posterior captación.

Un aparato de destilación solar en buen estado de mantenimiento requiere un metro cuadrado para producir hasta seis litros de agua dulce por día, sin embargo en promedio, suelen producir volúmenes diarios cercanos a tres litros por metro cuadrado (Kunze 2001). La producción depende de la eficiencia del aparato, que a su vez está determinada por el estado de conservación y mantenimiento, además de factores climatológicos.

Para determinar el área requerida en la isla Unión se consideró una producción de agua dulce, por cada aparato, de cuatro punto cinco litros por metro cuadrado por día. Lo anterior implica la necesidad de un área de 118,444m² para efectuar la evaporación. Si se considera que el área determinada sea en forma cuadrada, significa que se requiere, solamente para el aparato, un terreno de dimensiones mínimas de 344m por 344m. Considerando el precio promedio de \$59.74 USD por metro cuadrado, el costo de un terreno con estas características será de \$7, 075,894.80 USD. Tomando en cuenta que también se requiere una zona para colocar el equipo de bombeo y espacio para almacenamiento, se considera un área adicional de 5m por 5m, la cual implica un costo de \$1,493.51 USD. Por lo tanto, el costo total de terreno será \$7, 077,388.31 USD.

Se propone que la bahía o piso del aparato sea una losa de concreto reforzado de 8cm de espesor, cubierto con un impermeabilizante de color negro para facilitar la captación de la radiación solar. Por metro cuadrado de dicha bahía se propone, con base en información obtenida de varios ingenieros civiles del país, un costo de \$105.45 USD. Por lo tanto, el área total del aparato representa un costo de \$12, 489,919.80 USD.

Respecto a la cubierta, se propone el uso de una estructura formada por aluminio y láminas, de policarbonato transparente, debido a su ligereza y resistencia a corrosión e impactos. Dicha estructura se apoya, en su perímetro, sobre muros de bloque de concreto huecos con cara lisa, con dimensiones de 15cm x 15cm x 30cm.

Para el techo, se considera emplear una forma de dos aguas, apoyada en tres muros consecutivos, tal que el medio tiene una altura de 1.4m, y los inmediatos a este tienen una altura de 70cm. En el perímetro se consideran muros de 70cm de altura sobre los cuales, en una dirección, se apoyan directamente las láminas de policarbonato y, en la otra dirección, sobre perfiles de aluminio anclados al muro. El espacio entre el muro y el techo que se encuentra a los lados se

cubre empleando el mismo tipo de lámina como la utilizada en el techo. En la figura 38 se muestra la forma del destilador solar

El costo total para los muros es \$498,362.25 USD. El desglose de todos los costos asociados con los muros se encuentra en la tabla 27 del apéndice 3. A continuación se explica el proceso para llegar a esta cifra.

Para los muros de 70cm y de 1.40m, se requiere, por cada metro lineal, 12 y 24 bloques, respectivamente. Cada bloque tiene un costo de \$1.11 USD, lo cual implica un costo de \$19.98 USD y \$39.96 USD, respectivamente. Después se determinó el volumen de mortero que se requiere en cada metro lineal de muro para las dos alturas, lo cual resultó en 0.015m^3 y 0.030m^3 , para las alturas de 70cm y 1.4m, respectivamente. Con base en información recibida de ingenieros civiles del país se determinó que un metro cubico de mortero representa un costo aproximado de \$37 USD. Por lo tanto, el costo por metro lineal de muro asociado al mortero es de \$0.97 USD y \$1.94 USD, para los muros de 70cm y 1.4m, respectivamente.

Respecto a la estructura de aluminio y policarbonato transparente, se determinó que una sección inclinada, correspondiente al techo que se encuentra entre un muro de 70cm de altura y el siguiente de 1.4m, tiene un área de $1,728.6\text{m}^2$. En la instalación completa hay 68 de estas secciones, lo cual implica que el área total de policarbonato, en las secciones inclinadas, es de $117,543\text{m}^2$. Respecto a los lados verticales, cada sección triangular tiene un área de 1.75m^2 . En cada lado hay 68 de tales secciones, resultando en un total de 136, lo que presenta un área total de 119m^2 . Por lo tanto, se requiere un área total de $117,662\text{m}^2$ de lámina de policarbonato para toda la estructura. A la cifra anterior se le suma un 5% por concepto de mermas, lo cual representa un área de 5883m^2 . Por lo tanto, el área de lámina de policarbonato es de $123,545\text{m}^2$.

Con base en la solicitud de información y a la búsqueda en distintos sitios web de varios fabricantes chinos de lámina de policarbonato transparente, se obtuvo un rango de cotizaciones por metro cuadrado de policarbonato con y sin flete. De estos se decidió utilizar la cotización de la compañía *Guangdong Hongbo Building Materials Science and Technology Company Ltd*, cuyo sistema *u lock* de láminas de dos capas con un grosor total de seis milímetros, es lo más apropiado por su tamaño y características que previenen las fugas. El precio cotizado por metro cuadrado del sistema *u lock* es \$12.50 USD. El precio del flete, con seguro incluido, es de \$6.00 USD. Lo anterior implica un costo total de \$2, 302,462.74 USD para un pedido de $123,545\text{m}^2$ de lámina de policarbonato.

Como los muros centrales de altura de 1.4m no llegan hasta el perímetro, se ocupan barras de aluminio horizontales apoyadas sobre barras verticales del mismo material para proveer apoyo a las láminas de policarbonato. Por cada lado se encuentran 34 barras verticales de 70cm de longitud y 68 barras horizontales de un metro de longitud, lo cual implica una longitud total de 180m. A esta cifra se le agrega 3% de longitud por concepto de merma, que resulta en una necesidad de 190m de barras de aluminio. En la figura 37 se muestra el esquema de una sección con un muro interior, un muro perimetral, las láminas de policarbonato y sus barras de aluminio respectivas.

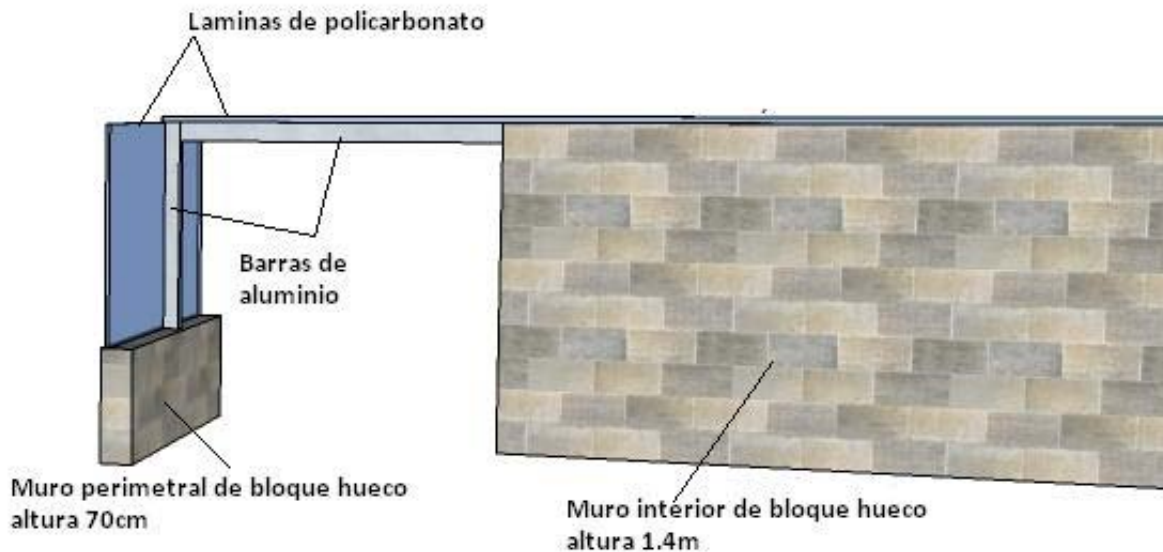


Figura 37 Esquema de las instalaciones propuestas para la destilación solar.

(Fuente: elaboración propia)

Tanto para las barras horizontales como para las verticales se considera el uso de perfiles de aluminio extruidos de dimensiones 50mm x 100mm fabricados por la compañía *AluFab* ubicada en Ohio, Estados Unidos de América, considerando sus respectivas conectores. Con base en información disponible en su sitio web cada metro de perfil representa un costo de \$37.79 USD, lo cual implica un costo de \$11,578.06 USD para los 190m requeridos. Cada barra horizontal ocupa en sus dos extremos un bracket que requiere seis conectores, lo cual resulta en un total de 430 brackets y 2,580 conectores, considerando una merma de cinco por ciento en cada uno. Lo anterior implica costos de \$3,048.70 USD y \$1,367.40 USD, para los brackets y conectores respectivamente. Por lo tanto, el costo total de las vigas de aluminio con su equipo complementario es \$16,871.68 USD. En la tabla 29 del apéndice 3 se encuentran los costos asociados a la techumbre de láminas de policarbonato y las barras de aluminio.

Para que funcione el destilador solar se necesita que haya agua salada en su bahía. Por lo tanto, se introduce agua de mar en el aparato con el empleo de una bomba eléctrica. Ya que en el destilador la profundidad máxima que debe tener el agua es de 8 cm se emplea una profundidad de operación de 6cm, que corresponde a un volumen de agua de $71,066\text{m}^3$.

Se propone llenar el destilador en seis horas, lo cual implica un gasto de $11,844\text{m}^3/\text{h}$ que corresponde a 3,290 L/s. Se considera que la carga vertical entre el mar y la bahía sea cinco metros. Consultando a un representante del fabricante de bombas de origen chino, *Shijiazhuang*

Shiao Pump Industry Company Ltd, se determinó que ocho de sus bombas, modelo MG300G, cada uno con capacidad para bombear 1500m³/h son adecuadas para la tarea.

Cada unidad tiene un costo de \$29,500 USD, su motor y accesorios representan un costo \$4,920 USD. Por lo tanto, para las ocho unidades requeridas el costo asciende a \$275,360 USD, y su flete con seguro a San Vicente asciende \$53,000 USD y, por ende, el costo total asociado a las bombas es \$328,360 USD. En la tabla 29a del apéndice 3 se muestra el desglose de los costos iniciales asociados a las bombas

Con base en los lineamientos de la CONAGUA, la vida útil de equipo electromecánico en estaciones de bombeo es de 8 a 20 años. Por lo tanto se considera el reemplazo de las bombas, sus motores y accesorios en 15 años. Considerando los precios anteriores afectados por la inflación anual de 3¹⁰, luego traducidos al valor presente, el costo de reemplazar una bomba será \$16,658.03 USD mientras que su motor y accesorios representan un costo de \$2,778.22 USD. En la tabla 29b del apéndice 3 se muestra el desglose de los costos asociados al reemplazo a las bombas. Las ocho unidades con sus motores y accesorios representan un costo de \$155,490.03 USD en valor presente. El flete con seguro representa un costo de \$29,927.99 USD en valor presente. Por lo tanto el total costo asociado al reemplazo de las bombas es \$185,418.03 USD en valor presente.

¹⁰ Se establece este valor con base en información del Fondo Monetaria Internacional para la inflación al mundial

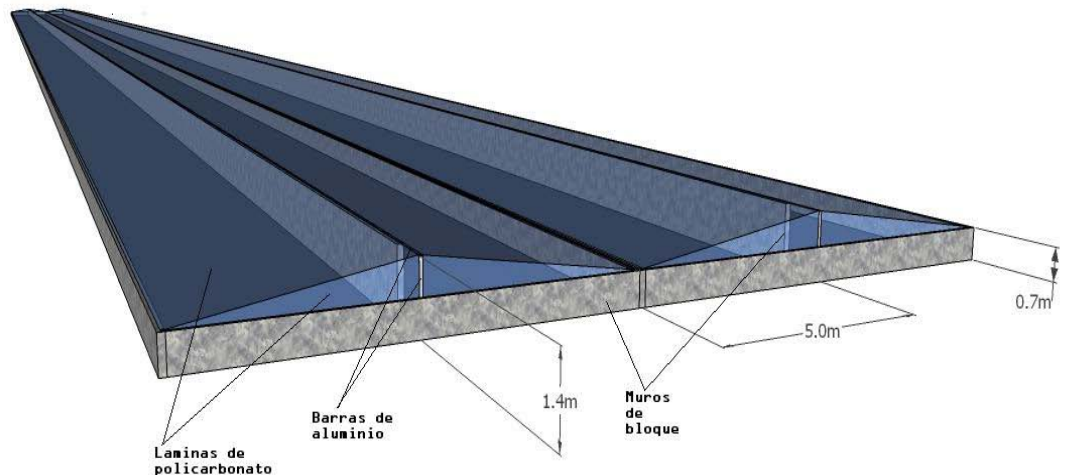


Figura 38 Diagrama de las instalaciones propuestas para la destilación solar.

(Fuente: elaboración propia)

2.6.2.2 Costos de operación

Respecto la bomba modelo MG300G, mencionada en la sección 2.6.2.1 Costos capitales, según su fabricante tiene una potencia eléctrica de 110 kw, lo cual implica un consumo de 660kwh por sus seis horas de operación diaria. Esto significa que las ocho unidades consumen 5,280kwh de energía eléctrica por día, lo que corresponde a un consumo anual de 1927.2Mwh. En el primer año de operación este consumo representa un costo de \$481,414.46 USD. Las tablas 34a y 34b del apéndice 3 muestran a detalle la determinación del consumo de energía eléctrica y sus correspondientes costos anuales.

La operación diaria del destilador solar implica la necesidad de un operador de bombas y dos trabajadores para la limpieza de las instalaciones. Además se considera un supervisor.

A un trabajador de limpieza, por mes, se le paga entre \$750 XCD y \$1,110 XCD, dependiendo de su antigüedad. Inicia percibiendo \$750 XCD y esta cifra aumenta cada año por \$45 XCD hasta llegar a un máximo de \$1,110 XCD. Se utilizan los mismos valores de salario mensual asignados a los operadores y el supervisor previamente analizados en la opción de ósmosis inversa.

Adicionalmente se consideran la contribución al fondo de pensiones nacional y la inflación anual según los lineamientos en la sección 2.6.1.2 Costos de operación.

Tomando en cuenta la información del párrafo anterior en el primer año de operación el supervisor implica una erogación de \$27,192.00 XCD, el operador \$21,630.00 XCD y los dos trabajadores de limpieza \$21,012.00 XCD. Lo anterior resulta en un total de \$69,834.00 XCD que corresponde a \$25,838.58 USD, erogado en salarios, en el primer año. En las tablas 30, 31 y 32 del apéndice 3 se puede apreciar, a detalle, el desglose de los costos relacionados con los salarios.

2.6.2.3 Costos resumidos de la destilación solar

Considerando todos los costos capitales y costos de operación explicados en las secciones 2.6.2.1 y 2.6.2.2 se determina un costo total, en valor presente, de \$31, 104,572.94 USD. En la tabla 12 se muestran, de forma resumida, tales costos

Tabla 12 Costos asociados con la desalinización por Destilación Solar
(Fuente: Elaboración propia)

Costos Capitales	XCD	USD
Terreno	\$19,128,076.51	\$7,077,388.31
Losa	\$33,756,540.00	\$12,489,919.80
Muros	\$1,346,925.00	\$498,362.25
Policarbonato y aluminio	\$6,208,565.18	\$2,297,169.12
Bombas	\$887,459.46	\$328,360.00
Reemplazo de bombas	\$501,129.80	\$185,418.03
Total costos capitales	\$61,828,695.95	\$22,876,617.50
Costos de Operación Totales en valor presente		
Costos de Operación	XCD	USD
Salarios	\$1,423,477.31	\$526,686.60
Electricidad	\$20,814,240.09	\$7,701,268.83
Total Costos de Operación	\$22,237,717.39	\$8,227,955.43
Costo Total de la opción en Valor Presente		
Total	\$84,066,413.35	\$31,104,572.94

3 Otras alternativas para suministrar agua potable

3.1 Captación de agua subterránea

La captación de agua subterránea se utiliza para suministrar agua potable en muchas regiones del mundo e incluso fue empleado en la isla Unión hasta la sexta década del siglo XX. Consiste en perforar pozos para luego extraer agua del acuífero. En el caso de pozos poco profundos esta extracción, a menudo, se realiza con cubetas conectadas a cuerdas. Para pozos de mayor profundidad se requiere el uso de equipo de bombeo.

Como se indicó en la sección, 1.3.2.1 Agua subterránea/pozos, se presenta intrusión salina en el acuífero, lo que hace que esta fuente no se considere para el suministro de agua potable a la población.

3.1.1 Elementos requeridos

A pesar de la existencia de seis pozos en la isla, la ubicación de estos no permite la instalación de los equipos necesarios para un sistema de abastecimiento de agua potable para un uso no doméstico. Por lo tanto, se prevé la necesidad de la perforación de nuevos pozos en ubicaciones con más espacio en sus alrededores, o en su defecto, el gobierno puede expropiar los terrenos cercanos a los pozos públicos, adquiriendo así el espacio necesario.

A raíz de que ninguno de los pozos existentes cuenta con una bomba en la actualidad, para extraer el agua e introducirla en un sistema de abastecimiento público se necesitarán instalar estaciones de bombeo, tanto en los pozos nuevos como en los pozos públicos ya existentes.

Como se mencionó en el apartado 1.3.2.1 Agua subterránea/pozos, el agua subterránea en la isla ya es altamente-salobre y, por lo tanto, para que dicha agua sea apta para consumo humano es necesario el uso de mecanismos para la remoción de las sales

3.1.2 Limitaciones

El agua subterránea ya presenta intrusión salina en todas sus fuentes y, por lo tanto, requiere tratamiento extra para su potabilización.

Con la extracción de cantidades mayores de agua para el uso humano los niveles de intrusión salina se incrementarán aún más, lo que implica mayor necesidad de tratamiento y un costo mayor.

Los pozos públicos actuales se ubican en zonas con espacio muy limitado en sus alrededores, lo que no facilita su empleo como parte de un sistema de abastecimiento de agua potable.

3.1.3 Costos

Los principales costos asociados con este método son las erogaciones para la infraestructura requerida para la extracción del agua y la posible compra de terrenos. Sin embargo, debido al hecho de que se requiere otro método para remover las sales, además de su extracción, no se considera este método como viable y, por lo tanto, sus costos son irrelevantes.

3.2 Captación de agua de lluvia

La captación del agua proveniente de la lluvia ya ha sido una práctica empleada desde hace mucho tiempo, tanto en la isla Unión como en otras partes del país. Para los efectos de este estudio se considera la captación pública masiva en lugar de la captación privada, misma que ya se practica en la actualidad.

3.2.1 Elementos requeridos

Debido a la limitada extensión territorial de la isla y su geomorfología, la cual presenta grandes pendientes, el agua de la lluvia escurre con gran rapidez, lo que implica la necesidad de contar infraestructura para canalizar tales escurrimientos a las ubicaciones deseadas, para luego almacenar, potabilizar y distribuir a la población.

Como la precipitación es estacional, esto conlleva la necesidad de la construcción de una presa, estanques u otros contenedores para almacenar el agua proveniente de la lluvia por periodos extendidos. Con base en las proyecciones de demanda y considerando pérdidas por evaporación de 10%¹¹ se necesitará una presa con capacidad para almacenar, aproximadamente, 105,500 m³ de agua para los 6 meses que corresponden a la estación seca. Si en lugar de ocupar una presa se utilizan tanques u otros contenedores cerrados, considerando pérdidas de 2%, se necesitará, para el mismo periodo, una capacidad de almacenaje de poco menos de 98,000m³ de agua.

Adicionalmente a los contenedores de almacenamiento, para poder determinar la cantidad de agua almacenada, existe la necesidad de equipos de medición y equipo de bombeo.

¹¹ Esta cifra se fijó con base en pláticas con personal de la CWSA que laboran en el Departamento responsable de la construcción y mantenimiento de obras civiles de este organismo.

3.2.2 Limitaciones

Para esta opción se pueden prever varias limitaciones. En las Granadinas, debido a la naturaleza no predecible de la precipitación, se pueden presentar lluvias torrenciales o períodos agudos de escasez.

Otro aspecto negativo, adicional a la naturaleza no predecible de la precipitación, es la falta de información confiable, reciente y de largo plazo, lo cual no facilita la determinación de la cantidad de agua disponible. Ello implica la necesidad de instalaciones grandes para almacenar el volumen suficiente de agua para abastecer a la población en tiempos de estiaje.

Para reducir las pérdidas de agua que resultan de la evaporación se establece que el almacenamiento sea preferiblemente en tanques. Aun así se presenta la posibilidad de escasez, lo que supone la el requerimiento de otras fuentes.

La opción requiere terreno relativamente plano. En la isla, superficies con estas características, suelen ser muy caras, ya que se encuentran en zonas turísticas.

3.2.3 Costos

Como todas las otras opciones se pueden dividir los costos asociados a la captación de agua de lluvia en costos capitales y costos operacionales. En este caso la inversión inicial en la construcción de la zona de captación y de la zona de almacenaje con su necesaria infraestructura son los costos capitales. Mientras que los conceptos de salarios, limpieza y mantenimiento constituyen los costos de operación.

Tomando en cuenta los periodos de sequía, que ha experimentado las islas de las Granadinas durante los últimos 15 años, no se puede dar certeza de la continuidad en el abastecimiento, lo que hace inviable esta alternativa, por lo tanto, no se calcularon los costos asociados

3.3 Traslado de agua desde otros sitios

En todo sistema de abastecimiento de agua potable se traslada agua de un sitio a otro, esta acción se suele llevar a cabo por medio de un conjunto de tuberías, accesorios y equipo electromecánico. Sin embargo, en términos de esta tesis, debe de entenderse por traslado de agua al uso de algún vehículo motorizado para transportar agua potable, dentro de contenedores, desde un sitio ajeno a la isla.

3.3.1 Elementos requeridos

Para que el traslado de agua sea efectivo se necesita contar con la infraestructura de transporte, así como de almacenamiento y distribución. Sin embargo, acorde con los alcances de esta tesis, solo se analizan los elementos relacionados con el traslado y almacenamiento.

El traslado implica la adquisición de un barco de tamaño adecuado, con aditamentos adecuados para el traslado del agua, ya sea por arrendado o comprado. Por ejemplo, un barco con capacidad para transportar 1800m^3 tendrá dimensiones aproximadas de 71m de largo por 12m de ancho y 3.6m de calado. Entonces, debido al espacio portuario limitado, resulta conveniente la colocación de equipo especializado, como boyas y tubería submarina, para recibir el agua de los barcos.

En el caso de que no existan las condiciones para tener barcos, por ejemplo la falta de recursos para su adquisición, se pueden ocupar, en su defecto, camiones pipas, que se pueden transportar en alguno de los barcos que navegan entre la isla principal y las Granadinas con capacidad para cargar vehículos.

Se necesitarán construir tanques de almacenamiento ubicados cerca de la costa para recibir el agua trasladada y servir como elemento para la presurización de la red de distribución. Para tener una reserva de dos semanas de agua se proyecta la necesidad de almacenar 7500m^3 .

3.3.2 Limitaciones

El traslado de agua de otros sitios presenta pocas limitaciones o inconvenientes, sin embargo, aunque pocas, tienen impactos a gran escala.

Su principal limitación es el alto costo económico, tanto en su implementación como en su operación y mantenimiento. Requiere una inversión inicial grande por concepto de i tanques de almacenamiento, equipo y vehículos. La operación y mantenimiento de los equipos y vehículos conllevan costos elevados, debido a que se encuentran en un ambiente agresivo, donde prevalece la oxidación de metales no protegidos.

Los costos de operación serán altos debido al uso de combustibles que requieren los vehículos para el transporte. Es importante notar que los costos de estos combustibles, aunque fluctúan, han tenido la tendencia de aumentar con el paso del tiempo.

Otra limitación importante es que en periodos de estiaje puede resultar difícil que la isla principal de San Vicente provea el agua requerida por la isla Unión, ya que es probable que la necesite para cubrir sus propias necesidades.

3.3.3 Costos

Así como todos los otros métodos de suministro de agua potable considerados, los costos, asociados al traslado de agua, consideran costos capitales y costos de operación. En la tabla 13 se muestran, en forma resumida, los costos capitales y los costos de operación anuales asociados a este método de abastecimiento de agua

3.3.3.1 Costos capitales

Los costos capitales de este mecanismo de abastecimiento de agua incluyen la adquisición de una embarcación de dimensiones adecuadas, la adquisición del terreno requerido y la construcción de los tanques de almacenamiento en la isla.

Con base en información recopilada de varias fuentes de internet un barco usado con capacidad cercana a 1800m³ representa un costo entre \$250,000 y \$410,000 USD. Una embarcación nueva con capacidad cercana a los 1200m³ representa un costo aproximado de \$750,000 USD, según la *Coosa Alabama River Improvement Association*.

Respecto al almacenamiento proyectado de 7500m³ de agua se considera utilizar tanques verticales de acero galvanizado con sus respectivas protecciones contra la corrosión. La compañía Tankeros, ubicada en Madrid, España, la cual se dedica a la fabricación de tanques metálicos verticales para el almacenamiento de líquidos, ofrece varias opciones de tanques, con capacidades cercanas a los 2500m³. Con base en la consulta de información de dicha empresa se opta por el modelo 2210 que tiene un diámetro de 16.764m, una altura de 11.942m y capacidad de almacenamiento de 2,537m³.

El modelo 2210 con una membrana interior de butilo, techo cónico y con sus accesorios relevantes para el uso contemplado, tiene un costo de 130,144€, incluyendo flete por unidad, según el Sr Antonio Franco del departamento de proyectos de Tankeros. Esto equivale a \$179,598.72 USD. Por otra parte se estima, con base en información obtenida de un constructor local, un costo de \$20,000 XCD para la construcción de la cimentación de cada tanque. Por ende el costo por cada tanque es de \$187,310.11 USD, lo cual resulta en un costo total de \$561,930.34 USD por las 3 unidades requeridas. En la tabla 34 del apéndice 4 se muestra el desglose detallado de este concepto.

Tomando en cuenta los tanques circulares previamente mencionados se prevé la necesidad de un terreno con dimensiones de 90m por 30m. Para facilitar la transferencia del agua este terreno se debe encontrar cerca de la costa. Con base en información obtenida de dos agentes de bienes raíces, terrenos en la isla Unión cercanos al mar en las zonas de Clifton y Ashton, se venden, en promedio, en \$15.00 XCD por ft², lo que resulta en \$161.46 XCD por m². Por lo tanto, el precio del terreno es de \$435,942.00 XCD, lo que corresponde a \$161,298.54 USD.

A pesar de que no son previstas operaciones nocturnas en la alternativa de traslado de agua se considera la necesidad de iluminación, por lo menos en su perímetro. Para este propósito se considera el uso de lámparas proyectores de LED. Se sugiere el uso de lámparas con potencia de 50w que se encuentran en el mercado en un rango de precios de \$40 USD y \$50 USD por pieza. Se supone la instalación de ocho lámparas en el terreno con sus correspondientes postes y cableado. Se asigna un costo de \$200 USD para cada poste, cifra que incluye su cableado. Por lo tanto, el costo total de la iluminación es \$2,000 USD. Para observar el desglose detallado de la iluminación referirse a la tabla 35 del apéndice 4.

Para realizar el mantenimiento preventivo de los equipos y otros aspectos de las instalaciones se considera un taller de mantenimiento. Con base en información obtenida de fabricantes locales, que están en proceso de establecer un taller para la fabricación de piezas metálicas, se asigna un costo de \$55,500 USD por concepto de taller de mantenimiento incluyendo el equipo y las herramientas necesarias

3.3.3.2 Costos de operación

Respecto a los costos de operación se consideran los siguientes: combustible para el barco, salarios, electricidad y mantenimiento. A continuación se indica cómo se obtienen los valores correspondientes a cada concepto, mismos que se encuentran en la tabla 13.

El barco empleado para el traslado, según información obtenida de consultas en varios sitios web, suele ocupar motores de entre 1300HP y 2000HP de potencia. Según datos de la junta de recursos del aire de California, CARB por sus siglas en inglés, para barcos de esta naturaleza se ha observado un consumo aproximado de 164.65 litros de combustible por hora. Con base en pláticas con dos capitanes de barcos que suelen navegar en la zona, desde el puerto de Kingstown al puerto en Clifton la distancia oscila entre 45km y 48km, según la ruta que se decide tomar, y el traslado suele durar entre 3.5 y 4 horas, pero puede alcanzar hasta cuatro y media horas, dependiendo de las condiciones del mar. Para los propósitos de esta tesis se considera el tiempo de viaje de cuatro y media horas, ya que es el peor escenario y se presenta a menudo durante la estación de huracanes y también durante los meses de marzo y abril.

El escenario más desfavorable implica un consumo de 741 litros de combustible por viaje. Se considera que durante un año el barco realizará 130 viajes, de San Vicente a la isla Unión, lo cual implica un consumo anual de 96,320 litros. Para cada viaje realizado a la isla Unión hay uno de regreso a San Vicente. Debido a que el barco navega de la Isla Unión a San Vicente sin carga se supone que su consumo de combustible es un 30% menor y, por lo tanto, corresponde a 461 litros de combustible por cada viaje y, por lo tanto, 59,933 litros de combustible por año.

Además, se considera el combustible utilizado por el barco para bombear el agua de sí mismo a los tanques de almacenamiento en tierra. Con base en pláticas con un capitán jubilado que estuvo a cargo de barcos que suministraron combustible a las islas sureñas del Caribe, un volumen de este tamaño tarda alrededor de cuatro horas en ser bombeado y el consumo de combustible que esto

conlleva es de alrededor del 60% del consumo por navegación. Por lo tanto, se considera un consumo de 395 litros de combustible en cada viaje a la isla Unión para tal concepto, lo cual corresponde a un consumo anual de 51,371 litros.

El precio de diesel en San Vicente y las Granadinas, a la fecha del 20 de Octubre de 2013, es de \$13.78 XCD por galón, lo que corresponde a un costo de \$1.35 USD por litro. Sin embargo, a pesar de que el gobierno ha dado subsidios para mantener un precio estable al consumidor, está sujeto a los precios del petróleo del mercado mundial. Por lo tanto, se aplica una tasa de inflación de 2.5% a cada año sucesivo, empezando con el precio corriente y tomando, como el punto de partida, el precio del 2015. En el primer año de operación el costo de diesel será de \$1.41 USD por litro, lo que implica un costo por concepto de combustible atribuido al barco de \$293,455.27 USD.

Respecto al consumo de electricidad esperada por esta alternativa se considera que el taller consume en promedio 10kwh de energía eléctrica diaria y que este opere por 240 días en el año, lo cual resulta en un consumo anual de 2400 kwh. También se considera la energía consumida por la iluminación perimetral, tomando en cuenta una operación diaria de 12 horas para los 365 días del año. Estos dos conceptos resultan en un consumo anual total de 4152 kwh. Para el primer año de operación, por la electricidad, se espera una erogación de \$1,037.17 USD, considerando una tarifa de \$0.15 USD. En la tabla 43b del apéndice 4 se encuentra el desglose detallado del costo anual de la electricidad.

3.3.3.2 Costos resumidos del traslado de agua

Tabla 13 Costos asociados con el traslado del agua
(Fuente: Elaboración propia)

Costos Capitales	XCD	USD
Terreno	\$435,942.00	\$161,298.54
Tanques	\$1,988,416.11	\$561,930.34
Iluminación	\$5,405.41	\$2,000.00
Taller con equipo	\$150,000.00	\$55,500.00
Barco	\$2,002,500.00	\$750,000.00
Total costos capitales	\$4,582,263.52	\$1,530,728.88
Costos de operación totales en valor presente		
Costos de operación	XCD	USD
Salarios	\$3,951,434.28	\$1,462,030.68
Combustible	\$10,262,330.74	\$5,256,460.55
Electricidad	\$44,842.63	\$16,591.77
Total costos de operación	\$14,258,607.65	\$6,735,083.01
Costo total de la opción en valor presente		
Total	\$18,840,871.17	\$8,265,811.89

4 Análisis y comparación de las alternativas consideradas

Por ser las opciones más viables por acceso a tecnologías y facilidad de implementación, se decidió tomar en cuenta solamente las tres alternativas siguientes: i) la desalinización por ósmosis inversa, ii) la desalinización por destilación solar y iii) el traslado de agua de otro sitio.

Los costos capitales totales de la desalinización por ósmosis inversa, desalinización por destilación solar y el traslado de agua de otros sitios es de \$280,837.06 USD, \$22, 691,199.48 USD y \$1,530,728.88 USD, respectivamente. Debido a que requiere la menor cantidad costos capitales, la opción de desalinización por ósmosis inversa resulta ser la más conveniente de las tres alternativas analizadas.

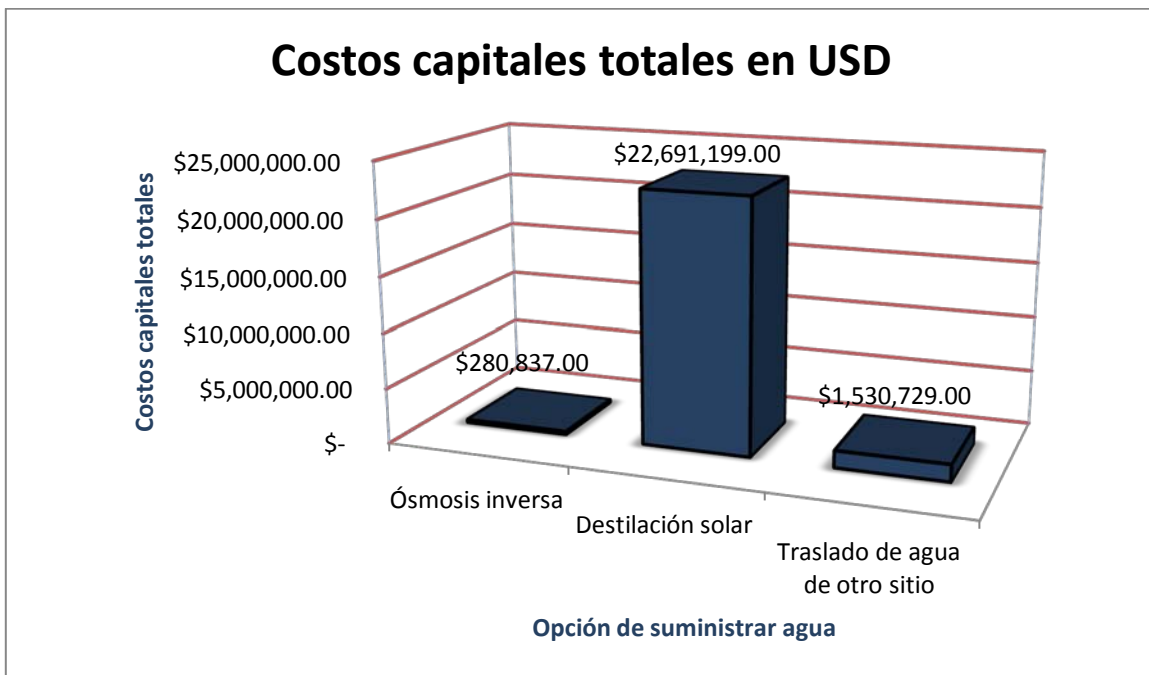


Figura 39 Gráfica de los costos capitales totales en dólares americanos
(Fuente: Elaboración propia)

Los costos totales de operación de cada alternativa transformados a valor presente son \$3, 074,813.90 USD, \$8, 227,955.43 USD y \$6,735,083.01 USD para la ósmosis inversa, la destilación solar y el traslado de agua, respectivamente. Así como sucede en el caso de los costos capitales, la opción de desalinización por ósmosis inversa presenta el costo menor y, por lo tanto, es la opción más viable.

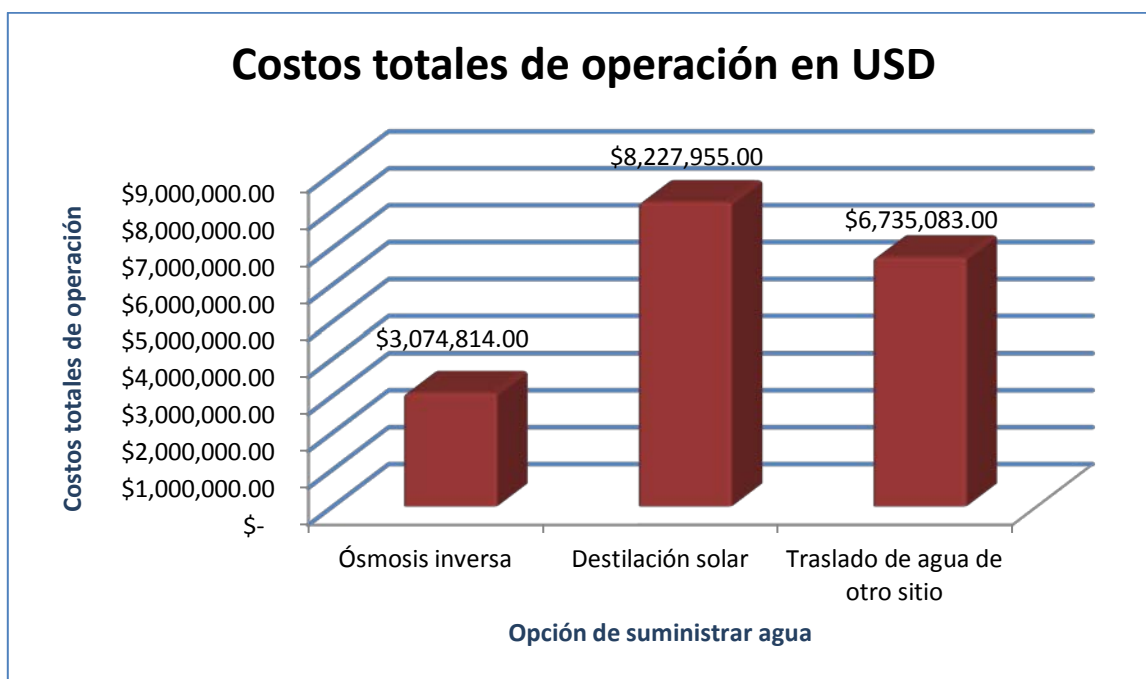


Figura 40 Gráfica de los costos totales de operación en dólares americanos
(Fuente: Elaboración propia)

Considerando el espacio requerido para el desarrollo de las actividades propias de cada alternativa, resulta que la opción de ósmosis inversa requiere un espacio de 300 m², destilación solar 118, 444m² y la opción de traslado 2, 700m² de terreno. Para todas las alternativas es necesario que el terreno sea plano y ubicado en la costa. Como se indica en el primer capítulo existe muy poco terreno plano en la costa y, en general, en la isla. Por lo tanto, es fundamental ocupar la menor extensión superficial posible, característica acorde con la opción de ósmosis inversa.

La destilación solar depende directamente de la radiación solar para su operación y, por lo tanto, en días de alta nubosidad y cuando se presentan días lluviosos la producción de agua será reducida significativamente. Para el traslado de agua, factores como marea alta (Se presenta frecuentemente durante la estación de huracanes y en los meses de marzo y abril) y viento, pueden restringir la navegación y también la transferencia del agua del barco a tierra. Adicionalmente, en tiempos de estiaje en la isla principal de San Vicente, puede que no haya suficiente agua disponible para su traslado a la isla Unión. La ósmosis inversa presenta menor susceptibilidad por factores externos y, por lo tanto, resulta ser la mejor opción para garantizar la continuidad en el suministro de agua.

Así pues la desalinización por ósmosis inversa resulta ser la opción más viable para el suministro continuo y confiable de agua potable, seguido por la opción del traslado de agua y, por último, la alternativa de desalinización por destilación solar.

5 Conclusiones

La isla Unión ha requerido, desde hace años, una fuente de abastecimiento de agua potable confiable, aunado al crecimiento en el turismo que se espera en el futuro.

La isla Unión cuenta con distintas fuentes de agua, sin embargo, debido a particularidades, como la intrusión salina y la geomorfología del lugar, no se puede garantizar un suministro continuo.

Como se indicó en el capítulo 1 la isla Unión, en su costa, no cuenta con una extensión superficial suficiente que presente condiciones de poca inclinación. Además, hacia su interior, el terreno es significativamente accidentado. Lo anterior no facilita la viabilidad del uso de un destilador solar del tamaño necesario para el suministro del volumen de agua requerida por la población. Por lo tanto, la opción de la destilación solar no es técnicamente viable.

Por otra parte, con referencia a la destilación solar, además de los requerimientos de superficie, existe la necesidad de bombear, diariamente, grandes volúmenes de agua del mar, lo que resulta en elevados costos de inversión y de operación, elementos que hacen económicamente inviable esta alternativa. Sin embargo, cabe mencionar que a nivel doméstico puede ser viable, ya que a esta escala no se requiere una superficie tan grande para la evaporación.

La captación y aprovechamiento de agua de lluvia puede contribuir parcialmente al abastecimiento de agua. Sin embargo, con base en lo observado durante periodos de sequía, mismos que han aumentado en frecuencia y duración, no es una alternativa factible para el suministro total.

El traslado de agua presenta susceptibilidad de afectación por factores externos como lluvia y viento, además esta alternativa conlleva un alto costo de operación, lo que implica que no es una opción viable en términos técnicos y económicos

Por su menor costo capital, de operación y menor susceptibilidad a afectaciones estacionales por factores externos, la desalinización por ósmosis inversa resulta ser la opción más conveniente en términos técnicos y económicos para el suministro de agua dulce, de manera continua y confiable, a la población de la isla Unión.

Apéndice 1

Tabla 14 Número de visitantes anuales a la Isla Unión por categoría
(Fuente: Autoridad del Turismo de San Vicente y las Granadinas)

Categoría	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Hospedan	4300	3700	5000	5200	4400	4600	5159	5244	3973	4475	4500	4739
Excursionistas	11600	7500	9200	9000	4600	5000	3913	3913	2948	2984	2028	1757
Yates	37900	21800	18200	27100	25200	30700	927	7861	7467	9030	9964	11740
Cruceros	47500	27800	16600	29600	29000	45300	45499	25358	17490	7881	10863	12182
Total	101300	60800	49000	70900	63200	85600	55498	42376	31878	24370	27355	30418

Para determinar las proyecciones de visitantes que se esperan durante el periodo de diseño, se considera que el número de visitantes que se hospedan en la isla y los excursionistas aumentarán en 0.5% y 0.1%, respectivamente cada año. Esto debido a las mejoras en el acceso aéreo en el país y al hecho de que otros países cercanos, tales como Barbados y Martinica, se encuentran promocionando excursiones a las Granadinas.

Debido al desarrollo de una marina en Canouan (isla cercana), en el sector de yates se espera un aumento de 0.25%, también debido a que la autoridad del turismo ha incrementado la promoción de esta actividad en los mercados de Europa y Norte América.

Notas respecto al cálculo de las proyecciones de población

Debido a que se presentan dos variaciones en la población, y que los intervalos entre los dos censos consecutivos son de diferentes tamaños, se decide calcular el valor de la constante de crecimiento poblacional aritmética para los dos periodos, y luego, para realizar el cálculo de la proyección de población, se emplea el promedio de estos valores.

Para la proyección geométrica también se presenta la limitante de datos de población y, por lo tanto, se determinan valores de tasas de crecimiento, T.C, para los intervalos entre los dos censos consecutivos. El promedio de los dos valores de T.C fue utilizado en la ecuación correspondiente para calcular las poblaciones a los intervalos de tiempo indicados en la tabla 8.

Método del cálculo de las proyecciones de la demanda

Como se menciona en la sección 1.4.4 *Proyecciones de la demanda*, para determinar la población que requerirá agua, se consideran las proyecciones de la población realizadas más cierta cantidad de visitantes, tomando en cuenta porcentajes de cada sector. A la cifra de cada sector se le multiplica por la dotación correspondiente y así se determina su demanda de agua. Se suman las demandas de cada sector para calcular la demanda total. Primero se considera una cifra anual de la demanda de agua y a partir de esta cifra se determina la demanda diaria.

En este estudio, para la población residente, se considera una dotación de 20 galones por persona al día, se le multiplica por 365 y por la población proyectada, determinando así la demanda anual para este sector, tanto para la proyección aritmética como geométrica. Los resultados para cada año considerado se encuentran en la tabla 15.

Respecto al cálculo de la demanda debida a los distintos sectores turísticos, se toman en cuenta dotaciones distintas y un porcentaje de las proyecciones de turistas por sector, registradas en la tabla 15. El porcentaje se asigna con base en el impacto del sector sobre el consumo de agua potable en la isla, para lo cual se considera la duración de su estancia.

Considerando el sector turístico que hospeda en la isla, se toma en cuenta el 100% de la cifras de la proyección por cada año indicado en la tabla 15. Esta cifra se multiplica por los 12 días, que es el tiempo promedio que los turistas permanecen en la isla, y por una dotación de 80 galones por persona por día. La dotación de 80 galones se fijó considerando que los turistas, por lo general, consumen aproximadamente 4 veces¹² la cantidad de agua que consumen los habitantes del lugar.

Para el sector de yates, con base en pláticas con habitantes que venden agua a los mismos, se considera que el 90% de los yates compran agua de la isla y, según información proveniente de la autoridad del turismo, su estancia promedio es de 30 días. Debido a la capacidad de almacenaje de los yates típicos que visiten a las Granadinas, la cual es relativamente limitada, se considera una dotación de 40 galones por persona por día.

En términos de los sectores de excursionistas y cruceros, éstos suelen pasar unas horas en la isla, razón por la cual solo se toma en cuenta el 70% de la cifras de la proyección por cada año.

Cabe mencionar que se suele determinar la demanda de agua con base en clases socioeconómicas. Sin embargo, en este caso debido a la falta de datos respecto a la distribución de clase socioeconómica, no se toma en cuenta este factor.

¹² Se establece esta cifra con base en información contenida en el documento Water Management on Islands – Common Issues and Possible Actions elaborado por Sharon Hophmayor Tokich y Tantri Kadiman

Tabla 15 Proyecciones de demanda anuales en galones americanos a la Isla Unión
(Fuente: Elaboración propia con base en información de la Autoridad del Turismo de San Vicente y las Granadinas)

Año	Población				Turistas									Total Anual con perdidas	
	Escuelas	Aritmético	Demanda	Geométrico	Demanda	Hospedan	Demanda	Yates	Demanda	Excursionistas	Demanda	Cruceros	Demanda	Aritmético	Geométrico
2015	700	2,119	20,581,288	2,138	20,719,341	4,635	4,449,600	15,646	18,775,542	3,797	75,937	18,471	369,425	46,021,864	46,165,439
2016	700	2,133	20,677,416	2,154	20,835,180	4,658	4,471,848	15,685	18,822,481	3,816	76,317	18,517	370,349	46,195,147	46,359,221
2017	700	2,146	20,773,544	2,170	20,951,878	4,681	4,494,207	15,725	18,869,537	3,835	76,698	18,564	371,275	46,368,671	46,554,139
2018	700	2,159	20,869,671	2,186	21,069,442	4,705	4,516,678	15,764	18,916,711	3,854	77,082	18,610	372,203	46,542,439	46,750,201
2019	700	2,172	20,965,799	2,202	21,187,879	4,728	4,539,262	15,803	18,964,002	3,873	77,467	18,657	373,134	46,716,451	46,947,414
2020	700	2,185	21,061,927	2,219	21,307,195	4,752	4,561,958	15,843	19,011,412	3,893	77,855	18,703	374,066	46,890,707	47,145,786
2021	700	2,198	21,158,055	2,235	21,427,396	4,776	4,584,768	15,882	19,058,941	3,912	78,244	18,750	375,002	47,065,209	47,345,325
2022	700	2,212	21,254,182	2,252	21,548,489	4,800	4,607,692	15,922	19,106,588	3,932	78,635	18,797	375,939	47,239,958	47,546,037
2023	700	2,225	21,350,310	2,269	21,670,481	4,824	4,630,730	15,962	19,154,355	3,951	79,028	18,844	376,879	47,414,954	47,747,932
2024	700	2,238	21,446,438	2,285	21,793,379	4,848	4,653,884	16,002	19,202,241	3,971	79,424	18,891	377,821	47,590,199	47,951,018
2025	700	2,251	21,542,565	2,302	21,917,188	4,872	4,677,153	16,042	19,250,246	3,991	79,821	18,938	378,766	47,765,693	48,155,301
2026	700	2,264	21,638,693	2,319	22,041,916	4,896	4,700,539	16,082	19,298,372	4,011	80,220	18,986	379,713	47,941,438	48,360,789
2027	700	2,277	21,734,821	2,337	22,167,570	4,921	4,724,042	16,122	19,346,618	4,031	80,621	19,033	380,662	48,117,434	48,567,492
2028	700	2,291	21,830,949	2,354	22,294,156	4,945	4,747,662	16,162	19,394,984	4,051	81,024	19,081	381,613	48,293,682	48,775,417
2029	700	2,304	21,927,076	2,371	22,421,681	4,970	4,771,400	16,203	19,443,472	4,071	81,429	19,128	382,568	48,470,183	48,984,572
2030	700	2,317	22,023,204	2,389	22,550,153	4,995	4,795,257	16,243	19,492,081	4,092	81,836	19,176	383,524	48,646,938	49,194,965
2031	700	2,330	22,119,332	2,407	22,679,579	5,020	4,819,233	16,284	19,540,811	4,112	82,245	19,224	384,483	48,823,948	49,406,605
2032	700	2,343	22,215,460	2,425	22,809,964	5,045	4,843,330	16,325	19,589,663	4,133	82,657	19,272	385,444	49,001,215	49,619,500
2033	700	2,356	22,311,587	2,443	22,941,318	5,070	4,867,546	16,366	19,638,637	4,153	83,070	19,320	386,408	49,178,738	49,833,658
2034	700	2,370	22,407,715	2,461	23,073,646	5,096	4,891,884	16,406	19,687,734	4,174	83,485	19,369	387,374	49,356,519	50,049,087
2035	700	2,383	22,503,843	2,479	23,206,956	5,121	4,916,343	16,447	19,736,953	4,195	83,903	19,417	388,342	49,534,559	50,265,797
2036	700	2,396	22,599,970	2,497	23,341,256	5,147	4,940,925	16,489	19,786,295	4,216	84,322	19,466	389,313	49,712,859	50,483,796
2037	700	2,409	22,696,098	2,516	23,476,552	5,173	4,965,630	16,530	19,835,761	4,237	84,744	19,514	390,286	49,891,420	50,703,092
2038	700	2,422	22,792,226	2,535	23,612,852	5,198	4,990,458	16,571	19,885,350	4,258	85,168	19,563	391,262	50,070,242	50,923,694
2039	700	2,435	22,888,354	2,553	23,750,164	5,224	5,015,410	16,613	19,935,064	4,280	85,593	19,612	392,240	50,249,327	51,145,610
2040	700	2,449	22,984,481	2,572	23,888,495	5,251	5,040,487	16,654	19,984,901	4,301	86,021	19,661	393,221	50,428,676	51,368,851

Apéndice 2

Tabla 16 Resultados de conductividad eléctrica en $\mu\text{s}/\text{cm}$ de varios sitios en la isla Unión para el año 2009
(Fuente: Unidad de Recursos Hídricos de la CWSA)

Código	Nombre	23/01/2009	25/02/2009	30/03/2009	27/04/2009	26/05/2009	28/07/2009	25/08/2009	27/09/2009	29/10/2009	30/11/2009	22/12/2009	Promedio
11210001	Ashton pozo público 1	7690	7400	7733	7785	7859	7663	7564	7687	7543	7518	7717	7651
11210002	Ashton pozo público 2 (Top Well)	3220	3109	3420	3644	4153	4176	4177	4151	3893	3887	4014	3804
11210003	Estanque Richmond	401	501	-	-	-	582	415	401	315	481	525	453
11210004	Ashton pozo privado 1	6550	6015	5656	5779	5625	5744	5758	5863	-	-	-	5874
11210005	Ashton pozo privado 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11210006	Ashton pozo público 3 (Bottom Well)	2310	2192	2216	2284	2347	2391	2340	2311	2346	2326	2393	2314
11210007	Pozo Cambell	8710	16690	10580	11180	15410	19400	18750	19420	19990	-	-	15570
13210001	NWRMS Ashton upper borehole	3910	3732	3786	3825	4164	4283	4094	4147	4147	4284	4358	4066
13210002	NWRMS Ashton lower borehole	5240	5578	5439	5570	5847	5832	5357	5355	5355	5695	5759	5548
	Captación al lado del hospital	98.9	95	101	106	100	92	91	95	95	92	100	97

Tabla 17 Resultados de conductividad eléctrica en $\mu\text{s}/\text{cm}$ de varios sitios en la isla Unión para el año 2010
(Fuente: Unidad de Recursos Hídricos de la CWSA)

Código	Nombre	07/01/2010	04/02/2010	30/03/2010	05/05/2010	08/06/2010	14/07/2010	05/08/2010	29/09/2010	28/10/2010	07/12/2010	Promedio
11210001	Ashton pozo público 1	7717	7719	7702	7591	7536	6702	4051	7301	5773	6222	6831
11210002	Ashton pozo público 2 (Top Well)	4014	5350	5337	5156	5093	4641	4331	3307	2958	2602	4279
11210003	Estanque Richmond	525	-	-	-	482	435	495	421	199	-	426
11210004	Ashton pozo privado 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11210005	Ashton pozo privado 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11210006	Ashton pozo público 3 (Bottom Well)	2393	2683	2818	2398	2839	26.95	2455	2328	2234	2202	2238
11210007	Pozo Cambell	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13210001	NWRMS Ashton upper borehole	4358	6010	4505	4923	4604	4625	4290	4178	2468	2272	4223
13210002	NWRMS Ashton lower borehole	5759	5939	5973	5956	5976	5723	5884	5788	5790	5618	5841
	Captación al lado del hospital	100	-	-	-	-	74	-	74	72	75	80

Tabla 18 Resultados de conductividad eléctrica en $\mu\text{s}/\text{cm}$ de varios sitios en la isla Unión para el año 2011
(Fuente: Unidad de Recursos Hídricos de la CWSA)

Código	Nombre	06/01/2011	10/02/2011	16/03/2011	14/04/2011	11/05/2011	08/06/2011	09/08/2011	06/09/2011	04/10/2011	03/11/2011	05/12/2011	Promedio
11210001	Ashton pozo público 1	7727	7744	6685	7787	7513	7768	7500	8160	8095	7366	7420	7615
11210002	Ashton pozo público 2 (Top Well)	4315	2467	2002	2793	2807	2817	2927	3325	3206	3296	3355	3028
11210003	Estanque Richmond	-	238	294	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11210004	Ashton pozo privado 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11210005	Ashton pozo privado 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11210006	Ashton pozo público 3 (Bottom Well)	2450	2218	2209	3096	2099	2125	2180	2203	2180	2193	2175	2284
11210007	Pozo Cambell	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13210001	NWRMS Ashton upper borehole	4410	2154	2134	4273	2036	2052	2114	2150	2195	2188	2169	2534
13210002	NWRMS Ashton lower borehole	5458	5538	5715	5736	5423	5634	5665	5614	5525	5631	5481	5584
	Captación al lado del hospital	111	85	100	-	86	91	90	92	80	84	79	90

Como los valores de pH son logarítmicos no se puede determinar un pH promedio a partir de la media aritmética de sus valores. Para ello, se tiene que realizar la operación anti logarítmica, la cual consiste en determinar la media aritmética de las concentraciones molares de los iones de hidrógeno, y al valor obtenido se aplica el logaritmo con un cambio de signo para obtener el valor del pH promedio.

Tabla 19 Resultados de pH de varios sitios en la isla Unión para el año 2009
(Fuente: Unidad de Recursos Hídricos de la CWSA)

Código	Nombre	23/01/2009	25/02/2009	30/03/2009	27/04/2009	26/05/2009	28/07/2009	25/08/2009	27/09/2009	29/10/2009	30/11/2009	22/12/2009	Promedio
11210001	Ashton pozo público 1	6.900	7.131	7.053	7.044	7.008	6.787	7.055	7.457	7.820	7.865	7.684	7.131
11210002	Ashton pozo público 2 (Top Well)	7.310	7.730	7.444	7.572	7.270	7.362	7.337	7.466	7.735	7.906	7.884	7.495
11210003	Estanque Richmond	7.020	7.231	Seco	Seco	Seco	8.124	7.355	7.219	7.755	8.100	7.707	7.410
11210004	Ashton pozo privado 1	7.200	5.182	7.016	7.030	7.075	7.302	7.201	7.414	-	-	-	6.054
11210005	Ashton pozo privado 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11210006	Ashton pozo público 3 (Bottom Well)	7.720	8.431	7.977	7.893	7.866	8.223	8.481	8.372	8.063	8.306	8.221	8.074
11210007	Pozo Cambell	7.810	6.129	-	8.070	7.890	7.139	7.107	8.885	8.885	-	-	6.933
13210001	NWRMS Ashton upper borehole	7.220	7.139	7.055	7.060	6.442	6.805	6.921	7.143	7.143	7.219	7.457	6.968
13210002	NWRMS Ashton lower borehole	7.090	6.849	7.727	7.029	6.839	6.972	6.930	7.553	7.553	7.285	7.430	7.112
	Captación al lado del hospital	7.870	8.583	8.523	8.619	8.786	8.481	8.644	8.669	8.669	8.660	8.147	8.415


Tabla 20 Resultados de pH de varios sitios en la isla Unión para el año 2010
(Fuente: Unidad de Recursos Hídricos de la CWSA)

Código	Nombre	07/01/2010	04/02/2010	30/03/2010	05/05/2010	08/06/2010	14/07/2010	05/08/2010	29/09/2010	28/10/2010	07/12/2010	Promedio
11210001	Ashton pozo público 1	7.684	7.227	7.399	7.384	7.417	7.806	7.903	6.614	7.173	7.086	7.208
11210002	Ashton pozo público 2 (Top Well)	7.884	7.551	7.822	7.689	7.951	7.852	7.522	7.47	7.588	7.795	7.682
11210003	Estanque Richmond	7.707	-	-	-	7.997	8.36	8.469	7.91	8.162	-	8.025
11210004	Ashton pozo privado 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11210005	Ashton pozo privado 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11210006	Ashton pozo público 3 (Bottom Well)	8.221	7.942	7.912	9.8	8.286	8.323	8.933	7.205	8.064	8.261	7.930
11210007	Pozo Cambell	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13210001	NWRMS Ashton upper borehole	7.457	6.545	7.503	7.53	7.465	7.587	7.036	7.571	6.912	7.261	7.132
13210002	NWRMS Ashton lower borehole	7.43	7.115	7.121	7.732	8.303	8.213	8.891	7.518	7.45	7.788	7.519
	Captación al lado del hospital	8.147	-	-	-	-	8.856	-	8.522	8.578	8.501	8.460

Tabla 21 Resultados de pH de varios sitios en la isla Unión para el año 2011
(Fuente: Unidad de Recursos Hídricos de la CWSA)

Código	Nombre	06/01/2011	10/02/2011	16/03/2011	14/04/2011	11/05/2011	08/06/2011	09/08/2011	06/09/2011	04/10/2011	03/11/2011	05/12/2011	Promedio
11210001	Ashton pozo público 1	7.590	6.896	7.376	8.576	7.271	7.278	7.278	6.989	7.093	7.177	7.626	7.242
11210002	Ashton pozo público 2 (Top Well)	7.852	8.002	8.497	8.423	8.065	8.273	8.659	7.488	7.778	8.841	8.035	8.012
11210003	Estanque Richmond	-	7.238	8.231	-	-	-	-	-	-	-	-	7.497
11210004	Ashton pozo privado 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11210005	Ashton pozo privado 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11210006	Ashton pozo público 3 (Bottom Well)	8.180	8.462	8.437	8.023	8.606	8.672	8.381	8.018	8.332	8.459	8.450	8.315
11210007	Pozo Cambell	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13210001	NWRMS Ashton upper borehole	7.335	7.522	7.592	7.587	7.983	8.195	8.508	7.804	7.556	7.744	7.837	7.692
13210002	NWRMS Ashton lower borehole	7.989	8.004	7.396	7.503	8.103	7.884	82.820	7.728	7.822	7.828	8.003	7.808
	Captación al lado del hospital	8.704	8.541	7.803	-	8.832	8.821	8.848	8.583	9.151	8.496	8.551	8.464

Apéndice 3



ISI
INDUSTRIAL
SERVICES, INC.

Desalination Design Services & Equipment

140S

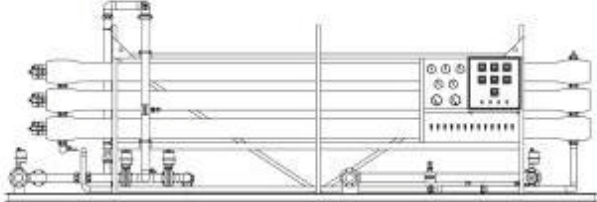
SPECIFICATION DATA SHEET

**140,000 US gallons per day
SWRO Membrane Module
Standard Seawater TDS**

Description
The 140 Series Seawater Reverse Osmosis Membrane Modules are available for three seawater salinity ranges:

- Low Salinity: 30,000 – 35,000 mg/l TDS
- Standard Salinity: 35,001 – 40,000 mg/l TDS
- High Salinity: 40,001 – 45,000 mg/l TDS

The product water from this system complies with World Health Organization (WHO) standards for potable water (<500 mg/l TDS). The equipment is offered as a base unit with customer-applied modifications (see www.desalt.net). Various options are available. Equipment is supplied tested and complete. Please see proposal package for detailed drawings and information.



Module Options:

- Air Bleeds
- Motorized Valves
- Cabinet Lamp
- Enclosure Heater
- Premium Instrument Package
- Duplex 2205 / Zeron® 100 Piping
- 316SS Pipe Coupling Hardware
- Customization available upon request

**TESTED
PREPACKAGED
WARRANTIED**

ARRANGEMENT	
Nominal Capacity (Usqpd / m3/d)	140,000 / 530
Frame Size	2
Maximum Length (in/cm)	286 / 726
Maximum Width (in/cm)	40 / 102
Maximum Height (in/cm)	103 / 262
Dry Weight (lbs/kg)	3,450 / 1,565
Flooded Weight (lbs/kg)	6,430 / 2,917
Feed Connection (in/mm)	4" / DN 100
Brine Connection (in/mm)	4" / DN 100
Product Connection (in/mm)	3" / DN 80
Vessels	6
Membranes	36
Type	Spiral
Energy Recovery Type	Turbine
Membrane Vessel Size	8"

DESIGN PARAMETERS	
Piping Materials	316SS, 2205, Zeron® 100
Hardware Materials	316SS
Skid Material	Structural Steel, Closed Full Seam Welded
Finishes	Blasted White, 12 mil Coal Tar Epoxy
Seawater TDS Range (mg/l)	35,001 - 40,000
Inlet SDI	< 5.0
Design Temperature (C)	25
Conversion (%)	45
Feed Flow (Usqpm / m3/hr)	216 / 49
Brine Flow (Usqpm / m3/hr)	119 / 27
Product Flow (Usqpm / m3/hr)	97 / 22
Design Fouling Factor (%)	70
Operating Pressure (nominal 3 yr)	900 psig / 62 bar

INDUSTRIAL SERVICES, INC.
 10600 Route 116, PO Box 131, Hinesburg, VT 05461 USA • t: 802.482.4006 • f: 802.482.4007 • e: info@desalt.net
 Revision 1

	Proposal 140SE - 1566
	Seawater Desalination Plant
	Date: 2013-09-09 13:15:19
	Project Name: Union Island
	Country: Mexico
	Organization: FI UNAM
	Contact Name: Gregory Huggins

Pricing Summary

	Unit Price (USD)	Extended Price (USD)
Model 140SE, 140000 USGPD (530 m³/d), 35001 - 40000 Mg/L Tds: Base Cost	\$210,984	\$210,984
High Pressure Piping: 316L Stainless Steel	\$0	\$0
Drive Motor: Premium Efficiency	\$0	\$0
Winding Heaters: Add Winding Heaters	\$610	\$610
Electrical Power Voltage Available at the Plant Site: 380 Volts A/C, Three Phase	\$0	\$0
Electrical Frequency: 50 Cycles Per Second, Hz	\$0	\$0
Power Module Options: 3% Line Reactor	\$902	\$902
Pretreatment System: Multimedia Filtration System	\$23,384	\$23,384
Pretreatment System: Bag Filtration System	\$4,454	\$4,454
Pretreatment System: Media Replacement Supply	\$2,321	\$2,321
Cleaning System: Cleaning System	\$8,430	\$8,430
Product Transfer: Product Transfer System	\$6,839	\$6,839
Chemical Dosing: Chemical Dosing System	\$3,114	\$3,114
Chemical Dosing: 12-month Chemical Dosing Consumables Supply	\$13,572	\$13,572
Spare Parts Package: Premium Package	\$0	\$0
ISI On Site Services: Training	\$3,170	\$3,170
ISI On Site Services: Commissioning	\$5,482	\$5,482
Total Price (USD)	\$283,262	\$283,262

Please note:

- All prices are in U.S. Dollars.
- Pricing valid for 30 days after quotation date.
- Unless otherwise agreed in writing, orders are accepted on the condition that delivery will be made at the price current at the date of quotation.
- Standard Shipping Schedule is approximately 16-20 weeks after receipt of order. FOB Facility USA.
- Industrial Services, Inc. reserves the right to correct at any time stenographic or clerical errors contained in any quotation.

Tabla 22 Costos de artículos de limpieza, filtros y químicos utilizados en la ósmosis inversa
(Fuente: Elaboración propia con base en información proporcionada por Industrial Services Inc.)

Año	Artículos de Limpieza		Filtros		Químicos		Total		Valor Presente		
	XCD	USD	XCD	USD	XCD	USD	XCD	USD	XCD	USD	
2015	\$9,794.59	\$3,624.00	\$616.22	\$228.00	\$36,681.08	\$13,572.00	\$47,091.89	\$17,424.00	\$47,091.89	\$17,424.00	
2016	\$9,892.54	\$3,660.24	\$622.38	\$230.28	\$37,047.89	\$13,707.72	\$47,562.81	\$17,598.24	\$44,451.23	\$16,446.95	
2017	\$9,991.47	\$3,696.84	\$628.60	\$232.58	\$37,418.37	\$13,844.80	\$48,038.44	\$17,774.22	\$41,958.63	\$15,524.69	
2018	\$10,091.38	\$3,733.81	\$634.89	\$234.91	\$37,792.55	\$13,983.25	\$48,518.82	\$17,951.96	\$39,605.81	\$14,654.15	
2019	\$10,192.29	\$3,771.15	\$641.24	\$237.26	\$38,170.48	\$14,123.08	\$49,004.01	\$18,131.48	\$37,384.93	\$13,832.42	
2020	\$10,294.22	\$3,808.86	\$647.65	\$239.63	\$38,552.18	\$14,264.31	\$49,494.05	\$18,312.80	\$35,288.57	\$13,056.77	
2021	\$10,397.16	\$3,846.95	\$654.13	\$242.03	\$38,937.71	\$14,406.95	\$49,988.99	\$18,495.93	\$33,309.78	\$12,324.62	
2022	\$10,501.13	\$3,885.42	\$660.67	\$244.45	\$39,327.08	\$14,551.02	\$50,488.88	\$18,680.89	\$31,441.94	\$11,633.52	
2023	\$10,606.14	\$3,924.27	\$667.27	\$246.89	\$39,720.35	\$14,696.53	\$50,993.77	\$18,867.70	\$29,678.84	\$10,981.17	
2024	\$10,712.20	\$3,963.52	\$673.95	\$249.36	\$40,117.56	\$14,843.50	\$51,503.71	\$19,056.37	\$28,014.60	\$10,365.40	
2025	\$10,819.33	\$4,003.15	\$680.69	\$251.85	\$40,518.73	\$14,991.93	\$52,018.75	\$19,246.94	\$26,443.69	\$9,784.17	
2026	\$10,927.52	\$4,043.18	\$687.49	\$254.37	\$40,923.92	\$15,141.85	\$52,538.93	\$19,439.41	\$24,960.87	\$9,235.52	
2027	\$11,036.79	\$4,083.61	\$694.37	\$256.92	\$41,333.16	\$15,293.27	\$53,064.32	\$19,633.80	\$23,561.19	\$8,717.64	
2028	\$11,147.16	\$4,124.45	\$701.31	\$259.49	\$41,746.49	\$15,446.20	\$53,594.97	\$19,830.14	\$22,240.01	\$8,228.80	
2029	\$11,258.63	\$4,165.69	\$708.32	\$262.08	\$42,163.96	\$15,600.66	\$54,130.92	\$20,028.44	\$20,992.90	\$7,767.37	
2030	\$11,371.22	\$4,207.35	\$715.41	\$264.70	\$42,585.60	\$15,756.67	\$54,672.22	\$20,228.72	\$19,815.73	\$7,331.82	
2031	\$11,484.93	\$4,249.43	\$722.56	\$267.35	\$43,011.45	\$15,914.24	\$55,218.95	\$20,431.01	\$18,704.57	\$6,920.69	
2032	\$11,599.78	\$4,291.92	\$729.79	\$270.02	\$43,441.57	\$16,073.38	\$55,771.14	\$20,635.32	\$17,655.71	\$6,532.61	
2033	\$11,715.78	\$4,334.84	\$737.09	\$272.72	\$43,875.98	\$16,234.11	\$56,328.85	\$20,841.67	\$16,665.67	\$6,166.30	
2034	\$11,832.94	\$4,378.19	\$744.46	\$275.45	\$44,314.74	\$16,396.45	\$56,892.14	\$21,050.09	\$15,731.15	\$5,820.53	
2035	\$11,951.27	\$4,421.97	\$751.90	\$278.20	\$44,757.89	\$16,560.42	\$57,461.06	\$21,260.59	\$14,849.03	\$5,494.14	
2036	\$12,070.78	\$4,466.19	\$759.42	\$280.99	\$45,205.47	\$16,726.02	\$58,035.67	\$21,473.20	\$14,016.37	\$5,186.06	
2037	\$12,191.49	\$4,510.85	\$767.01	\$283.80	\$45,657.52	\$16,893.28	\$58,616.02	\$21,687.93	\$13,230.41	\$4,895.25	
2038	\$12,313.40	\$4,555.96	\$774.68	\$286.63	\$46,114.10	\$17,062.22	\$59,202.18	\$21,904.81	\$12,488.52	\$4,620.75	
2039	\$12,436.54	\$4,601.52	\$782.43	\$289.50	\$46,575.24	\$17,232.84	\$59,794.21	\$22,123.86	\$11,788.23	\$4,361.64	
2040	\$12,560.90	\$4,647.53	\$790.26	\$292.39	\$47,040.99	\$17,405.17	\$60,392.15	\$22,345.10	\$11,127.20	\$4,117.07	
								Valor Presente Total		\$652,497.48	\$241,424.07

Tabla 23 Costos de electricidad asociados con la planta de ósmosis inversa
(Fuente: Elaboración propia)

Año	Energía eléctrica en kwh	Costo/ kwh		Costo electricidad		IVA (15%)		Prima Combustible	Costo prima combustible		Costo total		Valor Presente	
		XCD	USD	XCD	USD	XCD	USD		XCD	USD	XCD	USD	XCD	USD
2015	559216.37	\$0.41	\$0.15	\$226,482.63	\$83,798.57	\$33,972.39	\$12,569.79	0.517	\$117,091.52	\$43,323.86	\$377,546.54	\$139,692.22	\$377,546.54	\$139,692.22
2016	561563.71	\$0.42	\$0.15	\$233,119.14	\$86,254.08	\$34,967.87	\$12,938.11	0.517	\$120,522.59	\$44,593.36	\$388,609.60	\$143,785.55	\$363,186.54	\$134,379.02
2017	563924.81	\$0.43	\$0.16	\$239,951.77	\$88,782.16	\$35,992.77	\$13,317.32	0.517	\$124,055.07	\$45,900.37	\$399,999.60	\$147,999.85	\$349,375.14	\$129,268.80
2018	566299.77	\$0.44	\$0.16	\$246,986.38	\$91,384.96	\$37,047.96	\$13,707.74	0.517	\$127,691.96	\$47,246.02	\$411,726.30	\$152,338.73	\$336,091.30	\$124,353.78
2019	568688.67	\$0.45	\$0.17	\$254,228.99	\$94,064.72	\$38,134.35	\$14,109.71	0.517	\$131,436.39	\$48,631.46	\$423,799.72	\$156,805.90	\$323,314.78	\$119,626.47
2020	571091.62	\$0.46	\$0.17	\$261,685.79	\$96,823.74	\$39,252.87	\$14,523.56	0.517	\$135,291.55	\$50,057.87	\$436,230.21	\$161,405.18	\$311,026.11	\$115,079.66
2021	573508.69	\$0.47	\$0.17	\$269,363.17	\$99,664.37	\$40,404.48	\$14,949.66	0.517	\$139,260.76	\$51,526.48	\$449,028.41	\$166,140.51	\$299,206.59	\$110,706.44
2022	575939.99	\$0.48	\$0.18	\$277,267.72	\$102,589.06	\$41,590.16	\$15,388.36	0.517	\$143,347.41	\$53,038.54	\$462,205.29	\$171,015.96	\$287,838.23	\$106,500.14
2023	578385.60	\$0.49	\$0.18	\$285,406.21	\$105,600.30	\$42,810.93	\$15,840.04	0.517	\$147,555.01	\$54,595.35	\$475,772.15	\$176,035.70	\$276,903.73	\$102,454.38
2024	580845.64	\$0.51	\$0.19	\$293,785.63	\$108,700.68	\$44,067.84	\$16,305.10	0.517	\$151,887.17	\$56,198.25	\$489,740.64	\$181,204.04	\$266,386.46	\$98,562.99
2025	583320.18	\$0.52	\$0.19	\$302,413.15	\$111,892.87	\$45,361.97	\$16,783.93	0.517	\$156,347.60	\$57,848.61	\$504,122.73	\$186,525.41	\$256,270.43	\$94,820.06
2026	585809.33	\$0.53	\$0.20	\$311,296.21	\$115,179.60	\$46,694.43	\$17,276.94	0.517	\$160,940.14	\$59,547.85	\$518,930.77	\$192,004.39	\$246,540.27	\$91,219.90
2027	588313.19	\$0.54	\$0.20	\$320,442.41	\$118,563.69	\$48,066.36	\$17,784.55	0.517	\$165,668.73	\$61,297.43	\$534,177.50	\$197,645.67	\$237,181.20	\$87,757.04
2028	590831.84	\$0.56	\$0.21	\$329,859.63	\$122,048.06	\$49,478.94	\$18,307.21	0.517	\$170,537.43	\$63,098.85	\$549,876.00	\$203,454.12	\$228,178.99	\$84,426.23
2029	593365.40	\$0.57	\$0.21	\$339,555.96	\$125,635.71	\$50,933.39	\$18,845.36	0.517	\$175,550.43	\$64,953.66	\$566,039.79	\$209,434.72	\$219,519.99	\$81,222.40
2030	595913.96	\$0.59	\$0.22	\$349,539.74	\$129,329.71	\$52,430.96	\$19,399.46	0.517	\$180,712.05	\$66,863.46	\$582,682.75	\$215,592.62	\$211,191.04	\$78,140.69
2031	598477.62	\$0.60	\$0.22	\$359,819.57	\$133,133.24	\$53,972.94	\$19,969.99	0.517	\$186,026.72	\$68,829.89	\$599,819.23	\$221,933.11	\$203,179.53	\$75,176.42
2032	601056.48	\$0.62	\$0.23	\$370,404.30	\$137,049.59	\$55,560.64	\$20,557.44	0.517	\$191,499.02	\$70,854.64	\$617,463.97	\$228,461.67	\$195,473.28	\$72,325.11
2033	603650.64	\$0.63	\$0.23	\$381,303.04	\$141,082.12	\$57,195.46	\$21,162.32	0.517	\$197,133.67	\$72,939.46	\$635,632.17	\$235,183.90	\$188,060.62	\$69,582.43
2034	606260.21	\$0.65	\$0.24	\$392,525.19	\$145,234.32	\$58,878.78	\$21,785.15	0.517	\$202,935.52	\$75,086.14	\$654,339.49	\$242,105.61	\$180,930.32	\$66,944.22
2035	608885.28	\$0.66	\$0.25	\$404,080.42	\$149,509.76	\$60,612.06	\$22,426.46	0.517	\$208,909.58	\$77,296.54	\$673,602.06	\$249,232.76	\$174,071.57	\$64,406.48
2036	611525.97	\$0.68	\$0.25	\$415,978.71	\$153,912.12	\$62,396.81	\$23,086.82	0.517	\$215,060.99	\$79,572.57	\$693,436.51	\$256,571.51	\$167,473.99	\$61,965.38
2037	614182.37	\$0.70	\$0.26	\$428,230.31	\$158,445.22	\$64,234.55	\$23,766.78	0.517	\$221,395.07	\$81,916.18	\$713,859.93	\$264,128.18	\$161,127.59	\$59,617.21
2038	616854.59	\$0.71	\$0.26	\$440,845.82	\$163,112.95	\$66,126.87	\$24,466.94	0.517	\$227,917.29	\$84,329.40	\$734,889.98	\$271,909.29	\$155,022.75	\$57,358.42
2039	619542.74	\$0.73	\$0.27	\$453,836.12	\$167,919.37	\$68,075.42	\$25,187.90	0.517	\$234,633.28	\$86,814.31	\$756,544.82	\$279,921.58	\$149,150.25	\$55,185.59
2040	622246.91	\$0.75	\$0.28	\$467,212.45	\$172,868.61	\$70,081.87	\$25,930.29	0.517	\$241,548.84	\$89,373.07	\$778,843.16	\$288,171.97	\$143,501.21	\$53,095.45
Valor Presente Total												\$6,307,748.45	\$2,333,866.93	

Tabla 24 Salarios de los operadores de la planta de ósmosis inversa
(Fuente: Elaboración propia)

Año	Mensual		NIS 3%		Anual con NIS		Número de trabajadores	Total Anual		Valor Presente	
	XCD	USD	XCD	USD	XCD	USD		XCD	USD	XCD	USD
2015	\$1,750.00	\$647.50	\$52.50	\$19.43	\$21,630.00	\$8,003.10	2	\$43,260.00	\$16,006.20	\$43,260.00	\$16,006.20
2016	\$1,880.88	\$695.92	\$56.43	\$20.88	\$23,247.62	\$8,601.62	2	\$46,495.23	\$17,203.24	\$43,453.49	\$16,077.79
2017	\$2,015.02	\$745.56	\$60.45	\$22.37	\$24,905.67	\$9,215.10	2	\$49,811.34	\$18,430.20	\$43,507.15	\$16,097.65
2018	\$2,152.52	\$796.43	\$64.58	\$23.89	\$26,605.18	\$9,843.92	2	\$53,210.35	\$19,687.83	\$43,435.50	\$16,071.13
2019	\$2,293.46	\$848.58	\$68.80	\$25.46	\$28,347.17	\$10,488.45	2	\$56,694.34	\$20,976.91	\$43,251.84	\$16,003.18
2020	\$2,437.92	\$902.03	\$73.14	\$27.06	\$30,132.72	\$11,149.10	2	\$60,265.43	\$22,298.21	\$42,968.42	\$15,898.32
2021	\$2,586.00	\$956.82	\$77.58	\$28.70	\$31,962.90	\$11,826.27	2	\$63,925.80	\$23,652.55	\$42,596.46	\$15,760.69
2022	\$2,737.77	\$1,012.97	\$82.13	\$30.39	\$33,838.84	\$12,520.37	2	\$67,677.67	\$25,040.74	\$42,146.25	\$15,594.11
2023	\$2,893.34	\$1,070.54	\$86.80	\$32.12	\$35,761.67	\$13,231.82	2	\$71,523.34	\$26,463.64	\$41,627.24	\$15,402.08
2024	\$3,052.80	\$1,129.54	\$91.58	\$33.89	\$37,732.58	\$13,961.05	2	\$75,465.16	\$27,922.11	\$41,048.05	\$15,187.78
2025	\$3,216.24	\$1,190.01	\$96.49	\$35.70	\$39,752.76	\$14,708.52	2	\$79,505.52	\$29,417.04	\$40,416.57	\$14,954.13
2026	\$3,216.24	\$1,190.01	\$96.49	\$35.70	\$39,752.76	\$14,708.52	2	\$79,505.52	\$29,417.04	\$37,772.50	\$13,975.82
2027	\$3,216.24	\$1,190.01	\$96.49	\$35.70	\$39,752.76	\$14,708.52	2	\$79,505.52	\$29,417.04	\$35,301.40	\$13,061.52
2028	\$3,216.24	\$1,190.01	\$96.49	\$35.70	\$39,752.76	\$14,708.52	2	\$79,505.52	\$29,417.04	\$32,991.96	\$12,207.03
2029	\$3,216.24	\$1,190.01	\$96.49	\$35.70	\$39,752.76	\$14,708.52	2	\$79,505.52	\$29,417.04	\$30,833.61	\$11,408.44
2030	\$3,216.24	\$1,190.01	\$96.49	\$35.70	\$39,752.76	\$14,708.52	2	\$79,505.52	\$29,417.04	\$28,816.46	\$10,662.09
2031	\$3,216.24	\$1,190.01	\$96.49	\$35.70	\$39,752.76	\$14,708.52	2	\$79,505.52	\$29,417.04	\$26,931.27	\$9,964.57
2032	\$3,216.24	\$1,190.01	\$96.49	\$35.70	\$39,752.76	\$14,708.52	2	\$79,505.52	\$29,417.04	\$25,169.41	\$9,312.68
2033	\$3,216.24	\$1,190.01	\$96.49	\$35.70	\$39,752.76	\$14,708.52	2	\$79,505.52	\$29,417.04	\$23,522.81	\$8,703.44
2034	\$3,216.24	\$1,190.01	\$96.49	\$35.70	\$39,752.76	\$14,708.52	2	\$79,505.52	\$29,417.04	\$21,983.94	\$8,134.06
2035	\$3,216.24	\$1,190.01	\$96.49	\$35.70	\$39,752.76	\$14,708.52	2	\$79,505.52	\$29,417.04	\$20,545.74	\$7,601.92
2036	\$3,216.24	\$1,190.01	\$96.49	\$35.70	\$39,752.76	\$14,708.52	2	\$79,505.52	\$29,417.04	\$19,201.62	\$7,104.60
2037	\$3,216.24	\$1,190.01	\$96.49	\$35.70	\$39,752.76	\$14,708.52	2	\$79,505.52	\$29,417.04	\$17,945.44	\$6,639.81
2038	\$3,216.24	\$1,190.01	\$96.49	\$35.70	\$39,752.76	\$14,708.52	2	\$79,505.52	\$29,417.04	\$16,771.44	\$6,205.43
2039	\$3,216.24	\$1,190.01	\$96.49	\$35.70	\$39,752.76	\$14,708.52	2	\$79,505.52	\$29,417.04	\$15,674.24	\$5,799.47
2040	\$3,216.24	\$1,190.01	\$96.49	\$35.70	\$39,752.76	\$14,708.52	2	\$79,505.52	\$29,417.04	\$14,648.83	\$5,420.07
Valor Presente Total									\$835,821.64	\$309,254.01	

Tabla 25 Salarios del supervisor de la planta de ósmosis inversa
(Fuente: elaboración propia)

Año	Mensual		NIS 3%		Anual con NIS		Valor Presente	
	XCD	USD	XCD	USD	XCD	USD	XCD	USD
2015	\$2,200.00	\$814.00	\$66.00	\$24.42	\$27,192.00	\$10,061.04	\$27,192.00	\$10,061.04
2016	\$2,354.43	\$871.14	\$70.63	\$26.13	\$29,100.69	\$10,767.26	\$27,196.91	\$10,062.86
2017	\$2,512.71	\$929.70	\$75.38	\$27.89	\$31,057.10	\$11,491.13	\$27,126.48	\$10,036.80
2018	\$2,674.95	\$989.73	\$80.25	\$29.69	\$33,062.42	\$12,233.10	\$26,988.79	\$9,985.85
2019	\$2,841.25	\$1,051.26	\$85.24	\$31.54	\$35,117.88	\$12,993.61	\$26,791.26	\$9,912.77
2020	\$3,011.71	\$1,114.33	\$90.35	\$33.43	\$37,224.72	\$13,773.15	\$26,540.71	\$9,820.06
2021	\$3,186.43	\$1,178.98	\$95.59	\$35.37	\$39,384.23	\$14,572.16	\$26,243.37	\$9,710.05
2022	\$3,365.51	\$1,245.24	\$100.97	\$37.36	\$41,597.73	\$15,391.16	\$25,904.97	\$9,584.84
2023	\$3,549.07	\$1,313.16	\$106.47	\$39.39	\$43,866.56	\$16,230.63	\$25,530.74	\$9,446.37
2024	\$3,737.23	\$1,382.77	\$112.12	\$41.48	\$46,192.12	\$17,091.08	\$25,125.45	\$9,296.42
2025	\$3,930.08	\$1,454.13	\$117.90	\$43.62	\$48,575.82	\$17,973.05	\$24,693.48	\$9,136.59
2026	\$3,930.08	\$1,454.13	\$117.90	\$43.62	\$48,575.82	\$17,973.05	\$23,078.02	\$8,538.87
2027	\$3,930.08	\$1,454.13	\$117.90	\$43.62	\$48,575.82	\$17,973.05	\$21,568.24	\$7,980.25
2028	\$3,930.08	\$1,454.13	\$117.90	\$43.62	\$48,575.82	\$17,973.05	\$20,157.24	\$7,458.18
2029	\$3,930.08	\$1,454.13	\$117.90	\$43.62	\$48,575.82	\$17,973.05	\$18,838.54	\$6,970.26
2030	\$3,930.08	\$1,454.13	\$117.90	\$43.62	\$48,575.82	\$17,973.05	\$17,606.11	\$6,514.26
2031	\$3,930.08	\$1,454.13	\$117.90	\$43.62	\$48,575.82	\$17,973.05	\$16,454.31	\$6,088.09
2032	\$3,930.08	\$1,454.13	\$117.90	\$43.62	\$48,575.82	\$17,973.05	\$15,377.86	\$5,689.81
2033	\$3,930.08	\$1,454.13	\$117.90	\$43.62	\$48,575.82	\$17,973.05	\$14,371.83	\$5,317.58
2034	\$3,930.08	\$1,454.13	\$117.90	\$43.62	\$48,575.82	\$17,973.05	\$13,431.62	\$4,969.70
2035	\$3,930.08	\$1,454.13	\$117.90	\$43.62	\$48,575.82	\$17,973.05	\$12,552.91	\$4,644.58
2036	\$3,930.08	\$1,454.13	\$117.90	\$43.62	\$48,575.82	\$17,973.05	\$11,731.70	\$4,340.73
2037	\$3,930.08	\$1,454.13	\$117.90	\$43.62	\$48,575.82	\$17,973.05	\$10,964.20	\$4,056.75
2038	\$3,930.08	\$1,454.13	\$117.90	\$43.62	\$48,575.82	\$17,973.05	\$10,246.92	\$3,791.36
2039	\$3,930.08	\$1,454.13	\$117.90	\$43.62	\$48,575.82	\$17,973.05	\$9,576.56	\$3,543.33
2040	\$3,930.08	\$1,454.13	\$117.90	\$43.62	\$48,575.82	\$17,973.05	\$8,950.05	\$3,311.52
Valor Presente Total							\$514,240.27	\$190,268.90

Tabla 26 Costos de losa asociada a la destilación solar
(Fuente: elaboración propia)

Concepto	Costo por m ²		Área en m ²	Costo Total	
	XCD	USD		XCD	USD
Losa de concreto armado f'c 250kg/cm ² de 8cm de peralte	\$200.00	\$74.00	118444	\$23,688,800.00	\$8,764,856.00
Impermeabilizante	\$85.00	\$31.45	118444	\$10,067,740.00	\$3,725,063.80
Total Losa	\$285.00	\$105.45	118444	\$33,756,540.00	\$12,489,919.80

Tabla 27 Costos de muros asociados a la destilación solar
(Fuente: elaboración propia)

Concepto	Unidad	Costo por unidad		# unidades /m de muro	Costo /m de muro		Longitud total de muros (m)	Costo Total	
		XCD	USD		XCD	USD		XCD	USD
Muros de 70cm de altura									
Bloque de concreto hueco 15cm x15cm x 30cm con caras lisas	pieza	\$3.00	\$1.11	12	\$36.00	\$13.32	12662	\$455,832.00	\$168,657.84
mortero	m ³	\$100.00	\$37.00	0.015	\$1.50	\$0.56	12662	\$18,993.00	\$7,027.41
Total muros de 1.4m de altura					\$37.50	\$13.88	12662	\$474,825.00	\$175,685.25
Muros de 1.4m de altura									
Bloque de concreto hueco 15cm x15cm x 30cm con caras lisas	pieza	\$3.00	\$1.11	24	\$72.00	\$26.64	11628	\$837,216.00	\$309,769.92
mortero	m ³	\$100.00	\$37.00	0.03	\$3.00	\$1.11	11628	\$34,884.00	\$12,907.08
Total muros de 1.4m de altura					\$75.00	\$27.75	11628	\$872,100.00	\$322,677.00
Total muros de 70cm de altura y de 1.4m de altura								\$1,346,925.00	\$498,362.25

Tabla 28 Costo de techo y lados de aluminio y policarbonato asociados a la destilación solar
(Fuente: elaboración propia)

Concepto	Unidad	Costo por Unidad		Cantidad	Costo Total	
		XCD	USD		XCD	USD
Lámina policarbonato transparente doble capa de grosor 6mm	m ²	\$33.78	\$12.50	117662	\$3,975,079.23	\$1,470,779.32
Mermas	m ²	\$33.78	\$12.50	5883	\$198,753.96	\$73,538.97
Flete lamina de policarbonato	-	\$16.22	\$6.00	123545	\$2,003,439.93	\$741,272.78
Costo Lámina con flete y seguro	-	\$83.78	\$31.00		\$6,177,273.13	\$2,285,591.06
Vigas de aluminio en forma de perfiles extruidos de 50mm x 100mm						
Verticales	m	\$102.14	\$37.79	48	\$4,902.49	\$1,813.92
Horizontales	m	\$102.14	\$37.79	136	\$13,890.38	\$5,139.44
Mermas	m	\$102.14	\$37.79	6	\$563.79	\$208.60
Brackets	pieza	\$19.16	\$7.09	430	\$8,239.73	\$3,048.70
Conectores	pieza	\$1.43	\$0.53	2580	\$3,695.68	\$1,367.40
Total vigas de aluminio					\$31,292.06	\$11,578.06
Total cubierto de techo de policarbonato y aluminio					\$6,208,565.18	\$2,297,169.12

Tabla 29a Costos asociados a las bombas del destilador solar
(Fuente: elaboración propia)

Concepto	Unidad	Costo por Unidad		Cantidad	Costo Total	
		XCD	USD		XCD	USD
Bomba MG300G	pieza	\$79,729.73	\$29,500.00	8	\$637,837.84	\$236,000.00
Motor	pieza	\$13,297.30	\$4,920.00	8	\$106,378.38	\$39,360.00
Flete y seguro	-	\$17,905.41	\$6,625.00	-	\$143,243.24	\$53,000.00
Total	-	\$110,932.43	\$41,045.00	-	\$887,459.46	\$328,360.00

Tabla 29b Costos asociados al reemplazo de las bombas del destilador solar
(Fuente: elaboración propia)

Concepto	Unidad	Costo por Unidad		Valor Presente		Cantidad	Costo Total		Valor Presente	
		XCD	USD	XCD	USD		XCD	USD	XCD	USD
Bomba MG300G	pieza	\$124,216.32	\$45,960.04	\$45,021.71	\$16,658.03	8	\$993,730.57	\$367,680.31	\$360,173.69	\$133,264.26
Motor	pieza	\$20,716.76	\$7,665.20	\$7,508.71	\$2,778.22	8	\$165,734.05	\$61,321.60	\$60,069.65	\$22,225.77
Flete y seguro	-	\$27,896.04	\$10,321.53	\$10,110.81	\$3,741.00	-	\$223,168.31	\$82,572.27	\$80,886.46	\$29,927.99
Total	-	\$172,829.12	\$63,946.77	\$62,641.22	\$23,177.25	-	\$1,382,632.92	\$511,574.18	\$501,129.80	\$185,418.03

Tabla 30 Salarios del supervisor del destilador solar
(Fuente: elaboración propia)

Año	Mensual		NIS 3%		Anual con NIS		Valor Presente	
	XCD	USD	XCD	USD	XCD	USD	XCD	USD
2015	\$2,200.00	\$814.00	\$66.00	\$24.42	\$27,192.00	\$10,061.04	\$27,192.00	\$10,061.04
2016	\$2,354.43	\$871.14	\$70.63	\$26.13	\$29,100.69	\$10,767.26	\$27,196.91	\$10,062.86
2017	\$2,512.71	\$929.70	\$75.38	\$27.89	\$31,057.10	\$11,491.13	\$27,126.48	\$10,036.80
2018	\$2,674.95	\$989.73	\$80.25	\$29.69	\$33,062.42	\$12,233.10	\$26,988.79	\$9,985.85
2019	\$2,841.25	\$1,051.26	\$85.24	\$31.54	\$35,117.88	\$12,993.61	\$26,791.26	\$9,912.77
2020	\$3,011.71	\$1,114.33	\$90.35	\$33.43	\$37,224.72	\$13,773.15	\$26,540.71	\$9,820.06
2021	\$3,186.43	\$1,178.98	\$95.59	\$35.37	\$39,384.23	\$14,572.16	\$26,243.37	\$9,710.05
2022	\$3,365.51	\$1,245.24	\$100.97	\$37.36	\$41,597.73	\$15,391.16	\$25,904.97	\$9,584.84
2023	\$3,549.07	\$1,313.16	\$106.47	\$39.39	\$43,866.56	\$16,230.63	\$25,530.74	\$9,446.37
2024	\$3,737.23	\$1,382.77	\$112.12	\$41.48	\$46,192.12	\$17,091.08	\$25,125.45	\$9,296.42
2025	\$3,930.08	\$1,454.13	\$117.90	\$43.62	\$48,575.82	\$17,973.05	\$24,693.48	\$9,136.59
2026	\$3,930.08	\$1,454.13	\$117.90	\$43.62	\$48,575.82	\$17,973.05	\$23,078.02	\$8,538.87
2027	\$3,930.08	\$1,454.13	\$117.90	\$43.62	\$48,575.82	\$17,973.05	\$21,568.24	\$7,980.25
2028	\$3,930.08	\$1,454.13	\$117.90	\$43.62	\$48,575.82	\$17,973.05	\$20,157.24	\$7,458.18
2029	\$3,930.08	\$1,454.13	\$117.90	\$43.62	\$48,575.82	\$17,973.05	\$18,838.54	\$6,970.26
2030	\$3,930.08	\$1,454.13	\$117.90	\$43.62	\$48,575.82	\$17,973.05	\$17,606.11	\$6,514.26
2031	\$3,930.08	\$1,454.13	\$117.90	\$43.62	\$48,575.82	\$17,973.05	\$16,454.31	\$6,088.09
2032	\$3,930.08	\$1,454.13	\$117.90	\$43.62	\$48,575.82	\$17,973.05	\$15,377.86	\$5,689.81
2033	\$3,930.08	\$1,454.13	\$117.90	\$43.62	\$48,575.82	\$17,973.05	\$14,371.83	\$5,317.58
2034	\$3,930.08	\$1,454.13	\$117.90	\$43.62	\$48,575.82	\$17,973.05	\$13,431.62	\$4,969.70
2035	\$3,930.08	\$1,454.13	\$117.90	\$43.62	\$48,575.82	\$17,973.05	\$12,552.91	\$4,644.58
2036	\$3,930.08	\$1,454.13	\$117.90	\$43.62	\$48,575.82	\$17,973.05	\$11,731.70	\$4,340.73
2037	\$3,930.08	\$1,454.13	\$117.90	\$43.62	\$48,575.82	\$17,973.05	\$10,964.20	\$4,056.75
2038	\$3,930.08	\$1,454.13	\$117.90	\$43.62	\$48,575.82	\$17,973.05	\$10,246.92	\$3,791.36
2039	\$3,930.08	\$1,454.13	\$117.90	\$43.62	\$48,575.82	\$17,973.05	\$9,576.56	\$3,543.33
2040	\$3,930.08	\$1,454.13	\$117.90	\$43.62	\$48,575.82	\$17,973.05	\$8,950.05	\$3,311.52
Valor Presente Total							\$514,240.27	\$190,268.90

Tabla 31 Salarios del operador del destilador solar
(Fuente: Elaboración propia)

Año	Mensual		NIS 3%		Anual con NIS		Valor Presente	
	XCD	USD	XCD	USD	XCD	USD	XCD	USD
2015	\$1,750.00	\$647.50	\$52.50	\$19.43	\$21,630.00	\$8,003.10	\$21,630.00	\$8,003.10
2016	\$1,880.88	\$695.92	\$56.43	\$20.88	\$23,247.62	\$8,601.62	\$21,726.74	\$8,038.89
2017	\$2,015.02	\$745.56	\$60.45	\$22.37	\$24,905.67	\$9,215.10	\$21,753.58	\$8,048.82
2018	\$2,152.52	\$796.43	\$64.58	\$23.89	\$26,605.18	\$9,843.92	\$21,717.75	\$8,035.57
2019	\$2,293.46	\$848.58	\$68.80	\$25.46	\$28,347.17	\$10,488.45	\$21,625.92	\$8,001.59
2020	\$2,437.92	\$902.03	\$73.14	\$27.06	\$30,132.72	\$11,149.10	\$21,484.21	\$7,949.16
2021	\$2,586.00	\$956.82	\$77.58	\$28.70	\$31,962.90	\$11,826.27	\$21,298.23	\$7,880.34
2022	\$2,737.77	\$1,012.97	\$82.13	\$30.39	\$33,838.84	\$12,520.37	\$21,073.13	\$7,797.06
2023	\$2,893.34	\$1,070.54	\$86.80	\$32.12	\$35,761.67	\$13,231.82	\$20,813.62	\$7,701.04
2024	\$3,052.80	\$1,129.54	\$91.58	\$33.89	\$37,732.58	\$13,961.05	\$20,524.02	\$7,593.89
2025	\$3,216.24	\$1,190.01	\$96.49	\$35.70	\$39,752.76	\$14,708.52	\$20,208.29	\$7,477.07
2026	\$3,216.24	\$1,190.01	\$96.49	\$35.70	\$39,752.76	\$14,708.52	\$18,886.25	\$6,987.91
2027	\$3,216.24	\$1,190.01	\$96.49	\$35.70	\$39,752.76	\$14,708.52	\$17,650.70	\$6,530.76
2028	\$3,216.24	\$1,190.01	\$96.49	\$35.70	\$39,752.76	\$14,708.52	\$16,495.98	\$6,103.51
2029	\$3,216.24	\$1,190.01	\$96.49	\$35.70	\$39,752.76	\$14,708.52	\$15,416.81	\$5,704.22
2030	\$3,216.24	\$1,190.01	\$96.49	\$35.70	\$39,752.76	\$14,708.52	\$14,408.23	\$5,331.04
2031	\$3,216.24	\$1,190.01	\$96.49	\$35.70	\$39,752.76	\$14,708.52	\$13,465.63	\$4,982.28
2032	\$3,216.24	\$1,190.01	\$96.49	\$35.70	\$39,752.76	\$14,708.52	\$12,584.71	\$4,656.34
2033	\$3,216.24	\$1,190.01	\$96.49	\$35.70	\$39,752.76	\$14,708.52	\$11,761.41	\$4,351.72
2034	\$3,216.24	\$1,190.01	\$96.49	\$35.70	\$39,752.76	\$14,708.52	\$10,991.97	\$4,067.03
2035	\$3,216.24	\$1,190.01	\$96.49	\$35.70	\$39,752.76	\$14,708.52	\$10,272.87	\$3,800.96
2036	\$3,216.24	\$1,190.01	\$96.49	\$35.70	\$39,752.76	\$14,708.52	\$9,600.81	\$3,552.30
2037	\$3,216.24	\$1,190.01	\$96.49	\$35.70	\$39,752.76	\$14,708.52	\$8,972.72	\$3,319.91
2038	\$3,216.24	\$1,190.01	\$96.49	\$35.70	\$39,752.76	\$14,708.52	\$8,385.72	\$3,102.72
2039	\$3,216.24	\$1,190.01	\$96.49	\$35.70	\$39,752.76	\$14,708.52	\$7,837.12	\$2,899.74
2040	\$3,216.24	\$1,190.01	\$96.49	\$35.70	\$39,752.76	\$14,708.52	\$7,324.41	\$2,710.03
Valor Presente Total							\$417,910.82	\$154,627.00

Tabla 32 Salarios de los trabajadores de limpieza del destilador solar
(Fuente: Elaboración propia)

Año	Mensual		NIS 3%		Anual con NIS		Número de trabajadores	Total Anual		Valor Presente	
	XCD	USD	XCD	USD	XCD	USD		XCD	USD	XCD	USD
2015	\$850.00	\$314.50	\$25.50	\$9.44	\$10,506.00	\$3,887.22	2	\$21,012.00	\$7,774.44	\$21,012.00	\$7,774.44
2016	\$918.38	\$339.80	\$27.55	\$10.19	\$11,351.12	\$4,199.91	2	\$22,702.23	\$8,399.83	\$21,217.04	\$7,850.30
2017	\$1,028.46	\$380.53	\$30.85	\$11.42	\$12,711.76	\$4,703.35	2	\$25,423.52	\$9,406.70	\$22,205.88	\$8,216.18
2018	\$1,141.30	\$422.28	\$34.24	\$12.67	\$14,106.42	\$5,219.37	2	\$28,212.83	\$10,438.75	\$23,030.08	\$8,521.13
2019	\$1,256.95	\$465.07	\$37.71	\$13.95	\$15,535.94	\$5,748.30	2	\$31,071.88	\$11,496.60	\$23,704.59	\$8,770.70
2020	\$1,375.50	\$508.94	\$41.27	\$15.27	\$17,001.21	\$6,290.45	2	\$34,002.41	\$12,580.89	\$24,243.25	\$8,970.00
2021	\$1,497.01	\$553.90	\$44.91	\$16.62	\$18,503.10	\$6,846.15	2	\$37,006.20	\$13,692.29	\$24,658.79	\$9,123.75
2022	\$1,621.57	\$599.98	\$48.65	\$18.00	\$20,042.54	\$7,415.74	2	\$40,085.09	\$14,831.48	\$24,962.98	\$9,236.30
2023	\$1,749.23	\$647.21	\$52.48	\$19.42	\$21,620.47	\$7,999.57	2	\$43,240.94	\$15,999.15	\$25,166.62	\$9,311.65
2024	\$1,880.08	\$695.63	\$56.40	\$20.87	\$23,237.85	\$8,598.00	2	\$46,475.70	\$17,196.01	\$25,279.70	\$9,353.49
2025	\$2,014.21	\$745.26	\$60.43	\$22.36	\$24,895.66	\$9,211.39	2	\$49,791.32	\$18,422.79	\$25,311.38	\$9,365.21
2026	\$2,014.21	\$745.26	\$60.43	\$22.36	\$24,895.66	\$9,211.39	2	\$49,791.32	\$18,422.79	\$23,655.50	\$8,752.53
2027	\$2,014.21	\$745.26	\$60.43	\$22.36	\$24,895.66	\$9,211.39	2	\$49,791.32	\$18,422.79	\$22,107.94	\$8,179.94
2028	\$2,014.21	\$745.26	\$60.43	\$22.36	\$24,895.66	\$9,211.39	2	\$49,791.32	\$18,422.79	\$20,661.63	\$7,644.80
2029	\$2,014.21	\$745.26	\$60.43	\$22.36	\$24,895.66	\$9,211.39	2	\$49,791.32	\$18,422.79	\$19,309.93	\$7,144.67
2030	\$2,014.21	\$745.26	\$60.43	\$22.36	\$24,895.66	\$9,211.39	2	\$49,791.32	\$18,422.79	\$18,046.67	\$6,677.27
2031	\$2,014.21	\$745.26	\$60.43	\$22.36	\$24,895.66	\$9,211.39	2	\$49,791.32	\$18,422.79	\$16,866.04	\$6,240.44
2032	\$2,014.21	\$745.26	\$60.43	\$22.36	\$24,895.66	\$9,211.39	2	\$49,791.32	\$18,422.79	\$15,762.66	\$5,832.18
2033	\$2,014.21	\$745.26	\$60.43	\$22.36	\$24,895.66	\$9,211.39	2	\$49,791.32	\$18,422.79	\$14,731.45	\$5,450.64
2034	\$2,014.21	\$745.26	\$60.43	\$22.36	\$24,895.66	\$9,211.39	2	\$49,791.32	\$18,422.79	\$13,767.71	\$5,094.05
2035	\$2,014.21	\$745.26	\$60.43	\$22.36	\$24,895.66	\$9,211.39	2	\$49,791.32	\$18,422.79	\$12,867.02	\$4,760.80
2036	\$2,014.21	\$745.26	\$60.43	\$22.36	\$24,895.66	\$9,211.39	2	\$49,791.32	\$18,422.79	\$12,025.26	\$4,449.34
2037	\$2,014.21	\$745.26	\$60.43	\$22.36	\$24,895.66	\$9,211.39	2	\$49,791.32	\$18,422.79	\$11,238.56	\$4,158.27
2038	\$2,014.21	\$745.26	\$60.43	\$22.36	\$24,895.66	\$9,211.39	2	\$49,791.32	\$18,422.79	\$10,503.32	\$3,886.23
2039	\$2,014.21	\$745.26	\$60.43	\$22.36	\$24,895.66	\$9,211.39	2	\$49,791.32	\$18,422.79	\$9,816.19	\$3,631.99
2040	\$2,014.21	\$745.26	\$60.43	\$22.36	\$24,895.66	\$9,211.39	2	\$49,791.32	\$18,422.79	\$9,174.01	\$3,394.38
Valor Presente Total									\$491,326.21	\$181,790.70	

Tabla 33a Consumo de energía eléctrica asociado a la opción del destilador solar
(Fuente: Elaboración propia)

Concepto	Consumo por Unidad en kw	Tiempo de uso en horas	Consumo diario por unidad kwh	Número de unidades	Consumo diario en kwh	Consumo anual en kwh	Consumo anual en Mwh
Bomba	110	6	660	8	5,280	1,927,200	1927.2
Total consumo de electricidad						1,927,200	1927.2

Tabla 33b Costos de electricidad asociados a la opción del destilador solar
(Fuente: Elaboración propia)

Año	Energía en kwh	Costo/ kwh		Costo electricidad		IVA (15%)		Prima diesel	Costo prima diesel		Costo total		Valor presente	
		XCD	USD	XCD	USD	XCD	USD		XCD	USD	XCD	USD	XCD	USD
2015	1,927,200	\$0.41	\$0.15	\$780,516.00	\$288,790.92	\$117,077.40	\$43,318.64	0.517	\$403,526.77	\$149,304.91	\$1,301,120.17	\$481,414.46	\$1,301,120.17	\$481,414.46
2016	1,927,200	\$0.42	\$0.15	\$800,028.90	\$296,010.69	\$120,004.34	\$44,401.60	0.517	\$413,614.94	\$153,037.53	\$1,333,648.18	\$493,449.83	\$1,246,400.16	\$461,168.06
2017	1927200	\$0.43	\$0.16	\$820,029.62	\$303,410.96	\$123,004.44	\$45,511.64	0.517	\$423,955.31	\$156,863.47	\$1,366,989.38	\$505,786.07	\$1,193,981.47	\$441,773.14
2018	1927200	\$0.44	\$0.16	\$840,530.36	\$310,996.23	\$126,079.55	\$46,649.44	0.517	\$434,554.20	\$160,785.05	\$1,401,164.12	\$518,430.72	\$1,143,767.29	\$423,193.90
2019	1927200	\$0.45	\$0.17	\$861,543.62	\$318,771.14	\$129,231.54	\$47,815.67	0.517	\$445,418.05	\$164,804.68	\$1,436,193.22	\$531,391.49	\$1,095,664.93	\$405,396.02
2020	1927200	\$0.46	\$0.17	\$883,082.21	\$326,740.42	\$132,462.33	\$49,011.06	0.517	\$456,553.50	\$168,924.80	\$1,472,098.05	\$544,676.28	\$1,049,585.56	\$388,346.66
2021	1927200	\$0.47	\$0.17	\$905,159.27	\$334,908.93	\$135,773.89	\$50,236.34	0.517	\$467,967.34	\$173,147.92	\$1,508,900.50	\$558,293.18	\$1,005,444.11	\$372,014.32
2022	1927200	\$0.48	\$0.18	\$927,788.25	\$343,281.65	\$139,168.24	\$51,492.25	0.517	\$479,666.53	\$177,476.61	\$1,546,623.01	\$572,250.51	\$963,159.08	\$356,368.86
2023	1927200	\$0.49	\$0.18	\$950,982.96	\$351,863.69	\$142,647.44	\$52,779.55	0.517	\$491,658.19	\$181,913.53	\$1,585,288.59	\$586,556.78	\$922,652.39	\$341,381.38
2024	1927200	\$0.51	\$0.19	\$974,757.53	\$360,660.29	\$146,213.63	\$54,099.04	0.517	\$503,949.64	\$186,461.37	\$1,624,920.80	\$601,220.70	\$883,849.25	\$327,024.22
2025	1927200	\$0.52	\$0.19	\$999,126.47	\$369,676.79	\$149,868.97	\$55,451.52	0.517	\$516,548.38	\$191,122.90	\$1,665,543.82	\$616,251.21	\$846,678.02	\$313,270.87
2026	1927200	\$0.53	\$0.20	\$1,024,104.63	\$378,918.71	\$153,615.69	\$56,837.81	0.517	\$529,462.09	\$195,900.97	\$1,707,182.42	\$631,657.49	\$811,070.07	\$300,095.93
2027	1927200	\$0.54	\$0.20	\$1,049,707.25	\$388,391.68	\$157,456.09	\$58,258.75	0.517	\$542,698.65	\$200,798.50	\$1,749,861.98	\$647,448.93	\$776,959.65	\$287,475.07
2028	1927200	\$0.56	\$0.21	\$1,075,949.93	\$398,101.47	\$161,392.49	\$59,715.22	0.517	\$556,266.11	\$205,818.46	\$1,793,608.53	\$663,635.16	\$744,283.77	\$275,385.00
2029	1927200	\$0.57	\$0.21	\$1,102,848.67	\$408,054.01	\$165,427.30	\$61,208.10	0.517	\$570,172.76	\$210,963.92	\$1,838,448.74	\$680,226.03	\$712,982.12	\$263,803.38
2030	1927200	\$0.59	\$0.22	\$1,130,419.89	\$418,255.36	\$169,562.98	\$62,738.30	0.517	\$584,427.08	\$216,238.02	\$1,884,409.96	\$697,231.69	\$682,996.89	\$252,708.85
2031	1927200	\$0.60	\$0.22	\$1,158,680.39	\$428,711.74	\$173,802.06	\$64,306.76	0.517	\$599,037.76	\$221,643.97	\$1,931,520.21	\$714,662.48	\$654,272.72	\$242,080.91
2032	1927200	\$0.62	\$0.23	\$1,187,647.40	\$439,429.54	\$178,147.11	\$65,914.43	0.517	\$614,013.71	\$227,185.07	\$1,979,808.21	\$732,529.04	\$626,756.58	\$231,899.93
2033	1927200	\$0.63	\$0.23	\$1,217,338.58	\$450,415.28	\$182,600.79	\$67,562.29	0.517	\$629,364.05	\$232,864.70	\$2,029,303.42	\$750,842.27	\$600,397.66	\$222,147.13
2034	1927200	\$0.65	\$0.24	\$1,247,772.05	\$461,675.66	\$187,165.81	\$69,251.35	0.517	\$645,098.15	\$238,686.32	\$2,080,036.00	\$769,613.32	\$575,147.29	\$212,804.50
2035	1927200	\$0.66	\$0.25	\$1,278,966.35	\$473,217.55	\$191,844.95	\$70,982.63	0.517	\$661,225.60	\$244,653.47	\$2,132,036.90	\$788,853.65	\$550,958.85	\$203,854.77
2036	1927200	\$0.68	\$0.25	\$1,310,940.51	\$485,047.99	\$196,641.08	\$72,757.20	0.517	\$677,756.24	\$250,769.81	\$2,185,337.83	\$808,575.00	\$527,787.68	\$195,281.44
2037	1927200	\$0.70	\$0.26	\$1,343,714.02	\$497,174.19	\$201,557.10	\$74,576.13	0.517	\$694,700.15	\$257,039.06	\$2,239,971.27	\$828,789.37	\$505,591.01	\$187,068.67
2038	1927200	\$0.71	\$0.26	\$1,377,306.87	\$509,603.54	\$206,596.03	\$76,440.53	0.517	\$712,067.65	\$263,465.03	\$2,295,970.55	\$849,509.11	\$484,327.83	\$179,201.30
2039	1927200	\$0.73	\$0.27	\$1,411,739.54	\$522,343.63	\$211,760.93	\$78,351.54	0.517	\$729,869.34	\$270,051.66	\$2,353,369.82	\$870,746.83	\$463,958.91	\$171,664.79
2040	1927200	\$0.75	\$0.28	\$1,447,033.03	\$535,402.22	\$217,054.95	\$80,310.33	0.517	\$748,116.08	\$276,802.95	\$2,412,204.06	\$892,515.50	\$444,446.61	\$164,445.25
Valor Presente Total												\$20,814,240.09	\$7,701,268.83	

Apéndice 4

Tabla 34 Costos asociados a los tanques de almacenamiento para la opción del traslado de agua
(Fuente: Elaboración propia)

Concepto	Costo por tanque			Número	Costo Total		
	XCD	USD	EUR		XCD	USD	EUR
Material	\$483,467.24	\$135,079.92	€ 97,884.00	3	\$1,450,401.73	\$405,239.76	€ 293,652.00
Montaje	\$117,355.05	\$32,788.80	€ 23,760.00	3	\$352,065.15	\$98,366.40	€ 71,280.00
Flete	\$41,983.08	\$11,730.00	€ 8,500.00	3	\$125,949.23	\$35,190.00	€ 25,500.00
Preparación de terreno	\$20,000.00	\$7,711.39	€ 5,587.97	3	\$60,000.00	\$23,134.18	€ 16,763.90
Total Tanques	\$662,805.37	\$187,310.11	€ 135,731.97	3	\$1,988,416.11	\$561,930.34	€ 407,195.90

Tabla 35 Costos asociados a la iluminación para la opción del traslado de agua
(Fuente: Elaboración propia)

Concepto	Costo por Unidad		Número	Costo Total	
	XCD	USD		XCD	USD
Lámparas	\$135.14	\$50.00	8	\$1,081.08	\$400.00
Poste con cableado	\$540.54	\$200.00	8	\$4,324.32	\$1,600.00
Total iluminación	\$675.68	\$250.00	8	\$5,405.41	\$2,000.00

Tabla 36 Salarios del capitán del barco
(Fuente: Elaboración propia)

Año	Mensual		NIS 3%		Anual con NIS		Valor Presente	
	XCD	USD	XCD	USD	XCD	USD	XCD	USD
2015	\$3,500.00	\$1,295.00	\$105.00	\$38.85	\$43,260.00	\$16,006.20	\$43,260.00	\$16,006.20
2016	\$3,741.25	\$1,384.26	\$112.24	\$41.53	\$46,241.85	\$17,109.48	\$43,216.68	\$15,990.17
2017	\$3,988.53	\$1,475.76	\$119.66	\$44.27	\$49,298.25	\$18,240.35	\$43,059.00	\$15,931.83
2018	\$4,241.99	\$1,569.54	\$127.26	\$47.09	\$52,431.05	\$19,399.49	\$42,799.36	\$15,835.76
2019	\$4,501.79	\$1,665.66	\$135.05	\$49.97	\$55,642.18	\$20,587.61	\$42,449.15	\$15,706.19
2020	\$4,768.09	\$1,764.19	\$143.04	\$52.93	\$58,933.58	\$21,805.43	\$42,018.83	\$15,546.97
2021	\$5,041.04	\$1,865.19	\$151.23	\$55.96	\$62,307.27	\$23,053.69	\$41,517.97	\$15,361.65
2022	\$5,320.82	\$1,968.70	\$159.62	\$59.06	\$65,765.30	\$24,333.16	\$40,955.33	\$15,153.47
2023	\$5,607.59	\$2,074.81	\$168.23	\$62.24	\$69,309.79	\$25,644.62	\$40,338.93	\$14,925.40
2024	\$5,901.53	\$2,183.57	\$177.05	\$65.51	\$72,942.88	\$26,988.87	\$39,676.09	\$14,680.16
2025	\$6,202.82	\$2,295.04	\$186.08	\$68.85	\$76,666.80	\$28,366.72	\$38,973.52	\$14,420.20
2026	\$6,202.82	\$2,295.04	\$186.08	\$68.85	\$76,666.80	\$28,366.72	\$36,423.85	\$13,476.82
2027	\$6,202.82	\$2,295.04	\$186.08	\$68.85	\$76,666.80	\$28,366.72	\$34,040.98	\$12,595.16
2028	\$6,202.82	\$2,295.04	\$186.08	\$68.85	\$76,666.80	\$28,366.72	\$31,814.00	\$11,771.18
2029	\$6,202.82	\$2,295.04	\$186.08	\$68.85	\$76,666.80	\$28,366.72	\$29,732.71	\$11,001.10
2030	\$6,202.82	\$2,295.04	\$186.08	\$68.85	\$76,666.80	\$28,366.72	\$27,787.58	\$10,281.40
2031	\$6,202.82	\$2,295.04	\$186.08	\$68.85	\$76,666.80	\$28,366.72	\$25,969.70	\$9,608.79
2032	\$6,202.82	\$2,295.04	\$186.08	\$68.85	\$76,666.80	\$28,366.72	\$24,270.75	\$8,980.18
2033	\$6,202.82	\$2,295.04	\$186.08	\$68.85	\$76,666.80	\$28,366.72	\$22,682.94	\$8,392.69
2034	\$6,202.82	\$2,295.04	\$186.08	\$68.85	\$76,666.80	\$28,366.72	\$21,199.01	\$7,843.63
2035	\$6,202.82	\$2,295.04	\$186.08	\$68.85	\$76,666.80	\$28,366.72	\$19,812.16	\$7,330.50
2036	\$6,202.82	\$2,295.04	\$186.08	\$68.85	\$76,666.80	\$28,366.72	\$18,516.04	\$6,850.93
2037	\$6,202.82	\$2,295.04	\$186.08	\$68.85	\$76,666.80	\$28,366.72	\$17,304.71	\$6,402.74
2038	\$6,202.82	\$2,295.04	\$186.08	\$68.85	\$76,666.80	\$28,366.72	\$16,172.62	\$5,983.87
2039	\$6,202.82	\$2,295.04	\$186.08	\$68.85	\$76,666.80	\$28,366.72	\$15,114.60	\$5,592.40
2040	\$6,202.82	\$2,295.04	\$186.08	\$68.85	\$76,666.80	\$28,366.72	\$14,125.80	\$5,226.54
Valor Presente Total							\$813,232.28	\$300,895.94

Tabla 37 Salarios de los ayudantes del barco
(Fuente: Elaboración propia)

Año	Mensual		NIS 3%		Anual con NIS		Número de trabajadores	Total Anual		Valor Presente	
	XCD	USD	XCD	USD	XCD	USD		XCD	USD	XCD	USD
2015	\$1,100.00	\$407.00	\$33.00	\$12.21	\$13,596.00	\$5,030.52	6	\$81,576.00	\$30,183.12	\$81,576.00	\$30,183.12
2016	\$1,194.13	\$441.83	\$35.82	\$13.25	\$14,759.39	\$5,460.97	6	\$88,556.31	\$32,765.83	\$82,762.91	\$30,622.28
2017	\$1,290.60	\$477.52	\$38.72	\$14.33	\$15,951.85	\$5,902.19	6	\$95,711.13	\$35,413.12	\$83,597.81	\$30,931.19
2018	\$1,389.49	\$514.11	\$41.68	\$15.42	\$17,174.14	\$6,354.43	6	\$103,044.82	\$38,126.58	\$84,115.26	\$31,122.65
2019	\$1,490.86	\$551.62	\$44.73	\$16.55	\$18,426.97	\$6,817.98	6	\$110,561.85	\$40,907.88	\$84,347.10	\$31,208.43
2020	\$1,594.75	\$590.06	\$47.84	\$17.70	\$19,711.13	\$7,293.12	6	\$118,266.80	\$43,758.72	\$84,322.60	\$31,199.36
2021	\$1,701.25	\$629.46	\$51.04	\$18.88	\$21,027.40	\$7,780.14	6	\$126,164.38	\$46,680.82	\$84,068.66	\$31,105.40
2022	\$1,810.40	\$669.85	\$54.31	\$20.10	\$22,376.57	\$8,279.33	6	\$134,259.40	\$49,675.98	\$83,610.01	\$30,935.70
2023	\$1,922.29	\$711.25	\$57.67	\$21.34	\$23,759.47	\$8,791.00	6	\$142,556.80	\$52,746.01	\$82,969.35	\$30,698.66
2024	\$2,036.97	\$753.68	\$61.11	\$22.61	\$25,176.94	\$9,315.47	6	\$151,061.63	\$55,892.80	\$82,167.52	\$30,401.98
2025	\$2,154.52	\$797.17	\$64.64	\$23.92	\$26,629.85	\$9,853.04	6	\$159,779.08	\$59,118.26	\$81,223.58	\$30,052.73
2026	\$2,154.52	\$797.17	\$64.64	\$23.92	\$26,629.85	\$9,853.04	6	\$159,779.08	\$59,118.26	\$75,909.89	\$28,086.66
2027	\$2,154.52	\$797.17	\$64.64	\$23.92	\$26,629.85	\$9,853.04	6	\$159,779.08	\$59,118.26	\$70,943.82	\$26,249.21
2028	\$2,154.52	\$797.17	\$64.64	\$23.92	\$26,629.85	\$9,853.04	6	\$159,779.08	\$59,118.26	\$66,302.64	\$24,531.98
2029	\$2,154.52	\$797.17	\$64.64	\$23.92	\$26,629.85	\$9,853.04	6	\$159,779.08	\$59,118.26	\$61,965.08	\$22,927.08
2030	\$2,154.52	\$797.17	\$64.64	\$23.92	\$26,629.85	\$9,853.04	6	\$159,779.08	\$59,118.26	\$57,911.29	\$21,427.18
2031	\$2,154.52	\$797.17	\$64.64	\$23.92	\$26,629.85	\$9,853.04	6	\$159,779.08	\$59,118.26	\$54,122.70	\$20,025.40
2032	\$2,154.52	\$797.17	\$64.64	\$23.92	\$26,629.85	\$9,853.04	6	\$159,779.08	\$59,118.26	\$50,581.96	\$18,715.33
2033	\$2,154.52	\$797.17	\$64.64	\$23.92	\$26,629.85	\$9,853.04	6	\$159,779.08	\$59,118.26	\$47,272.86	\$17,490.96
2034	\$2,154.52	\$797.17	\$64.64	\$23.92	\$26,629.85	\$9,853.04	6	\$159,779.08	\$59,118.26	\$44,180.25	\$16,346.69
2035	\$2,154.52	\$797.17	\$64.64	\$23.92	\$26,629.85	\$9,853.04	6	\$159,779.08	\$59,118.26	\$41,289.95	\$15,277.28
2036	\$2,154.52	\$797.17	\$64.64	\$23.92	\$26,629.85	\$9,853.04	6	\$159,779.08	\$59,118.26	\$38,588.74	\$14,277.83
2037	\$2,154.52	\$797.17	\$64.64	\$23.92	\$26,629.85	\$9,853.04	6	\$159,779.08	\$59,118.26	\$36,064.24	\$13,343.77
2038	\$2,154.52	\$797.17	\$64.64	\$23.92	\$26,629.85	\$9,853.04	6	\$159,779.08	\$59,118.26	\$33,704.90	\$12,470.81
2039	\$2,154.52	\$797.17	\$64.64	\$23.92	\$26,629.85	\$9,853.04	6	\$159,779.08	\$59,118.26	\$31,499.91	\$11,654.96
2040	\$2,154.52	\$797.17	\$64.64	\$23.92	\$26,629.85	\$9,853.04	6	\$159,779.08	\$59,118.26	\$29,439.16	\$10,892.49
Valor Presente Total									\$1,654,538.18	\$612,179.13	

Tabla 38 Salarios del supervisor
(Fuente: Elaboración propia)

Año	Mensual		NIS 3%		Anual con NIS		Valor Presente	
	XCD	USD	XCD	USD	XCD	USD	XCD	USD
2015	\$2,200.00	\$814.00	\$66.00	\$24.42	\$27,192.00	\$10,061.04	\$27,192.00	\$10,061.04
2016	\$2,354.43	\$871.14	\$70.63	\$26.13	\$29,100.69	\$10,767.26	\$27,196.91	\$10,062.86
2017	\$2,512.71	\$929.70	\$75.38	\$27.89	\$31,057.10	\$11,491.13	\$27,126.48	\$10,036.80
2018	\$2,674.95	\$989.73	\$80.25	\$29.69	\$33,062.42	\$12,233.10	\$26,988.79	\$9,985.85
2019	\$2,841.25	\$1,051.26	\$85.24	\$31.54	\$35,117.88	\$12,993.61	\$26,791.26	\$9,912.77
2020	\$3,011.71	\$1,114.33	\$90.35	\$33.43	\$37,224.72	\$13,773.15	\$26,540.71	\$9,820.06
2021	\$3,186.43	\$1,178.98	\$95.59	\$35.37	\$39,384.23	\$14,572.16	\$26,243.37	\$9,710.05
2022	\$3,365.51	\$1,245.24	\$100.97	\$37.36	\$41,597.73	\$15,391.16	\$25,904.97	\$9,584.84
2023	\$3,549.07	\$1,313.16	\$106.47	\$39.39	\$43,866.56	\$16,230.63	\$25,530.74	\$9,446.37
2024	\$3,737.23	\$1,382.77	\$112.12	\$41.48	\$46,192.12	\$17,091.08	\$25,125.45	\$9,296.42
2025	\$3,930.08	\$1,454.13	\$117.90	\$43.62	\$48,575.82	\$17,973.05	\$24,693.48	\$9,136.59
2026	\$3,930.08	\$1,454.13	\$117.90	\$43.62	\$48,575.82	\$17,973.05	\$23,078.02	\$8,538.87
2027	\$3,930.08	\$1,454.13	\$117.90	\$43.62	\$48,575.82	\$17,973.05	\$21,568.24	\$7,980.25
2028	\$3,930.08	\$1,454.13	\$117.90	\$43.62	\$48,575.82	\$17,973.05	\$20,157.24	\$7,458.18
2029	\$3,930.08	\$1,454.13	\$117.90	\$43.62	\$48,575.82	\$17,973.05	\$18,838.54	\$6,970.26
2030	\$3,930.08	\$1,454.13	\$117.90	\$43.62	\$48,575.82	\$17,973.05	\$17,606.11	\$6,514.26
2031	\$3,930.08	\$1,454.13	\$117.90	\$43.62	\$48,575.82	\$17,973.05	\$16,454.31	\$6,088.09
2032	\$3,930.08	\$1,454.13	\$117.90	\$43.62	\$48,575.82	\$17,973.05	\$15,377.86	\$5,689.81
2033	\$3,930.08	\$1,454.13	\$117.90	\$43.62	\$48,575.82	\$17,973.05	\$14,371.83	\$5,317.58
2034	\$3,930.08	\$1,454.13	\$117.90	\$43.62	\$48,575.82	\$17,973.05	\$13,431.62	\$4,969.70
2035	\$3,930.08	\$1,454.13	\$117.90	\$43.62	\$48,575.82	\$17,973.05	\$12,552.91	\$4,644.58
2036	\$3,930.08	\$1,454.13	\$117.90	\$43.62	\$48,575.82	\$17,973.05	\$11,731.70	\$4,340.73
2037	\$3,930.08	\$1,454.13	\$117.90	\$43.62	\$48,575.82	\$17,973.05	\$10,964.20	\$4,056.75
2038	\$3,930.08	\$1,454.13	\$117.90	\$43.62	\$48,575.82	\$17,973.05	\$10,246.92	\$3,791.36
2039	\$3,930.08	\$1,454.13	\$117.90	\$43.62	\$48,575.82	\$17,973.05	\$9,576.56	\$3,543.33
2040	\$3,930.08	\$1,454.13	\$117.90	\$43.62	\$48,575.82	\$17,973.05	\$8,950.05	\$3,311.52
Valor Presente Total							\$514,240.27	\$190,268.90

Tabla 39 Salarios de los ayudantes generales
(Fuente: Elaboración propia)

Año	Mensual		NIS 3%		Anual con NIS		Número de trabajadores	Total Anual		Valor Presente		
	XCD	USD	XCD	USD	XCD	USD		XCD	USD	XCD	USD	
2015	\$1,100.00	\$407.00	\$33.00	\$12.21	\$13,596.00	\$5,030.52	2	\$27,192.00	\$10,061.04	\$27,192.00	\$10,061.04	
2016	\$1,194.13	\$441.83	\$35.82	\$13.25	\$14,759.39	\$5,460.97	2	\$29,518.77	\$10,921.94	\$27,587.64	\$10,207.43	
2017	\$1,290.60	\$477.52	\$38.72	\$14.33	\$15,951.85	\$5,902.19	2	\$31,903.71	\$11,804.37	\$27,865.94	\$10,310.40	
2018	\$1,389.49	\$514.11	\$41.68	\$15.42	\$17,174.14	\$6,354.43	2	\$34,348.27	\$12,708.86	\$28,038.42	\$10,374.22	
2019	\$1,490.86	\$551.62	\$44.73	\$16.55	\$18,426.97	\$6,817.98	2	\$36,853.95	\$13,635.96	\$28,115.70	\$10,402.81	
2020	\$1,594.75	\$590.06	\$47.84	\$17.70	\$19,711.13	\$7,293.12	2	\$39,422.27	\$14,586.24	\$28,107.53	\$10,399.79	
2021	\$1,701.25	\$629.46	\$51.04	\$18.88	\$21,027.40	\$7,780.14	2	\$42,054.79	\$15,560.27	\$28,022.89	\$10,368.47	
2022	\$1,810.40	\$669.85	\$54.31	\$20.10	\$22,376.57	\$8,279.33	2	\$44,753.13	\$16,558.66	\$27,870.00	\$10,311.90	
2023	\$1,922.29	\$711.25	\$57.67	\$21.34	\$23,759.47	\$8,791.00	2	\$47,518.93	\$17,582.00	\$27,656.45	\$10,232.89	
2024	\$2,036.97	\$753.68	\$61.11	\$22.61	\$25,176.94	\$9,315.47	2	\$50,353.88	\$18,630.93	\$27,389.17	\$10,133.99	
2025	\$2,154.52	\$797.17	\$64.64	\$23.92	\$26,629.85	\$9,853.04	2	\$53,259.69	\$19,706.09	\$27,074.53	\$10,017.58	
2026	\$2,154.52	\$797.17	\$64.64	\$23.92	\$26,629.85	\$9,853.04	2	\$53,259.69	\$19,706.09	\$25,303.30	\$9,362.22	
2027	\$2,154.52	\$797.17	\$64.64	\$23.92	\$26,629.85	\$9,853.04	2	\$53,259.69	\$19,706.09	\$23,647.94	\$8,749.74	
2028	\$2,154.52	\$797.17	\$64.64	\$23.92	\$26,629.85	\$9,853.04	2	\$53,259.69	\$19,706.09	\$22,100.88	\$8,177.33	
2029	\$2,154.52	\$797.17	\$64.64	\$23.92	\$26,629.85	\$9,853.04	2	\$53,259.69	\$19,706.09	\$20,655.03	\$7,642.36	
2030	\$2,154.52	\$797.17	\$64.64	\$23.92	\$26,629.85	\$9,853.04	2	\$53,259.69	\$19,706.09	\$19,303.76	\$7,142.39	
2031	\$2,154.52	\$797.17	\$64.64	\$23.92	\$26,629.85	\$9,853.04	2	\$53,259.69	\$19,706.09	\$18,040.90	\$6,675.13	
2032	\$2,154.52	\$797.17	\$64.64	\$23.92	\$26,629.85	\$9,853.04	2	\$53,259.69	\$19,706.09	\$16,860.65	\$6,238.44	
2033	\$2,154.52	\$797.17	\$64.64	\$23.92	\$26,629.85	\$9,853.04	2	\$53,259.69	\$19,706.09	\$15,757.62	\$5,830.32	
2034	\$2,154.52	\$797.17	\$64.64	\$23.92	\$26,629.85	\$9,853.04	2	\$53,259.69	\$19,706.09	\$14,726.75	\$5,448.90	
2035	\$2,154.52	\$797.17	\$64.64	\$23.92	\$26,629.85	\$9,853.04	2	\$53,259.69	\$19,706.09	\$13,763.32	\$5,092.43	
2036	\$2,154.52	\$797.17	\$64.64	\$23.92	\$26,629.85	\$9,853.04	2	\$53,259.69	\$19,706.09	\$12,862.91	\$4,759.28	
2037	\$2,154.52	\$797.17	\$64.64	\$23.92	\$26,629.85	\$9,853.04	2	\$53,259.69	\$19,706.09	\$12,021.41	\$4,447.92	
2038	\$2,154.52	\$797.17	\$64.64	\$23.92	\$26,629.85	\$9,853.04	2	\$53,259.69	\$19,706.09	\$11,234.97	\$4,156.94	
2039	\$2,154.52	\$797.17	\$64.64	\$23.92	\$26,629.85	\$9,853.04	2	\$53,259.69	\$19,706.09	\$10,499.97	\$3,884.99	
2040	\$2,154.52	\$797.17	\$64.64	\$23.92	\$26,629.85	\$9,853.04	2	\$53,259.69	\$19,706.09	\$9,813.05	\$3,630.83	
Valor Presente Total									\$551,512.73	\$204,059.71		

Tabla 40 Salarios del encargado de mantenimiento
(Fuente: Elaboración propia)

Año	Mensual		NIS 3%		Anual con NIS		Valor Presente	
	XCD	USD	XCD	USD	XCD	USD	XCD	USD
2015	\$1,750.00	\$647.50	\$52.50	\$19.43	\$21,630.00	\$8,003.10	\$21,630.00	\$8,003.10
2016	\$1,880.88	\$695.92	\$56.43	\$20.88	\$23,247.62	\$8,601.62	\$21,726.74	\$8,038.89
2017	\$2,015.02	\$745.56	\$60.45	\$22.37	\$24,905.67	\$9,215.10	\$21,753.58	\$8,048.82
2018	\$2,152.52	\$796.43	\$64.58	\$23.89	\$26,605.18	\$9,843.92	\$21,717.75	\$8,035.57
2019	\$2,293.46	\$848.58	\$68.80	\$25.46	\$28,347.17	\$10,488.45	\$21,625.92	\$8,001.59
2020	\$2,437.92	\$902.03	\$73.14	\$27.06	\$30,132.72	\$11,149.10	\$21,484.21	\$7,949.16
2021	\$2,586.00	\$956.82	\$77.58	\$28.70	\$31,962.90	\$11,826.27	\$21,298.23	\$7,880.34
2022	\$2,737.77	\$1,012.97	\$82.13	\$30.39	\$33,838.84	\$12,520.37	\$21,073.13	\$7,797.06
2023	\$2,893.34	\$1,070.54	\$86.80	\$32.12	\$35,761.67	\$13,231.82	\$20,813.62	\$7,701.04
2024	\$3,052.80	\$1,129.54	\$91.58	\$33.89	\$37,732.58	\$13,961.05	\$20,524.02	\$7,593.89
2025	\$3,216.24	\$1,190.01	\$96.49	\$35.70	\$39,752.76	\$14,708.52	\$20,208.29	\$7,477.07
2026	\$3,216.24	\$1,190.01	\$96.49	\$35.70	\$39,752.76	\$14,708.52	\$18,886.25	\$6,987.91
2027	\$3,216.24	\$1,190.01	\$96.49	\$35.70	\$39,752.76	\$14,708.52	\$17,650.70	\$6,530.76
2028	\$3,216.24	\$1,190.01	\$96.49	\$35.70	\$39,752.76	\$14,708.52	\$16,495.98	\$6,103.51
2029	\$3,216.24	\$1,190.01	\$96.49	\$35.70	\$39,752.76	\$14,708.52	\$15,416.81	\$5,704.22
2030	\$3,216.24	\$1,190.01	\$96.49	\$35.70	\$39,752.76	\$14,708.52	\$14,408.23	\$5,331.04
2031	\$3,216.24	\$1,190.01	\$96.49	\$35.70	\$39,752.76	\$14,708.52	\$13,465.63	\$4,982.28
2032	\$3,216.24	\$1,190.01	\$96.49	\$35.70	\$39,752.76	\$14,708.52	\$12,584.71	\$4,656.34
2033	\$3,216.24	\$1,190.01	\$96.49	\$35.70	\$39,752.76	\$14,708.52	\$11,761.41	\$4,351.72
2034	\$3,216.24	\$1,190.01	\$96.49	\$35.70	\$39,752.76	\$14,708.52	\$10,991.97	\$4,067.03
2035	\$3,216.24	\$1,190.01	\$96.49	\$35.70	\$39,752.76	\$14,708.52	\$10,272.87	\$3,800.96
2036	\$3,216.24	\$1,190.01	\$96.49	\$35.70	\$39,752.76	\$14,708.52	\$9,600.81	\$3,552.30
2037	\$3,216.24	\$1,190.01	\$96.49	\$35.70	\$39,752.76	\$14,708.52	\$8,972.72	\$3,319.91
2038	\$3,216.24	\$1,190.01	\$96.49	\$35.70	\$39,752.76	\$14,708.52	\$8,385.72	\$3,102.72
2039	\$3,216.24	\$1,190.01	\$96.49	\$35.70	\$39,752.76	\$14,708.52	\$7,837.12	\$2,899.74
2040	\$3,216.24	\$1,190.01	\$96.49	\$35.70	\$39,752.76	\$14,708.52	\$7,324.41	\$2,710.03
Valor Presente Total							\$417,910.82	\$154,627.00

Tabla 41a Consumo de combustible del barco
(Fuente: Elaboración propia)

Estado de carga	Consumo de combustible en L/hora	Tiempo de viaje en horas	Consumo de combustible por viaje en L	Número de viajes por año	Consumo de combustible por año en L
Cargado	164.65	4.50	741	130	96320
Sin Cargo	115.26	4.00	461	130	59933
Bombeando	98.79	4.00	395	130	51371
Total consumo de combustible por el barco					207624

Tabla 41b Costos de combustible asociados con el barco
(Fuente: Elaboración propia)

Año	Costo por litro		Consumo anual total en L	Costo de Combustible		Valor Presente	
	XCD	USD		XCD	USD	XCD	USD
2015	\$3.82	\$1.41	207624	\$793,122.34	\$293,455.27	\$793,122.34	\$293,455.27
2016	\$3.83	\$1.42	207624	\$795,105.15	\$294,188.91	\$743,088.92	\$274,942.90
2017	\$3.84	\$1.42	207624	\$797,092.91	\$294,924.38	\$696,211.82	\$257,598.37
2018	\$3.85	\$1.42	207624	\$799,085.64	\$295,661.69	\$652,291.91	\$241,348.01
2019	\$3.86	\$1.43	207624	\$801,083.36	\$296,400.84	\$611,142.66	\$226,122.78
2020	\$3.87	\$1.43	207624	\$803,086.07	\$297,141.84	\$572,589.27	\$211,858.03
2021	\$3.88	\$1.43	207624	\$805,093.78	\$297,884.70	\$536,467.98	\$198,493.15
2022	\$3.89	\$1.44	207624	\$807,106.52	\$298,629.41	\$502,625.37	\$185,971.39
2023	\$3.90	\$1.44	207624	\$809,124.28	\$299,375.98	\$470,917.70	\$174,239.55
2024	\$3.91	\$1.45	207624	\$811,147.09	\$300,124.42	\$441,210.27	\$163,247.80
2025	\$3.92	\$1.45	207624	\$813,174.96	\$300,874.74	\$413,376.92	\$152,949.46
2026	\$3.93	\$1.45	207624	\$815,207.90	\$301,626.92	\$387,299.40	\$143,300.78
2027	\$3.94	\$1.46	207624	\$817,245.92	\$302,380.99	\$362,866.96	\$134,260.78
2028	\$3.95	\$1.46	207624	\$819,289.03	\$303,136.94	\$339,975.82	\$125,791.05
2029	\$3.96	\$1.46	207624	\$821,337.26	\$303,894.78	\$318,528.75	\$117,855.64
2030	\$3.97	\$1.47	207624	\$823,390.60	\$304,654.52	\$298,434.65	\$110,420.82
2031	\$3.98	\$1.47	207624	\$825,449.08	\$305,416.16	\$279,608.16	\$103,455.02
2032	\$3.99	\$1.47	207624	\$827,512.70	\$306,179.70	\$261,969.33	\$96,928.65
2033	\$4.00	\$1.48	207624	\$829,581.48	\$306,945.15	\$245,443.23	\$90,813.99
2034	\$4.01	\$1.48	207624	\$831,655.43	\$307,712.51	\$229,959.66	\$85,085.07
2035	\$4.02	\$1.49	207624	\$833,734.57	\$308,481.79	\$215,452.86	\$79,717.56
2036	\$4.03	\$1.49	207624	\$835,818.91	\$309,253.00	\$201,861.20	\$74,688.65
2037	\$4.04	\$1.49	207624	\$837,908.46	\$310,026.13	\$189,126.97	\$69,976.98
2038	\$4.05	\$1.50	207624	\$840,003.23	\$310,801.19	\$177,196.06	\$65,562.54
2039	\$4.06	\$1.50	207624	\$842,103.23	\$311,578.20	\$166,017.81	\$61,426.59
2040	\$4.07	\$1.50	207624	\$844,208.49	\$312,357.14	\$155,544.72	\$57,551.55
				Valor Presente Total		\$10,262,330.74	\$3,797,062.37

Tabla 42a Consumo de electricidad asociado con el traslado de agua
(Fuente: Elaboración propia)

Concepto	Consumo por Unidad en kw	Tiempo de uso en horas	Consumo diario por unidad kwh	Número de unidades	Consumo diario en kwh	Consumo anual en kwh
Iluminación	0.05	12	0.6	8	4.8	1752
Taller					10	2400
Total consumo de electricidad						4152

Tabla 42b Costos de electricidad asociados con el traslado de agua
(Fuente: Elaboración propia)

Año	Energía en kwh	Costo/ kwh		Costo electricidad		IVA (15%)		Prima combustible	Costo prima combustible		Costo total		Valor presente	
		XCD	USD	XCD	USD	XCD	USD		XCD	USD	XCD	USD	XCD	USD
2015	4152.00	\$0.41	\$0.15	\$1,681.56	\$622.18	\$252.23	\$93.33	0.517	\$869.37	\$321.67	\$2,803.16	\$1,037.17	\$2,803.16	\$1,037.17
2016	4152.00	\$0.42	\$0.15	\$1,723.60	\$637.73	\$258.54	\$95.66	0.517	\$891.10	\$329.71	\$2,873.24	\$1,063.10	\$2,685.27	\$993.55
2017	4152.00	\$0.43	\$0.16	\$1,766.69	\$653.67	\$265.00	\$98.05	0.517	\$913.38	\$337.95	\$2,945.07	\$1,089.68	\$2,572.34	\$951.77
2018	4152.00	\$0.44	\$0.16	\$1,810.86	\$670.02	\$271.63	\$100.50	0.517	\$936.21	\$346.40	\$3,018.70	\$1,116.92	\$2,464.16	\$911.74
2019	4152.00	\$0.45	\$0.17	\$1,856.13	\$686.77	\$278.42	\$103.02	0.517	\$959.62	\$355.06	\$3,094.16	\$1,144.84	\$2,360.52	\$873.39
2020	4152.00	\$0.46	\$0.17	\$1,902.53	\$703.94	\$285.38	\$105.59	0.517	\$983.61	\$363.94	\$3,171.52	\$1,173.46	\$2,261.25	\$836.66
2021	4152.00	\$0.47	\$0.17	\$1,950.09	\$721.53	\$292.51	\$108.23	0.517	\$1,008.20	\$373.03	\$3,250.81	\$1,202.80	\$2,166.15	\$801.48
2022	4152.00	\$0.48	\$0.18	\$1,998.85	\$739.57	\$299.83	\$110.94	0.517	\$1,033.40	\$382.36	\$3,332.08	\$1,232.87	\$2,075.05	\$767.77
2023	4152.00	\$0.49	\$0.18	\$2,048.82	\$758.06	\$307.32	\$113.71	0.517	\$1,059.24	\$391.92	\$3,415.38	\$1,263.69	\$1,987.78	\$735.48
2024	4152.00	\$0.51	\$0.19	\$2,100.04	\$777.01	\$315.01	\$116.55	0.517	\$1,085.72	\$401.72	\$3,500.76	\$1,295.28	\$1,904.18	\$704.55
2025	4152.00	\$0.52	\$0.19	\$2,152.54	\$796.44	\$322.88	\$119.47	0.517	\$1,112.86	\$411.76	\$3,588.28	\$1,327.66	\$1,824.10	\$674.92
2026	4152.00	\$0.53	\$0.20	\$2,206.35	\$816.35	\$330.95	\$122.45	0.517	\$1,140.68	\$422.05	\$3,677.99	\$1,360.86	\$1,747.39	\$646.53
2027	4152.00	\$0.54	\$0.20	\$2,261.51	\$836.76	\$339.23	\$125.51	0.517	\$1,169.20	\$432.60	\$3,769.94	\$1,394.88	\$1,673.90	\$619.34
2028	4152.00	\$0.56	\$0.21	\$2,318.05	\$857.68	\$347.71	\$128.65	0.517	\$1,198.43	\$443.42	\$3,864.19	\$1,429.75	\$1,603.50	\$593.30
2029	4152.00	\$0.57	\$0.21	\$2,376.00	\$879.12	\$356.40	\$131.87	0.517	\$1,228.39	\$454.51	\$3,960.79	\$1,465.49	\$1,536.06	\$568.34
2030	4152.00	\$0.59	\$0.22	\$2,435.40	\$901.10	\$365.31	\$135.16	0.517	\$1,259.10	\$465.87	\$4,059.81	\$1,502.13	\$1,471.46	\$544.44
2031	4152.00	\$0.60	\$0.22	\$2,496.29	\$923.63	\$374.44	\$138.54	0.517	\$1,290.58	\$477.51	\$4,161.31	\$1,539.68	\$1,409.58	\$521.54
2032	4152.00	\$0.62	\$0.23	\$2,558.69	\$946.72	\$383.80	\$142.01	0.517	\$1,322.84	\$489.45	\$4,265.34	\$1,578.18	\$1,350.30	\$499.61
2033	4152.00	\$0.63	\$0.23	\$2,622.66	\$970.38	\$393.40	\$145.56	0.517	\$1,355.92	\$501.69	\$4,371.97	\$1,617.63	\$1,293.51	\$478.60
2034	4152.00	\$0.65	\$0.24	\$2,688.23	\$994.64	\$403.23	\$149.20	0.517	\$1,389.81	\$514.23	\$4,481.27	\$1,658.07	\$1,239.11	\$458.47
2035	4152.00	\$0.66	\$0.25	\$2,755.43	\$1,019.51	\$413.31	\$152.93	0.517	\$1,424.56	\$527.09	\$4,593.30	\$1,699.52	\$1,187.00	\$439.19
2036	4152.00	\$0.68	\$0.25	\$2,824.32	\$1,045.00	\$423.65	\$156.75	0.517	\$1,460.17	\$540.26	\$4,708.14	\$1,742.01	\$1,137.08	\$420.72
2037	4152.00	\$0.70	\$0.26	\$2,894.93	\$1,071.12	\$434.24	\$160.67	0.517	\$1,496.68	\$553.77	\$4,825.84	\$1,785.56	\$1,089.26	\$403.02
2038	4152.00	\$0.71	\$0.26	\$2,967.30	\$1,097.90	\$445.09	\$164.69	0.517	\$1,534.09	\$567.61	\$4,946.49	\$1,830.20	\$1,043.45	\$386.08
2039	4152.00	\$0.73	\$0.27	\$3,041.48	\$1,125.35	\$456.22	\$168.80	0.517	\$1,572.45	\$581.80	\$5,070.15	\$1,875.96	\$999.56	\$369.84
2040	4152.00	\$0.75	\$0.28	\$3,117.52	\$1,153.48	\$467.63	\$173.02	0.517	\$1,611.76	\$596.35	\$5,196.90	\$1,922.85	\$957.53	\$354.28
											Valor Presente Total		\$44,842.63	\$16,591.77

Fuentes

Bibliografía

Alleyne D, Luguay B, Inflation and the variability of relative prices in the Caribbean: Evidence from panel threshold models. United Nations 2011

American Water Works Association, Water Desalting Planning Guide for Water Utilities. John Wiley & Sons Inc., Canada 2004

Baird C, Química Ambiental. Editorial Reverté S.A, México 2001 Cap. 9 pp. 497-499

Bolívar Villagómez H, Elementos para la evaluación de proyectos de inversión 2da edición. Facultad de Ingeniería UNAM, México D.F 2005

Clayton R, A Review of Current Knowledge. Desalination for Water Supply. 2006

Cooley H et al, Desalination with a Grain of Salt. A California Perspective. Pacific Institute for Studies in Development, Environment and Security, USA 2006

Duranceau S J, Reverse Osmosis and Nanofiltration Technology: Inorganic Softening and Organic Control. 2001

El-Dessouky H.T, Ettouney H.M, Fundamentals of Saltwater Desalination, Department of Chemical Engineering, College of Engineering and Petroleum, Kuwait University: Elsevier, Amsterdam 2002

Fernández Zayas J.L, Chargoy Del Valle N, Destilación Solar de Agua de Mar en México 1983-2003.

Facultad de Ingeniería UNAM 2004

Fernández Villagómez G, Apuntes de Química Sanitaria y Ambiental, Facultad de Ingeniería, División de Posgrado, Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F 1992 pp. 79-82

Government of Grenada, Plan and Policy for a System of National Parks and Protected Areas in Grenada and Carriacou, Organization of American States, Washington, USA 1993 .Chap 3

Guizard C, Técnicas Membranarias de Filtración de Líquidos. Micro filtración – Ultrafiltración – Nano filtración – Ósmosis Inversa. Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela 1999

Kunze H, A new approach to solar desalination for small and medium size use in remote areas. Desalination vol. 139, 2001 pp. 35-41

Murcia Murcia J et al, Proyectos. Formulación y criterios de evaluación. Alfaomega, México D.F 2009 pp 301-315

National Institute of Ocean Technology, Low Temperature Thermal Distillation Applications for Drinking Water, Chennai India

Rodríguez Cairo V et al, Formulación y Evaluación de Proyectos. Limusa, México D.F. 2010 pp. 341-378

Statistical Office, Digest of Statistics. Central Planning Division, St Vincent & the Grenadines 2009

Subdirección General Técnica, Datos Básicos, Comisión Nacional de Agua, México D.F 1994

Subdirección General Técnica, Pruebas de Bombeo, Comisión Nacional de Agua, México D.F 1996

URS Australia Summary Report: Introduction to desalination in Technologies in Australia. A report

prepared for Agriculture, Fisheries and Forestry. Australia 2002

Younos, T. and Tulou, K. E. (2005), Overview of Desalination Techniques. Journal of Contemporary Water Research & Education, 132: 3–10. doi: 10.1111/j.1936-704X.2005.mp132001002.x

Ciberografía

Air Resources Board, California. Source Inventory, Categories # 1194-1196 Tugs & Towboats, Dredge Vessels and others 1999 Emissions [en línea]. Dirección URL:

<http://www.arb.ca.gov/ei/areasrc/districtmeth/bayarea/99td1194.pdf> [Consulta 20/10/2013]

Al-Karaghoul A A, Kazmerski L L, Renewable Energy Opportunities in Water Desalination. Dirección URL: http://wri.nmsu.edu/conf/conf11/renewable_energy_water_desal.pdf [Consulta 26/06/2013]

Alufab. Dirección URL:

<http://www.alufabinc.com/> [Consulta 15/10/2013]

Axeon Water Technologies. Nanofiltration water systems and how they function. Dirección URL:

<http://www.axeonwater.com/nanofiltration.html> [Consulta 12/05/2013]

Barghouti S, Water Sector Overview. Dirección URL:

<http://www.afedonline.org/Report2010/pdf/En/Chapter1.pdf> [Consulta 22/07/2013]

Bouysson P, Westercamp D, Andreieff P, (1990) The Lesser Antilles Island Arc. Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results Volume 110. Dirección URL:

http://www-odp.tamu.edu/publications/110_SR/VOLUME/CHAPTERS/sr110_04.pdf [Consulta 12/05/13]

COOSA- Alabama River Improvement Association Inc, Barges and Towboats, [Dirección](#) URL:

http://www.caria.org/barges_tugboats.html [Consulta 05/09/2013]

Drinking wáter.org [Imagen Ósmosis Inversa](#). Dirección URL:

<http://www.drinking-water.org/html/es/ImageView/00000293.html> [Consulta 08/06/2013]

Fondo Monetario Internacional, Lista de informes sobre perspectivas de la economía mundial, Capitulo 1, Gráfica 1.6 Inflación mundial. [en línea], publicado octubre 2013. Dirección URL:

<http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2013/01/> [Consulta 12/11/2013]

General Electric. [Electrodialysis](#) bipolar. Dirección URL:

http://www.ge-energy.com/products_and_services/products/water_and_process_equipment/electrodialysis_bipolar.jsp [Consulta 01/06/2013]

Global [Water Intelligence](#), Dates in desal history [en línea], Dirección URL:

<http://www.desalination.com/museum/key-desalination-dates> [Consulta 11/05/13]

Glueckstern P, History of Desalination Cost Estimations. Dirección URL:

<http://gwri-ic.technion.ac.il/pdf/IDS/71.pdf> [Consulta 23/04/13]

Grupo Aguas de Valencia. Desalación. Dirección URL:

<http://www.aguasdevalencia.es/portal/web/Tecnologia/Tecnologia/TratamientoAguaPotable/Desalacion/> [Consulta 30/05/2013]

Hophmayor Tokich S, Kadiman T, Water Management on Islands – Common Issues and Possible Actions. A concept paper in preparation to the international workshop; “Capacity building in Water Management for Sustainable Tourism on Islands”. The Center for Clean Technology and Environmental Policy, University of Twerte. The Netherlands. Publicado 2006 Dirección URL:

http://www.utwente.nl/mb/cstm/reports/downloads/watermanagement_on_islands.pdf

[Consulta: 25/04/2013]

Industrial Services Inc. Proposal Generator. Dirección URL:

<http://www.desalt.net/proposal-generator/step3> consultado 10/09/2013

International Desalination Association, Desalination Overview. Dirección URL:

<http://www.idadesal.org/desalination-101/desalination-overview/> [Consulta 20/05/13]

Kaligoru S.A, (2004). Seawater desalination using renewable energy resources. Progress in energy and combustion science 31 (2005) 242-281. Dirección URL:

<http://membrane.ustc.edu.cn/paper/pdf/Seawater%20desalination%20using%20renewable%20energy%20sources.pdf> [Consulta 15/05/13]

Lenntech Water Solutions. Nanofiltration. Dirección URL:

<http://www.lenntech.com/processes/pesticide/nanofiltration/nanofiltration.htm> [Consulta 01/06/2013]

Mackenzie F, Salinity Distribution, Encyclopedia Britannica. Dirección URL:

<http://global.britannica.com/EBchecked/topic/531121/seawater/301665/Salinity-distribution>

[Consulta 12/05/2013]

Maritime Sales Inc. Barges for sale. Dirección URL:

<http://www.maritimesales.com/barges%20for%20sale.htm> [Consulta 04/09/2013]

North Carolina Division of Water Resources. Basic Hydrogeology. Groundwater, Aquifers & Confining Beds. Dirección URL:

http://www.ncwater.org/Education_and_Technical_Assistance/Ground_Water/Hydrogeology/

[Consultado 22/07/2013]

Ocean Marine Brokerage Services, Barges. Dirección URL:

http://oceanmarine.com/catalog.cfm?Tank&category_current=6&category_current_sub=25

[Consulta 04/09/2013]

Real Academia de Español. Diccionario Real Academia de Español. Dirección URL:

<http://www.rae.es/drae/> [Consulta 10/07/2013]

The History of Desalination. [Dirección](#) URL:

<http://www.rpi.edu/dept/chem-eng/Biotech-Environ/Environmental/desal/history.html> [Consulta: 11/05/13]

Titanium Tantalum Products Ltd. Low temperature thermal desalination: efficient, economic thermal process for the production of drinking water. [Dirección URL:](#)

<http://www.skidplant.com/low-temperature-thermal-desalination> [Consulta 19/06/2013]

Universidad de Córdoba, Facultad de Ciencias, Contaminación de las aguas naturales. Dirección URL:<http://www.uco.es/~iq2sagri/QIMediambiente/TranspTema7-web.pdf> [Consulta 31/05/2013]

Usinflation.org. Dirección URL:

<http://usinflation.org/> [Consulta 11/09/2013]

Water Infotech Global Infrastructure Consulting Company. Well efficiency tests. Dirección URL:

<http://waterinfotech.com/Grwater/Well%20Efficiency.pdf> [Consultado 23/07/2010]