



**UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE ECONOMÍA Y NEGOCIOS  
ESCUELA DE ECONOMÍA Y ADMINISTRACIÓN**

**EVALUACIÓN SOCIAL DE ALTERNATIVAS DE ABASTECIMIENTO DE  
AGUA POTABLE A LA COSTA SUR DE IQUIQUE**

**Seminario para optar al título de  
Ingeniero Comercial, Mención Economía**

**Participantes:           Rodrigo Sarria  
                                  Mariana Standen  
                                  Nicole Vilaza**  
**Profesor guía:       Eugenio Figueroa B.**

**Santiago, Chile**

**Octubre, 2015**

## CONTENIDO

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1-1</b>
<b>2.</b>	<b>JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>2-4</b>
<b>3.</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>3-6</b>
<b>4.</b>	<b>ÁREA DE ESTUDIO.....</b>	<b>4-7</b>
<b>5.</b>	<b>ALTERNATIVAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA .....</b>	<b>5-10</b>
<b>5.1.</b>	<b>Camiones aljibe .....</b>	<b>5-10</b>
<b>5.2.</b>	<b>Atrapanieblas .....</b>	<b>5-11</b>
5.1.1.	Oasis de Niebla .....	5-14
5.1.2.	Caso Exitoso en Chile: Caleta Chungungo, Coquimbo.....	5-15
<b>5.3.</b>	<b>Planta Desalinizadora .....</b>	<b>5-17</b>
<b>6.</b>	<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>6-20</b>
<b>6.1.</b>	<b>Evaluación de proyectos .....</b>	<b>6-20</b>
6.1.1.	Evaluación Social .....	6-20
6.1.2.	Costo-Efectividad .....	6-21
6.1.3.	Anualidad.....	6-23
6.1.4.	Selección de Proyectos .....	6-24
<b>6.2.</b>	<b>Datos.....</b>	<b>6-25</b>
6.2.1.	Población .....	6-25
6.2.2.	Camiones Aljibe .....	6-26
6.2.3.	Atrapanieblas .....	6-26
6.2.4.	Planta Desalinizadora .....	6-27
<b>7.</b>	<b>CÁLCULOS Y RESULTADOS .....</b>	<b>7-28</b>
<b>7.1.</b>	<b>Caletas analizadas.....</b>	<b>7-28</b>
<b>7.2.</b>	<b>Proyección de Población .....</b>	<b>7-31</b>

<b>7.3.</b>	<b>Tasa Social de Descuento.....</b>	<b>7-32</b>
<b>7.4.</b>	<b>Ajustes por IPC .....</b>	<b>7-32</b>
<b>7.5.</b>	<b>Ajuste Salarial .....</b>	<b>7-33</b>
<b>7.6.</b>	<b>Costo – Efectividad .....</b>	<b>7-33</b>
7.6.1.	Estándar de Efectividad .....	7-34
7.6.2.	Camiones aljibe.....	7-36
7.6.3.	Atrapanieblas .....	7-44
7.6.4.	Planta desalinizadora .....	7-49
<b>8.</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>8-63</b>
<b>9.</b>	<b>CONCLUSIÓN.....</b>	<b>9-67</b>
<b>10.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>69</b>
<b>11.</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>75</b>

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES Y TABLAS

TABLA 1:	POBLACIÓN DE LAS CALETAS DE ESTUDIO; 2015. ....	4-8
TABLA 2:	CALETAS ABASTECIDAS MEDIANTE CAMIONES ALJIBE Y ENTREGAS MENSUALES DE AGUA .....	5-10
TABLA 3:	NIVELES RECOMENDADOS DE CONSUMO DIARIO DE AGUA PARA ASEGURAR LA SALUD.....	7-34
TABLA 4:	CONSUMO DE AGUA ACTUAL EN LAS LOCALIDADES EN ESTUDIO .....	7-35
TABLA 5:	CAMIONES ALJIBE: COSTOS OPERACIÓN ANUAL .....	7-37
TABLA 6:	CAMIONES ALJIBE: POBLACIÓN Y DISTANCIA PRINCIPALES CALETAS; 2015 ..	7-38
TABLA 7:	CAMIONES ALJIBE: VAC 10 AÑOS POR CALETA .....	7-42
TABLA 8:	CAMIONES ALJIBE: COSTO DISTRIBUCIÓN METRO CÚBICO POR CALETA.....	7-42
TABLA 9:	CAMIONES ALJIBE: COSTO TOTAL POR METRO CÚBICO DE AGUA PARA CADA CALETA.....	7-43

TABLA 10: ATRAPANIEBLAS: COSTO DE MATERIALES PARA ATRAPANIEBLAS BIDIMENSIONAL DE 48 M2 .....	7-44
TABLA 11: ATRAPANIEBLAS: COSTO TOTAL DE LAS CAÑERÍAS PARA LOS SISTEMAS DE ATRAPANIEBLAS DE CADA CALETA .....	7-45
TABLA 12: ATRAPANIEBLAS: NÚMERO DE ATRAPANIEBLAS REQUERIDOS POR CALETA PARA CUMPLIR CON EL ESTÁNDAR DE EFECTIVIDAD IMPUESTO .....	7-46
TABLA 13: ATRAPANIEBLAS: INVERSIÓN INICIAL POR CALETA .....	7-47
TABLA 14: ATRAPANIEBLAS: COSTOS OPERACIONALES ANUALES .....	7-48
TABLA 15: ATRAPANIEBLAS: VAC DE LA CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS DE ATRAPANIEBLAS PARA LAS DISTINTAS CALETAS EN UN HORIZONTE DE 10 AÑOS...7- 48	
TABLA 16: ATRAPANIEBLAS: COSTO TOTAL POR METRO CÚBICO POR CALETA .....	7-49
TABLA 17: PLANTA DESALINIZADORA: DEMANDA ANUAL DE AGUA DE LAS CALETAS ALEDAÑAS A PLANTA DESALINIZADORA; 2015 .....	7-50
TABLA 18: PLANTA DESALINIZADORA: CAE DE LA INVERSIÓN INICIAL .....	7-53
TABLA 19: PLANTA DESALINIZADORA: INVERSIÓN INICIAL PRORRATEADA A 10 AÑOS .	7-54
TABLA 20: PLANTA DESALINIZADORA: INVERSIÓN INICIAL PRORRATEADA A 10 AÑOS DISTRIBUIDA POR CALETA .....	7-54
TABLA 21: PLANTA DESALINIZADORA: DISTANCIA DESDE CHANAVAYITA A CALETAS CONSIDERADAS EN EL PROYECTO MOP .....	7-55
TABLA 22: PLANTA DESALINIZADORA: COSTO DE CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DISTRIBUCIÓN DE AGUA POR CALETA .....	7-56
TABLA 23: PLANTA DESALINIZADORA: COSTOS ANUALES EQUIVALENTES POR CALETA DE LA CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA .....	7-57
TABLA 24: PLANTA DESALINIZADORA: COSTOS DE CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POR CALETA EN UN HORIZONTE DE 10 AÑOS .....	7-57
TABLA 25: PLANTA DESALINIZADORA: COSTO TOTAL ANUAL DE CONSUMO DE ELECTRICIDAD A PLENA CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN.....	7-58
TABLA 26: PLANTA DESALINIZADORA: COSTO TOTAL ANUAL DE DE PRODUCTOS QUÍMICOS A PLENA CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN .....	7-59
TABLA 27: PLANTA DESALINIZADORA: COSTOS OPERACIONALES A NIVEL DE OPERACIÓN DEL PRIMER AÑO .....	7-59
TABLA 28: PLANTA DESALINIZADORA: COSTO TOTAL ANUAL DE MANO DE OBRA PARA CUALQUIER NIVEL DE PRODUCCIÓN. ....	7-60
TABLA 29: PLANTA DESALINIZADORA: RESUMEN DE COSTOS POR CALETA.....	7-60
TABLA 30: PLANTA DESALINIZADORA: COSTO METRO CÚBICO POR CALETA.....	7-61
TABLA 31: PLANTA DESALINIZADORA: COSTO TOTAL METRO CÚBICO DE AGUA POR CALETA .....	7-62
TABLA 32: COMPARACIÓN COSTO TOTAL POR METRO CÚBICO DE AGUA .....	8-63
TABLA 33: COSTO POR METRO CÚBICO DE AGUA PARA CONSUMIDORES.....	8-64
TABLA 34: COSTO POR METRO CÚBICO DE AGUA PARA PROVEEDORES .....	<del>8-65</del> <del>8-64</del>

TABLA 35: COSTO METRO CUBICO DE AGUA ATRAPANIEBLAS SON MANO DE OBRA .....	8-65
TABLA 36: COMPARACIÓN COSTO METRO CÚBICO DE AGUA ATRAPANIEBLAS SIN MANO DE OBRA Y CAMIONES ALJIBE.....	8-66
FIGURA 1: IMAGEN SATELITAL ÁREA DE ESTUDIO .....	4-9
FIGURA 2: REPRESENTACIÓN SISTEMA DE COLECCIÓN DE AGUA MEDIANTE ATRAPANIEBLAS .....	5-13
FIGURA 3: MAPA OASIS PUNTA GRUESA- CALETA PUNTA GRUESA DISTANCIA 3 KM ...	7-29
FIGURA 4: MAPA OASIS PUNTA PATAACHE- CALETA CHANAVAYA DISTANCIA 10 KM....	7-29
FIGURA 5: MAPA OASIS PUNTA LOBOS- CALETA RÍO SECO DISTANCIA 6 KM.....	7-30
FIGURA 6: MAPA OASIS ALTO CHIPANA- CALETA CHIPANA DISTANCIA 13 KM.....	7-30

## **RESUMEN**

La escasez de agua es un grave problema en el norte de Chile, por lo que se barajan varias opciones para poder combatir esta situación. Para Iquique, una de estas alternativas, es el sistema de atrapanieblas, el cual capta la niebla del ambiente y la convierte en agua potable.

En la actualidad la mayoría de caletas de la costa sur de Iquique son provistas de agua potable mediante el uso de camiones aljibe, donde la Municipalidad de Iquique costea el reparto del agua y los pobladores pagan el consumo por medio de vales de agua con un costo de \$1.250 por metro cúbico. Por otro lado, la caleta Chanavayita es abastecida mediante una planta de desalinizadora que se construyó como parte del Programa de Agua Potable Rural del Ministerio de Obras Públicas. Este proyecto está en operaciones desde el año 2014, con un costo de \$ 2.280 millones y que, en un mediano plazo, pretende ser extendido para abastecer a las caletas más cercanas

El presente trabajo compara el costo en que incurre la sociedad por un metro cúbico de agua potable entre tres alternativas de abastecimiento; camiones aljibe, atrapanieblas y planta desalinizadora. Esto con el objetivo de evaluar cuál alternativa es más costo efectiva en términos económicos.

Para el análisis de provisión de agua proyectada a futuro, se supone una provisión de 50 litros de agua potable por habitante por día para cada una de las caletas de estudio: Punta Gruesa, Chanavaya, Río Seco y Chipana. La caleta Punta Gruesa presenta el menor costo por metro cúbico \$1.023 para todas las caletas y entre todas las alternativas, considerando un abastecimiento de agua usando camiones. La alternativa de abastecimiento de agua potable mediante atrapanieblas presenta menores costos por metro cúbico sólo para la caleta Río Seco, con un costo de \$1.739, por lo que instalar este sistema de provisión de agua potable es viable y eficiente. Además, se recomienda también la instalación de un sistema de atrapanieblas en la caleta Chipana, debido a la lejanía que existe entre esta localidad y la ciudad de Iquique, lo que aumenta los costos

de distribución de agua mediante camiones aljibe, y donde el costo por metro cúbico de dicha alternativa es de \$ 2.511, sólo \$ 231 menor que la alternativa de atrapanieblas, con un costo de \$ 2.742.

Al no incluir el costo de mano de obra dentro del proyecto de atrapanieblas, ésta alternativa resulta ser más costo efectiva para todas las caletas de estudio, a excepción de Punta Gruesa. En tanto, la alternativa de planta desalinizadora es más costosa que las otras dos. Aunque, es importante destacar que si la planta funcionara a su capacidad promedio, el costo por metro cúbico sería el más bajo, debido a las economías de escala que esta puede alcanzar.

Por último, la alternativa de provisión de agua potable mediante atrapanieblas será la más conveniente para todas las caletas, si lo que se busca como política pública es hacer que los pobladores no tengan que desembolsar dinero para obtener agua potable, ya que con esta alternativa, no se debe pagar por metro cúbico de agua, lo que no ocurre con las otras dos opciones de abastecimiento; camiones aljibe y planta desalinizadora.

## 1. INTRODUCCIÓN

El agua potable y el saneamiento son indispensables para la vida y la salud, y fundamentales para la dignidad de toda persona. Aumentar el número de personas con acceso a servicios de saneamiento y agua potable reporta grandes beneficios para el desarrollo de los países, ya que mejora sus resultados en salud y en la economía (Organización Mundial de la Salud, 2010).

En los centros urbanos de Chile los servicios de agua potable y alcantarillado están concesionados a empresas sanitarias que son reguladas por la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS). Actualmente, la cobertura urbana de agua potable alcanza el 99,8% de la población (Sistema Nacional de Información Ambiental, 2014). Por otro lado, en zonas rurales, gracias al Programa de Agua Potable Rural, la cobertura supera 99% en las localidades concentradas. Sin embargo, en las localidades semi-concentradas la cobertura solo alcanza un 11,3%, presentándose como el mayor desafío en cuanto a cobertura a nivel nacional.

Bajo este contexto, el presente estudio se centra en el abastecimiento de agua potable a zonas rurales semi-concentradas. Específicamente se hará un análisis en la costa sur de la comuna de Iquique, perteneciente a la primera Región de Tarapacá. En esta zona, los problemas de abastecimiento de agua se extienden a la mayoría de las caletas. Existen altos costos asociados a las inversiones de conducción de agua a viviendas alejadas de la fuente y distantes entre sí. Además, las familias que residen en el litoral costero sur de la comuna están consideradas de alta vulnerabilidad y, dado que ciertas caletas no disponen de los servicios básicos de agua y alcantarillado, el municipio debe transportar diariamente este vital elemento utilizando camiones aljibe.

Como alternativa a los camiones aljibe, se han estudiado diversas opciones para abastecer de agua potable a las caletas. En particular, la opción de aprovechar el agua de la niebla ha sido investigada por más de 30 años, tanto por profesionales chilenos, como



extranjeros (Schemenauer et al 1988, Cereceda 1989, Cereceda et al 1999, Cereceda 2000).

En el Norte de Chile, el acceso a agua potable presenta desafíos aún mayores que en otras zonas del país debido a la escasez del recurso hídrico en la región. Según la Dirección Meteorológica de Chile, en todo el sector costero de la región de Tarapacá se presenta un “clima desértico con nublados abundantes”, caracterizado por nieblas matinales, poca oscilación térmica, alta humedad y precipitaciones casi inexistentes. En este escenario, las nieblas matinales (localmente conocidas como camanchacas), sumadas a las características geográficas, conforman un ecosistema único en la zona: los oasis de niebla. En estos sectores, el agua de la niebla puede ser obtenida mediante atrapanieblas que son construcciones simples que permiten captar el agua de la niebla y que, unidas a un sistema de estanques y cañerías, pueden abastecer de agua a las caletas ubicadas cerca de los oasis de niebla.

En Chile, hay casos donde los atrapanieblas han sido una solución real a los problemas de abastecimiento de agua. El caso más exitoso, se presentó en la década de los 90 en la caleta Chungungo, la cual se abasteció de agua captada con atrapanieblas ubicados en el Cerro El Tofo por más de 10 años (Soto, 2000). En Iquique, en 1998, se analizó la viabilidad de abastecer de agua a distintas caletas mediante atrapanieblas; sin embargo el estudio no logró implementar realmente el sistema en ninguna de las caletas analizadas para ese entonces.

Otra de las soluciones propuestas para enfrentar los problemas de abastecimiento de agua potable en la zona son las plantas desalinizadoras de agua de mar. Desde el año 2014, la caleta de Chanavayita cuenta con una planta desalinizadora que se construyó bajo el alero del Programa de Agua Potable Rural. Este proyecto aún está en período de prueba y se contemplan estudios para determinar si resulta viable ampliar la red de cobertura hacia otras caletas cercanas.

Considerando las distintas alternativas de abastecimiento de agua potable mencionadas anteriormente, el objetivo principal del presente trabajo es analizar si la alternativa de los atrapanieblas presenta una opción viable y eficiente, en términos económicos, para las caletas del sur de Iquique. Para esto, el análisis se basa en una comparación de alternativas de abastecimiento de agua según el método de evaluación social de Costo-Efectividad. Se compara el sistema de provisión de agua actual, es decir, distribución con camiones aljibe con la opción de atrapanieblas y con la provisión desde la planta desalinizadora que ya está en funcionamiento en la zona.

La estructura del trabajo es la siguiente: el capítulo 2 presenta la justificación de este estudio; el capítulo 3 describe los objetivos; el capítulo 4 describe el área de estudio. El capítulo 5 describe las alternativas de abastecimiento de agua consideradas para la posterior comparación económica; el capítulo 6 describe la metodología de evaluación económica a utilizar; el capítulo 7 presenta y analiza los resultados obtenidos; finalmente, el capítulo 8 presenta las conclusiones de este estudio.

## 2. JUSTIFICACIÓN

El Programa de Agua Potable Rural (APR) tiene como misión la implementación de agua potable a localidades rurales, contribuyendo al desarrollo económico y a la integración social del país. Este, se enmarca en el área de Desarrollo Social y Calidad de Vida del Programa Nacional de Superación de la Pobreza impulsado por el gobierno de Chile (Cereceda et.al 2000). Los objetivos del programa son dotar de agua potable a la población rural y obtener de los habitantes beneficiados una participación responsable y permanente, para que sea la propia comunidad organizada quien efectúe la administración del servicio una vez construido.

Al comienzo de la década de 1960, tan sólo 6% de los habitantes de las localidades rurales de Chile contaba con agua potable. Actualmente, la cobertura supera 99% en las localidades concentradas, que corresponden a aquellas con más de 150 habitantes y una densidad mayor a 15 viviendas por kilómetro de red de agua potable. Sin embargo, en las localidades semi-concentradas – es decir, con una población mayor a 80 habitantes y una densidad mayor a 8 viviendas por kilómetro de red de agua potable– la cobertura es hoy de sólo 11,3%, lo que convierte a este segmento en un objetivo central de las acciones actuales y futuras (Recabarren, 2013)

En el norte de Chile, la situación de las localidades semi-concentradas presenta desafíos aún mayores relacionados con la escasez del recurso hídrico. Según la Dirección Meteorológica de Chile (DMC), en todo el sector costero de la región de Tarapacá se presenta un “clima desértico con nublados abundantes”. Este se caracteriza por presentar abundantes nieblas matinales, fenómeno denominado "camanchaca", producto de la corriente fría de Humboldt; este subtipo climático se presenta al sur de Iquique con una temperatura media anual de 18,1° (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2014). Otra característica de este clima es la escasa diferencia entre las temperaturas extremas diarias así como entre los meses más cálidos y más fríos, que

sólo alcanza a 6° a 7° C, la relativamente alta humedad y las precipitaciones casi inexistentes.

En Iquique, el área rural de la comuna comprende todo el borde costero (Optimiza, 2009), donde la mayoría de la población se encuentra dispersa en distintas caletas. En esta zona se presenta un problema adicional para el abastecimiento de agua referido a los altos costos que significa hacer las inversiones de conducción del recurso a viviendas alejadas de la fuente y distantes entre sí (Cereceda, 2000). Según el Gobierno Regional de Tarapacá (2014), las familias que residen en el litoral costero sur de la comuna de Iquique están consideradas de alta vulnerabilidad y dado que ciertas caletas no disponen de los servicios básicos de agua y alcantarillado, el municipio diariamente debe transportar este vital elemento mediante camiones aljibe. En este sentido, este tipo de comunidades costeras marginadas del programa de APR, es el que podría acceder al abastecimiento de agua de buena calidad mediante el empleo de atrapanieblas, por cuanto este sistema de colección no requiere de grandes y costosas instalaciones, ni de energía eléctrica, y el flujo del agua se distribuye solamente por gravedad (Cereceda et al., 2000).

### **3. OBJETIVOS**

El objetivo principal de este estudio es valorar el servicio ecosistémico de captación de agua brindado por el ecosistema Oasis de Niebla y así comprobar si éste, presenta una alternativa eficaz y eficiente para abastecer de agua potable a distintas caletas ubicadas en la costa sur de Iquique. Para esto, el análisis se basa en una comparación de alternativas de abastecimiento de agua según el método de evaluación social de costo–efectividad, donde se calcula el costo por metro cúbico en que incurre la sociedad para tres alternativas de provisión del recurso hídrico: camiones aljibe, atrapanieblas y planta desalinizadora.

#### 4. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se concentra en la costa al sur de la comuna de Iquique, perteneciente a la primera región de Tarapacá, Chile. Esta región se ubica en el norte del país entre los 19° 13' y 21° 39' de latitud sur y desde los 68° 25' de longitud oeste hasta el Océano Pacífico limitando por el este con Bolivia, por el norte con la región de Arica y Parinacota y por el sur con la región de Antofagasta, abarcando una superficie de 42.225,8 km<sup>2</sup> (Gobierno Regional de Tarapacá, 2013).

Las formas básicas del relieve en la región son: Cordillera de los Andes, se presenta maciza, alta y volcánica, su vertiente oriental es ocupada por el altiplano chileno; Depresión Intermedia, caracterizada por la presencia de pampas, destacándose la del Tamarugal; Cordillera de la Costa, alta y abrupta, limitando la influencia oceánica al interior; planicies litorales, muy angostas, de no más de dos kilómetros de ancho, que permiten el emplazamiento de las ciudades de Arica e Iquique (INE, 2005)

Con respecto al clima, predomina el desértico, distinguiéndose los climas: desértico costero, con alta nubosidad y escasa oscilación térmica diaria; desértico normal, con gran sequedad atmosférica y alta oscilación térmica diaria, desértico marginal de altura, el que predomina por sobre los 3.000 metros sobre el nivel del mar, registrándose disminución en la temperatura y precipitaciones en verano (INE, 2005).

Las condiciones climáticas imperantes descritas anteriormente y las características del suelo determinan una precaria disponibilidad hídrica. En el altiplano, la existencia de los ríos Caquena, Lauca, Isluga, Cariquima y Cancosa, que vierten sus aguas hacia Bolivia, está determinada por las lluvias de verano y el recurso nieve. En la Depresión Intermedia, la meseta de Tarapacá está surcada por el río Lluta y las quebradas Azapa, Vitor y Camarones que ocasionalmente llegan al mar en tanto que en la Pampa del

Tamarugal existen algunas quebradas cuyas aguas desaparecen por infiltración y evaporación (INE, 2005).

El último censo de población (2002), registró un total de 428.594 habitantes (217.665 hombres y 210.929 mujeres) en la región de Tarapacá, con una densidad de 7,25 habitantes por kilómetro cuadrado (INE, 2005).

Dentro del área de estudio existen 11 caletas: Las Pizarras, Quintero, Tres Islas, Caramucho, Chanavaya, Cañaño, Río Seco, San Marcos (Este y Oeste), Chipana, Los Verdes y Punta Gruesa. Donde, el año 2015 la población total para las 11 caletas es de 1.247 habitantes.

Se obtuvieron datos actuales de la población vía contacto directo con la Municipalidad de Iquique. Basándose en esta información, los habitantes de esta zona, son en su mayoría población rural. En específico, para este estudio, se considera 5 caletas: Punta Gruesa, Chanavaya, Río Seco, Chipana, y Chanavayita. Las cuatro primeras fueron seleccionadas por encontrarse próximas a alguno de los 4 oasis de niebla existentes:

Punta Gruesa, Punta Patache, Punta Lobos y Chipana. La caleta Chanavayita se incorporó en el estudio pues en ella se encuentra ubicada la planta desalinizadora. En la sección 7.1. se detalla las caletas analizadas y los criterios de selección. En la Tabla 1 se muestra la población existente el año 2015 en las 5 caletas en estudio:

Tabla 1:  
Población de las caletas de estudio; 2015.

<b>Caleta</b>	<b>Habitantes</b>
Punta Gruesa	43
Chanavaya	87
Río Seco	118
Chipana	88
Chanavayita	584
<b>Total</b>	<b>920</b>

Fuente: Elaboración propia con datos de la Municipalidad de Iquique.

La Figura 1 presenta una imagen satelital del área de estudio.

Figura 1: Imagen satelital área de estudio



Fuente: Elaboración propia, imagen satelital, Google Earth.

La Figura 1 identifica las 5 caletas de estudio, ordenadas de norte a sur. Iquique se ubica más al norte de la caleta Punta Gruesa, y no se muestra dentro del mismo mapa. Al oeste puede verse el Océano Pacífico, y al este la Cordillera de la Costa, también conocida como Farellón Costero.



## 5. ALTERNATIVAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA

### 5.1. Camiones aljibe

Actualmente la mayoría de las caletas de la costa sur de Iquique reciben agua potable mediante 2 camiones aljibe de la Ilustre Municipalidad de Iquique. La administración de estos camiones está a cargo de la Dirección de Aseo y Ornato de este municipio.

Los camiones tienen una capacidad de 30 m<sup>3</sup> cada uno y realizan aproximadamente 30 viajes mensuales en conjunto. Actualmente, ambas máquinas son propiedad de la municipalidad, están dedicadas 100% al reparto de agua a las caletas del borde costero y entraron en funcionamiento en diciembre del 2014. El costo total de la compra de los camiones asciende a \$188.021.000. Anterior a esta adquisición, los camiones eran arrendados a través de licitaciones públicas a cargo de la Secretaría Comunal de Planificación.

La Tabla 2 muestra las caletas beneficiadas por esta vía de distribución y la cantidad de agua que reciben mensualmente

Tabla 2:  
Caletas abastecidas mediante camiones aljibe y entregas mensuales de agua

Caleta	Litros mensuales entregados
Punta Gruesa	8.000
Chanavaya	120.000
Río Seco	180.000
Chipana	90.000
Las pizarras	30.000
Quintero	10.000
Tres Islas	10.000

Caramucho	180.000
Cañamo	120.000
San Marcos (Este y Oeste)	240.000
Los Verdes	10.000
<b>Total</b>	<b>998.000</b>

Fuente: Municipalidad de Iquique, 2014.

El agua abastecida es comprada por los vecinos a la Municipalidad de Iquique mediante la adquisición de “vales” con un costo aproximado de \$1.250/m<sup>3</sup><sup>1</sup>, los que son entregados en la municipalidad, para que el camión aljibe, traslade y reparta el recurso (Gestion Ambiental Consultores, 2014). No obstante lo anterior, el costo por metro cúbico de agua en Iquique tiene una tarifa promedio de \$935/m<sup>3</sup><sup>2</sup> por lo tanto los pobladores pagan por la distribución de agua una diferencia que equivale a \$315/m<sup>3</sup>.

## 5.2. Atrapanieblas

En términos generales, un sistema de captación de agua de niebla considera varias estructuras de atrapanieblas construidas e instaladas en los cerros de un farellón costero, un sistema de almacenamiento de agua y un mecanismo de conducción del agua captada desde el oasis de niebla en cuestión hacia los usuarios ubicados en alguna caleta pesquera cercana.

Un atrapanieblas básicamente es una estructura conformada por dos postes verticales, separados 10 a 12 m, que soportan una estructura de cables sobre la cual se cuelga una malla Raschel (Aránguiz et al., 2009).

<sup>1</sup> Dato obtenido vía contacto telefónico con la Municipalidad de Iquique.

<sup>2</sup> Tarifas Aguas del Altiplano S.A publicadas en Diario “La Estrella” el día 15 de Abril de 2015.

El análisis de rendimiento de esta alternativa de provisión de agua potable, se basa en la investigación realizada por la Pontificia Universidad Católica de Chile, en la estación de Alto Patache. Para la captación del agua de niebla se emplean neblinómetros normalizados de  $1\text{m}^2$  de superficie, denominados Standar Fog Collector (SFC). La media anual de las captaciones observadas en Alto Patache es  $7,6$  litros/ $\text{m}^2$  al día, para el periodo de agosto de 1997 a julio del 2005 (Zuazo, 2008).

Aránguiz et al. (2009) detallan el diseño de un prototipo de atrapanieblas bidimensional de  $48\text{ m}^2$ . A grandes rasgos, está compuesto de una estructura de dos pilares distanciados a 12 metros, entre los cuales se dispone una malla tipo Raschel de 4 metros de altura y 12 metros de largo, colocada en una doble capa (24 metros de largo en total) y mantenida mediante unos tensores de sustentación entre los postes. Este elemento captador artificial, es ubicado en forma perpendicular a la dirección del viento predominante, aumentando de esta manera la eficiencia en la obtención de agua.

Los paneles atrapanieblas pueden ser módulos simples, es decir, conformados por una sola malla de captación, sostenida por dos postes ( $48\text{m}^2$ ), o pueden ser módulos múltiples, es decir compuestos por varias mallas de captación, sostenidas por postes comunes, manteniendo siempre la orientación de los paneles en forma perpendicular a la dirección del viento (Aránguiz et al., 2009).

Para la conducción de agua desde las estructuras atrapanieblas ubicadas en los oasis de niebla hasta las caletas de pescadores, se considera el sistema de conducción descrito por Zuazo (2008). Este sistema está compuesto por diferentes tramos de tubería, empalmados uno a continuación de otro, que comunican el lugar de captación con el lugar de almacenamiento. El agua es conducida por gravedad desde el punto más alto dónde es captada hasta el punto más bajo, dónde es almacenada.

Es necesario además, un sistema de tuberías que conecten los atrapanieblas con la tubería principal de bajada. Estas tuberías secundarias de colección pueden estar

dispuestas en serie o en paralelo en función de la distribución espacial de los atrapanieblas sobre el terreno.

El costo de la inversión inicial necesario para llevar a cabo el proyecto, se detallará en el capítulo VII. El modelo básico de un sistema de atrapanieblas se presenta en la Figura 2:

Figura 2: Representación sistema de colección de agua mediante atrapanieblas



Fuente: Elaboración propia

La Figura 2 muestra el sistema de colección de agua mediante atrapanieblas a construir en cada uno de los oasis de niebla que se encuentran dentro del área de estudio. Puede verse que los atrapanieblas serán instalados en la cima del farellón costero, cada uno con un estanque pequeño de colección. El agua colectada en cada estanque pequeño se conecta a un sistema de tubería central, el cuál dada su ubicación hace que el agua escurra por gravedad hasta un estanque de mayor tamaño, ubicado en

la caleta más cercana al oasis de niebla, desde el que se suministrará el recurso hídrico a los pobladores.

### **5.1.1. Oasis de Niebla**

Según la Real Academia Española, la niebla se define como una “nube muy baja, que dificulta más o menos la visión según la concentración de las gotas que la forman”. Se compone de muy pequeñas gotas de agua, que por ser tan pequeñas no tienen peso suficiente para caer y, por lo tanto, quedan suspendidas en el aire y son desplazadas por el viento (Cereceda, 2000). Desde el punto de vista geográfico, en Chile y en el mundo, en numerosas ocasiones se ha documentado su potencial para la colección de agua y, como recurso hidrológico. Se ha probado con distintos niveles de éxito para abastecer de agua potable a pequeños poblados rurales, para agricultura, bebederos en predios ganaderos y reforestación (Farías et al. 2005)

De los diversos estudios realizados en el país, un tipo de niebla que se ha investigado por más de 30 años, especialmente en el norte del país, es la niebla costera que localmente se conoce como “camanchaca”. Según Cereceda (1989), desde el cerro Camarca, cerca de Arica, hasta Valparaíso son frecuentes las camanchacas, que son nieblas tipo advectivo. Están constituidas por nubes del tipo estratocúmulos que por efecto del relieve se encuentran a ras de suelo. La camanchaca se forma cuando nieblas costeras llegan a tierra empujadas por las brisas marinas y de golpe se encuentran en una región seca y caliente cuyas temperaturas rondan los 27° C. A medida que el aire seco empieza a evaporar las gotas de agua de la niebla, éstas se encogen formando gotitas increíblemente diminutas (0,002 a 0,006 mm de diámetro). El resultado es una niebla muy húmeda, pero casi invisible (Cruzat, 2004).

En cuanto a los factores de distribución espacial y temporal de la niebla, los factores más relevantes se refieren a la circulación general de la atmósfera, donde la presencia de anticiclones y corrientes oceánicas frías que determinan inversiones dinámicas, vientos y surgencias de aguas marinas, generan e intensifican la formación

de nubes estratocúmulos. Un aspecto definitorio en las nieblas costeras es el relieve y la topografía que permite la intercepción del estrato nuboso y la penetración continental de las masas generadas en los océanos. Así, la altitud, la exposición a los vientos predominantes, la presencia de valles, cuencas interiores y otros rasgos menores del relieve, definen y determinan el comportamiento de la niebla (Cereceda et.al 1999).

En las costas del norte de Chile es común ver una densa capa de estratocúmulos provenientes del océano pacífico, las que son arrastradas hacia el continente debido a los vientos presentes en la zona, principalmente los vientos provenientes del sur oeste. Esta influencia oceánica disminuye la aridez característica del norte del país y en muchas veces la condensación de estas nubes al entrar en contacto con la superficie genera una fuente única de agua (Soto, 2000).

Parte importante de estas nubes son detenidas por los cordones montañosos de la cordillera de la costa; el resto se internan por valles, quebradas y mesetas interiores formando bancos de niebla de altura (Soto, 2000). La combinación del clima desértico y la acción del océano determinan que la costa se encuentre bajo la influencia de un clima desértico litoral. Por otro lado, bajo la influencia de la camanchaca se desarrolla un tipo de vegetación baja que ha sido descrita como “formación de lomas”, “franja fértil”, “praderas en el desierto” y “oasis de niebla” (Muñoz et.al, 2001). Además de la vegetación única que se genera en estos oasis de niebla, estos lugares presentan los mayores potenciales para implementar sistemas de captación de niebla.

### **5.1.2. Caso Exitoso en Chile: Caleta Chungungo, Coquimbo.**

Durante la década de los 1990s, se desarrolló en la cuarta región de Chile el “Proyecto de Sistemas de Captación de Aguas Nieblas en la zona el Tofo-Chungungo” (al norte de La Serena). En esa oportunidad se puso en marcha uno de los sistemas de captación de agua de niebla más exitosos que se han desarrollado en Chile. Según Soto (2000), este proyecto comenzó con el objetivo de implementar un sistema técnico, económico y viable de aprovechamiento de agua de niebla para abastecer de agua

potable al poblado de pescadores de Chungungo. El proyecto fue financiado por el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo de Canadá (CIID), con la participación de profesionales de la Universidad Católica de Chile, Corporación Nacional Forestal de Chile (CONAF), Universidad de Chile y del Servicio del Medio Ambiente de Canadá (Environment Canada).

En el cordón del Tofo se daban las condiciones para la formación de camanchaca. Además, a los pies de él, existía un pequeño poblado de pescadores, Chungungo. En esta localidad, la CONAF implementó un proyecto de atrapanieblas donde inicialmente se instalaron 62 captadores de 58 m<sup>2</sup> cada uno y posteriormente se agregaron 40 unidades adicionales de 90 m<sup>2</sup> de superficie.

A partir de 1992, se construyó un estanque de 40.000 litros de capacidad cerca de Chungungo y una tubería para bajar el agua capturada por los atrapanieblas al estanque. En este estanque se acumula, filtra y trata lo captado. Antes de este proyecto, los 330 habitantes de Chungungo consumían un promedio de 14 litros de agua por persona al día y su costo era de US\$ 8 el m<sup>3</sup> de agua, siendo subsidiado en alta proporción por la Municipalidad de La Higuera. En los primeros años de proyecto, se duplicó el consumo per cápita mencionado (Cereceda, 2000). Por otro lado, Soto (2000) estima el costo por metro cúbico de agua del proyecto de Chungungo en US\$ 3,2, alrededor de \$1.9433, lo que es menor que los US \$8 previos al proyecto<sup>4</sup>.

Para finales de los años 1990s, en Chungungo el agua era colectada en 91 atrapanieblas, conducida por una tubería de 6 km a un sistema de estanques de casi 160 m<sup>3</sup> de capacidad, y distribuida a cada casa.

En el año 2000, el proyecto fue traspasado a los habitantes de la caleta y al gobierno regional de la época, los que no realizaron el mantenimiento necesario y con el

---

<sup>3</sup> Dólar observado \$607,31, Banco Central de Chile al 13 de Mayo del 2015.

<sup>4</sup> El cálculo del costo fue realizado con un ejemplo de 44 captadores y una producción de 10.580 litros diarios, que entregarían en 10 años un total de 38.088 m<sup>3</sup>.

tiempo las instalaciones se deterioraron y los atrapanieblas dejaron de funcionar. Debido a esto, los habitantes de la caleta tuvieron que ser abastecidos de agua mediante camiones aljibe provistos por la municipalidad y posteriormente por una planta desalinizadora.

Aunque actualmente el proyecto ya no está vigente, durante el tiempo que funcionó demostró la capacidad de los atrapanieblas para proveer agua potable en zonas rurales y aportó experiencia útil para implementar proyectos similares en otras localidades del país, principalmente en el norte de Chile.

### **5.3. Planta Desalinizadora**

La desalación de agua de mar, es un proceso por el cual el contenido de sal del agua se reduce lo suficiente para hacerla apta para determinados usos (UNESCO & WMO, 2012). La desalinización, ha demostrado ser una tecnología fiable y económicamente sostenible para la obtención de agua potable a partir de la segunda mitad del siglo XX, constituyendo a veces la única alternativa posible de abastecimiento de agua para el consumo humano e industrial, para el desarrollo de numerosas regiones del mundo, como algunas áreas en las Islas del Caribe, Estados Unidos, Chipre, India, Australia, China, las costas del Mediterráneo, África, el Oriente Medio, etc. (UNESCO, 2013)

La inclusión del análisis de esta opción de abastecimiento de agua potable en este estudio está determinada por la planta desalinizadora de agua que ya se encuentra instalada y funcionando en la localidad de Chanavayita al sur de Iquique.

En el marco de los estudios del Programa de Agua Potable Rural (APR), la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) de la Región de Tarapacá, desarrolló durante el año 2009 el estudio “Rediseño de Captación y Tratamiento Sistema de Agua Potable Rural, Localidad de Chanavayita” que recomendó la instalación de un sistema de desalación de agua de mar para el abastecimiento de agua potable (Ministerio de Obras Públicas, 2012).



Dentro del proyecto se consideró que el sistema de captación y desalación de agua de mar debe actuar como un centro productivo de agua potable tanto para la localidad de Chanavayita como para el abastecimiento de las denominadas Caletas Sur, correspondientes a Chipana, San Marcos, Río Seco, Chanavaya y Caramucho.

Con el objetivo de suministrar agua de mar para el funcionamiento de la planta de tratamiento de osmosis inversa, se contempló habilitar la captación y posterior impulsión de agua en un sector cercano a la ubicación de la planta. La distancia entre el punto de captación, hasta la desalinizadora es de aproximadamente 433 metros.

El proyecto contempló un sistema de elevación de bombas centrífugas capaces de impulsar agua de mar directamente desde la captación en el borde costero hasta la planta de tratamiento.

Según el Ministerio de Obras Públicas (2012), las componentes del sistema de captación e impulsión de agua de mar para el abastecimiento de agua potable de la localidad de Chanavayita y su posterior red de distribución son las siguientes:

1. Subsistema Captación y línea de aducción de Agua de Mar.
  - a) Planta Elevadora de Agua de Mar
  - b) Impulsión de Agua de Mar
  - c) Descarte de Planta de Osmosis Inversa
  - d) Obras Complementarias
  - e) Obras Eléctricas
  
2. Subsistema Tratamiento
  - a) Pre tratamiento (Estanques, filtros, etc.)
  - b) Tratamiento (planta OI, línea descarte)
  - c) Post tratamiento (planta de elevadora agua tratada, estanque distribución)
  - d) Obras de Urbanización y complementarias

e) Obras eléctricas

### 3. Subsistema Distribución

a) Red de distribución de Agua Potable

b) Arranques domiciliarios

La Fase I del proyecto consideró la construcción, habilitación, puesta en marcha y operación por 6 meses de una planta desalinizadora de agua de mar con capacidad máxima para producir 45 m<sup>3</sup>/hora de agua potable. Esta planta opera las 24 horas del día, por lo que produce 1.080 m<sup>3</sup> diarios.

El diseño de la planta de tratamiento de agua potable, desde las obras de pre-tratamiento hasta la descarga de agua tratada al estanque de 50m<sup>3</sup>, se ha optimizado de acuerdo a la última tecnología disponible para desalinización de agua de mar, mediante pre-tratamiento a través de membranas de ultra filtración seguido de osmosis inversa con membranas de alto rechazo de sales y sistema de ahorro de energía (40%).

La calidad del agua a tratar, fue considerada como el agua típica del pacifico en la costa del Chile con una cantidad de Sólidos Disueltos Total (TDS) de 38000 g/l y turbiedad de 1.0 (Nephelometric Turbidity Units) (SIMTECH, 2012).

Es importante hacer esta distinción entre las etapas del proyecto, ya que la primera es la inversión CAPEX, que es la inversión en capital (construcción de la planta). Por lo que la Inversión total es la suma de la primera y segunda fase, la que asciende a \$2.280.165.000.

La desalación de agua de mar es una propuesta para asegurar el suministro hídrico de manera sustentable. El proceso es una tecnología limpia que no produce emisión de gases ni ruidos molestos logrando la separación de las sales del agua en la que están disueltas, hasta los niveles que permitan hacerla apta para el consumo humano (Aguas Antofagasta, 2015).

## **6. METODOLOGÍA**

En esta sección se presenta las metodologías utilizadas para comparar los tres sistemas considerados para aportar agua potable a las localidades costeras de Iquique: 1. Transporte de agua mediante camiones aljibes; 2. Captación de agua por atrapanieblas; y,3. Provisión de agua mediante la planta desalizadora de agua de mar existente en la localidad Chanavayita y su posterior distribución a las otras localidades.

### **6.1.Evaluación de proyectos**

#### **6.1.1. Evaluación Social**

La evaluación social de proyectos compara costos y beneficios que una determinada inversión pueda tener para la comunidad de un país en su conjunto. Este tipo de evaluación difiere de la evaluación privada de proyectos en los determinantes de costos y beneficios. Así, en una evaluación privada se utiliza precios de mercado, mientras que en una evaluación social se utiliza precios sombra o sociales, donde estos últimos deben considerar los efectos indirectos y externalidades que generan los proyectos sobre el bienestar de la comunidad. Los precios privados de los factores se corrigen a precios sociales, aplicando factores de corrección que cada país define para realizar la evaluación social. (Sapag & Sapag, 2008)

De igual manera, existen otras variables que la evaluación privada incluye y que pueden ser obviadas en la evaluación social como, por ejemplo, los efectos directos de impuestos, subsidios u otros que, a nivel de la comunidad, sólo corresponde a transferencias de recursos entre sus miembros.

Por otro lado, existen casos en que los beneficios sociales no se pueden cuantificar monetariamente, pese a esto, de igual manera deben considerarse cualitativamente en la evaluación considerando los efectos positivos que pueda tener el proyecto sobre el bienestar de la comunidad. Por último, existen externalidades de un proyecto, cuando

existen efectos indirectos que pueden ser positivos como la redistribución del ingreso o negativos como la contaminación ambiental que se genera (Sapag & Sapag, 2008).

### **6.1.2. Costo-Efectividad**

El análisis de costo efectividad compara alternativas mutuamente excluyentes en términos de una razón entre sus costos y una medida simple de efectividad (no monetaria).

Éste análisis se lleva a cabo bajo tres limitaciones. Primero, no se puede estimar el valor monetario del impacto más importante del proyecto, un típico ejemplo son políticas públicas enfocadas al sector salud, ya que no se puede valorar monetariamente una vida salvada. Segundo, se debe reconocer que una medida de efectividad particular no es capaz de capturar todos los beneficios sociales de cada alternativa, y los otros beneficios sociales son difíciles de medir monetariamente. Tercero, el análisis puede estar ligado a bienes intermedios, cuya relación con las preferencias no es clara (Boardman A, et.al 2006).

Para definir las razones de costo-efectividad, se debe considerar que los costos están definidos en unidades monetarias, como pesos o dólares, y la efectividad se mide en unidades no monetarias, por lo cual es imposible obtener beneficios de las alternativas a medir. La finalidad es crear un ranking razón de costo-efectividad de las alternativas propuestas; sea fijando un mismo nivel de efectividad, variando costos, o para un mismo nivel de costos, elegir la alternativa que es más efectiva según la medida propuesta. Para ambos casos, la alternativa a elegir es la que presenta la menor razón costo-efectividad, según la siguiente fórmula:

$$CE_i = \frac{C_i}{E_i} \quad \text{donde } i \text{ identifica la alternativa } i - \text{ésimo} \quad (1)$$

$E_i$  = Medida de efectividad alternativa "i"

$C_i =$  Costos totales alternativa "i"

Cabe destacar que esta razón puede expresarse de dos formas. La primera, es la mostrada anteriormente de costo-efectividad, que es la más usada en la literatura. La segunda forma es una razón de efectividad-costo, como:

$$EC_i = \frac{E_i}{C_i} \quad (12)$$

Una desventaja de usar esta metodología al momento de evaluar proyectos o alternativas de política, es que existen problemas de escala, ya que la razón de costo-efectividad no se ajusta por la escala de cada proyecto. Obviamente, este problema no se presenta cuando: i las alternativas tienen la misma efectividad en términos de las unidades en que se mida; y, (ii) las alternativas tienen los mismos costos en términos monetarios.

Para solucionar los problemas de escala se debe imponer restricciones a las medidas utilizadas, sea fijando un nivel mínimo de eficacia aceptable E o un máximo aceptable de costos C. Matemáticamente:

Fijar mínimo de Efectividad:

$$\begin{array}{ll} \text{Min } C_i & \text{ó} & \text{Min } CE_i = \frac{C_i}{E_i} & (3) \\ \text{s. a: } E_i \geq E & & \text{s. a: } E_i \geq E & \end{array}$$

Fijar máximo Costo:

$$\begin{array}{ll} \text{Máx } E_i & \text{ó} & \text{Min } CE_i = \frac{C_i}{E_i} & (4) \\ \text{s. a: } C_i \leq C & & \text{s. a: } C_i \leq C & \end{array}$$

Para que el análisis de costo-efectividad sea una guía apropiada para la asignación de recursos más eficientes, este debe considerar los costos sociales de cada alternativa. Además de los costos privados, se debe mencionar los beneficios que entrega cada propuesta, pese a que estos no sean cuantificables en términos monetarios (Boardman, et.al 2006).

### 6.1.3. Anualidad

Una anualidad es una secuencia finita de pagos de montos fijos, separados por un mismo intervalo de tiempo. Suponiendo que un monto de pago C, se realiza de forma anual por un periodo de t años a una tasa de descuento r (Capinski y Zastawniak, 2003), el valor presente de una anualidad se compone de la siguiente forma:

$$VP \text{ anualidad} = \sum_{t=1}^n \frac{C}{(1+r)^t} \quad (25)$$

La cual para un horizonte finito de  $t = T$ , da como resultado la siguiente fórmula:

$$VP \text{ anualidad} = \frac{C}{r} \cdot \left( 1 - \frac{1}{(1+r)^T} \right) \quad (6)$$

Por otro lado, si se desconoce el monto fijo de pagos C, pero se cuenta con los datos sobre la tasa de descuento, la cantidad de pagos realizados de forma anual y el valor presente de la anualidad, entonces es posible conocer el valor de cada monto C a partir de la fórmula 6:

$$C = \frac{VP(anualidad) \cdot r}{1 - \frac{1}{(1+r)^T}} = VP(anualidad) \cdot \frac{r \cdot (1+r)^T}{(1+r)^T - 1} \quad (7)$$

#### 6.1.4. Selección de Proyectos

Dentro de los criterios que ayudan a decidir entre realizar o no un proyecto, los más utilizados son: El Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR).

El criterio de valor actual neto (VAN) plantea que un proyecto debe aceptarse si es que el valor final de los flujos descontados es igual o superior a cero, donde el VAN es la diferencia entre todos los ingresos y egresos expresados en moneda actual de un proyecto (Sapag & Sapag, 2008).

Por otro lado, la tasa interna de retorno (TIR) evalúa el proyecto en función de una única tasa de rendimiento por periodo con la cual el total de los beneficios actualizados son exactamente iguales a los desembolsos expresados en moneda actual. Es decir, la TIR es la tasa a la cual el VAN de un proyecto se hace cero, y representa la tasa de interés más alta que un inversionista puede soportar sin perder dinero (Sapag & Sapag, 2008).

Para el caso en que no haya beneficios cuantificables monetariamente, ninguno de estos dos criterios comúnmente usados son de utilidad para la evaluación. El criterio de decisión a utilizar será el Valor Actual de Costos Sociales (VAC), éste permite comparar alternativas o proyectos de igual vida útil. Matemáticamente es la suma de todos los costos de un proyecto, descontados a la tasa social de descuento:

$$VAC = I_0 + \sum_{t=1}^T \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (8)$$

Donde,  $I_0$  es la inversión inicial,  $c_t$  es el costo incurrido en el periodo  $t$ ,  $r$  es la tasa social de descuento y  $t$  es el número de periodos de evaluación. Finalmente, la alternativa de solución evaluada que presente el menor VAC, es la más conveniente desde el punto de vista técnico económico (Ministerio de Desarrollo Social, 2013)

La fórmula 7 es útil para calcular el costo anual equivalente (CAE), el cual permite comparar alternativas de proyectos con distinta vida útil o valores actuales de costos (VAC) de distintos horizontes de evaluación:

$$CAE = VAC \cdot \frac{r \cdot (1+r)^T}{(1+r)^T - 1} \quad (9)$$

Donde el criterio de decisión indica que la solución que presenta el menor CAE es la más conveniente desde el punto de vista técnico económico (Ministerio de Desarrollo Social, 2013).

## **6.2.Datos**

A continuación se detalla las principales fuentes de información desde las que se obtuvo los datos sobre los costos asociados a las tres diferentes alternativas de abastecimiento de agua potable consideradas para este estudio.

### **6.2.1. Población**

La recolección de datos sobre la población se hizo mediante contacto telefónico directo y vía correo electrónico con Sernapesca y la Ilustre Municipalidad de Iquique. Donde fue posible obtener la población exacta para el año 2015, de las 5 caletas de estudio: Punta Gruesa, Chanavaya, Río Seco, Chipana y Chanavayita. Y un estimado de la población total para las 11 caletas a las cuales se les reparte actualmente agua mediante camiones aljibe, que en total contarían con 1247 habitantes.



### **6.2.2. Camiones Aljibe**

Se realizó una Solicitud de Información Pública a la Ilustre Municipalidad de Iquique amparada bajo la Ley de Transparencia<sup>5</sup>. A través de esta vía, se obtuvo el costo de los camiones aljibe que reparten agua hacia las caletas, el sueldo de los choferes que manejan estos camiones, una estimación de la bencina utilizada para prestar el servicio de distribución, cantidad de viajes realizados por los camiones y la demanda de agua de cada caleta en términos de litros de agua mensual enviada a cada localidad.

Por otro lado, los otros gastos de operación de los camiones aljibe, tales como permiso de circulación, seguro obligatorio, revisión técnica y gastos de mantenimiento fueron consultados en internet y directamente vía correo electrónico con las empresas que imparten el servicio.

### **6.2.3. Atrapanieblas**

Considerando el modelo de atrapanieblas bidimensional de 48 m<sup>2</sup>, los materiales usados para la construcción de las estructuras de atrapanieblas se cotizaron presencialmente en tiendas de construcción especializada (Easy, Sodimac y Barraca Eyzaguirre).

Para el sistema de almacenamiento y distribución de agua hacia las caletas, se consideraron los materiales utilizado en el modelo propuesto por Zuazo (2008), los cuales fueron cotizados en las mismas empresas de construcción antes mencionadas.

En lo referido a información sobre rendimientos de los atrapanieblas, los datos se obtuvieron de Zuazo (2008), donde se detalla la captación de agua de los atrapanieblas

---

<sup>5</sup> La Ley de Transparencia o Ley N° 20.285 sobre Acceso a la Información Pública.

ubicados en el centro de estudio Alto Patache. La información abarca rendimientos desde Agosto de 1997 hasta Julio de 2005.

#### **6.2.4. Planta Desalinizadora**

Para detallar los costos de esta opción se utilizaron datos extraídos de dos fuentes. En primer lugar, del contacto directo con el gerente general de SIMTECH, empresa que ganó la licitación para la construcción de la planta en la caleta Chanavayita, el cual facilitó información sobre los costos de operación estimados al momento de construcción del proyecto. Además, mediante este contacto se obtuvieron datos sobre producción y rendimientos de la planta en términos de m<sup>3</sup> de agua potable diarios.

La segunda fuente de información, fue el Presupuesto de Obras Hidráulicas de la Dirección de Planeamiento del Ministerio de Obras Públicas. De este presupuesto, se rescataron datos sobre la inversión inicial de la planta desalinizadora de Chanavayita separada en dos fases; la primera corresponde a la construcción de la planta, y la segunda fase es la construcción del aparato distribuidor del agua a la caleta.

## **7. CÁLCULOS Y RESULTADOS**

### **7.1. Caletas analizadas**

Este estudio analiza y compara tres alternativas de abastecimiento de agua potable a localidades de la I Región del país. Para identificar las caletas que son abastecidas de agua mediante camiones aljibe se utilizó información entregada por la Municipalidad de Iquique. Los datos mostraban abastecimiento de agua potable con camiones aljibe a las siguientes 11 caletas: Las Pizarras, Quintero, Tres Islas, Caramucho, Chanavaya, Cádiz, Río Seco, San Marcos (Este y Oeste), Chipana, Los Verdes y Punta Gruesa. Que en total tienen una población de 1.247 habitantes al año 2015.

A partir de esta lista, se seleccionó aquellas localidades que se encuentran próximas a alguno de los 4 oasis de niebla identificados (Punta Gruesa, Punta Patache, Punta Lobos, Chipana). Estas corresponden a las caletas: Punta Gruesa, Chanavaya, Río Seco y Chipana. Las Figuras 3 a 6 muestran la ubicación de cada uno de los cuatro oasis de niebla, la caleta más cercana a cada uno y una línea que mide la distancia que debiese tener el sistema de cañerías de distribución de agua:

Figura 3: Mapa oasis Punta Gruesa- caleta Punta Gruesa distancia 3 Km



Fuente: Elaboración propia, imagen satelital, Google Earth.

Figura 4: Mapa oasis Punta Patache- caleta Chanavaya distancia 10 Km



Fuente: Elaboración propia, imagen satelital, Google Earth.

Figura 5: Mapa oasis Punta Lobos- caleta Río Seco distancia 6 Km



Fuente: Elaboración propia, imagen satelital, Google Earth.

Figura 6: Mapa oasis Alto Chipana- caleta Chipana distancia 13 Km

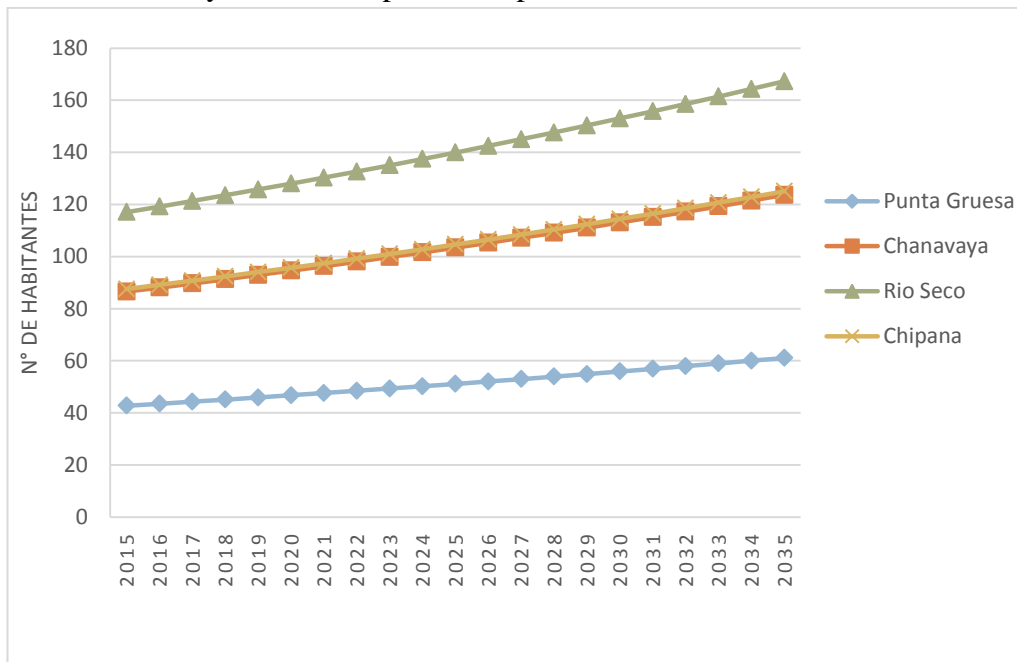


Fuente: Elaboración propia, imagen satelital, Google Earth.

## 7.2. Proyección de Población

Para estimar la población que requerirá abastecimiento de agua en los años futuros, a partir de la información presentada en la Tabla 1, se hizo una proyección del crecimiento de la población para el período 2015-2035 (ver Anexo 1). Para proyectar la demanda de agua potable, las variables más importantes de considerar son la población y su tasa de crecimiento (Ministerio de Planificación, 2008). Se sugiere además, utilizar una tasa de crecimiento de la población de 2% anual, valor que se podría modificar de acuerdo a lo observado en terreno o las estadísticas disponibles para el poblado. Para este caso, se contactó directamente a la Dirección de Desarrollo Comunal (DIDECO) de Iquique, que recomendó utilizar la tasa de 1,8% de crecimiento anual de la población. Utilizando esta tasa, la proyección de la población para las 4 caletas estudiadas puede se presenta en el Gráfico 1:

Gráfico 1: Proyección de la población para las caletas de estudio 2015 - 2035



Fuente: Elaboración propia

Hacer una proyección de población en cada caleta es fundamental para calcular los costos asociados a cada alternativa, ya que se debe considerar variaciones en la demanda de agua y por lo tanto, en los niveles de efectividad que debe presentar cada sistema de provisión.

Cabe destacar que la proyección de población no se realizó para la caleta de Chanavayita, ya que los costos de la planta desalinizadora no están relacionados con el crecimiento de la población.

### **7.3.Tasa Social de Descuento**

La tasa social de descuento representa el costo de oportunidad en que incurre el país cuando utiliza recursos para financiar proyectos (Ministerio de Planificación, 2008). Estos recursos provienen de las siguientes fuentes: menor consumo (mayor ahorro), menor inversión privada y sector externo.

La tasa social de descuento que se utiliza en este estudio es de 6% anual, que corresponde al valor vigente reconocido por el Sistema Nacional de Inversiones (Ministerio de Desarrollo Social, 2015).

### **7.4.Ajustes por IPC**

Todos los costos operacionales, excepto los salarios, se ajustan por IPC anual. Para realizar estos ajustes, se usará el promedio proyectado por el Banco Central de Chile en su último Informe de Política Monetaria (IPoM) publicado en marzo del 2015. En este apartado, se estima que el IPC promedio a dos años será del 3% (Banco Central, 2015).

## **7.5. Ajuste Salarial**

Para el caso de los salarios, se hacen dos ajustes; en primer lugar para expresar los valores en términos de precios sociales, se aplica un factor de corrección de mano obra. Una vez que se determina el salario bruto relevante, se aplica el factor de corrección de acuerdo al nivel de calificación de la mano de obra y se obtiene precio social de la mano de obra (Ministerio de Desarrollo Social, 2015).

Para las tres alternativas los salarios se ajustan por el mismo factor de corrección que corresponde al de mano de obra no calificada y equivale a 0,62.

En segundo lugar, a los salarios se aplica un reajuste de 5%, éste corresponde al promedio de los ajustes en los últimos 15 años para el sector público (Ministerio de Hacienda, 2000-2014).

## **7.6. Costo – Efectividad**

Para comparar las alternativas de abastecimiento de agua, en primer lugar se establece un estándar de efectividad que deben cumplir los sistemas de abastecimiento de agua comparados. Después, se calcula los costos asociados a cada alternativa de abastecimiento para cumplir con el estándar definido. Teniendo estos datos se obtiene el costo por metro cúbico de agua para cada alternativa como el cociente entre el costo total de cada alternativa y la cantidad total de metros cúbicos de agua del estándar establecido.



### 7.6.1. Estándar de Efectividad

El estándar de efectividad exigido será el mismo para las tres alternativas de abastecimiento de aguas comparadas. De esta manera, todos los sistemas proveerán una cantidad similar de agua, y lo que variará serán los costos asociados a cumplir con cierta cantidad de litros a consumir por cada localidad. Es decir, la demanda de agua dependerá de la población que existe en cada caleta de estudio, suponiendo un nivel de consumo diario mínimo, de acuerdo a lo recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Según esta organización, existen distintos niveles de consumo de agua potable que son necesarios para asegurar y promover la salud de las personas (Howard y Bartram, 2003). En la Tabla 3 se muestra un resumen de los índices de consumo de agua diarios recomendados por la OMS:

Tabla 3:  
Niveles recomendados de consumo diario de agua para asegurar la salud

<b>Tipo de Acceso</b>	<b>Cantidad de Litros diarios</b>	<b>Necesidades cubiertas</b>
Sin Acceso	Menor a 5 Litros	Consumo, no asegura higiene
Acceso Básico	No más de 20 Litros	Consumo, higiene básica (lavado de manos y alimentos)
Acceso Intermedio	Alrededor de 50 Litros	Consumo, higiene personal y de alimentos completa, debiese asegurarse lavado de ropa
Acceso óptimo	Suministro continuo a través de múltiples llaves, sobre 100 litros	Consumo y todas las necesidades de higiene cubiertas

Fuente: Elaboración propia en base a (Howard y Bartram, 2003)

En la Tabla 3 se observa que personas con acceso a menos de 5 litros de agua al día, clasifican como “sin acceso” al recurso y no son capaces de cubrir higiene personal ni de alimentos. Con niveles de 20 litros diarios, se cubre las necesidades de consumo básico, y de higiene de manos y alimentos. Por otro lado, con un acceso intermedio de

alrededor de 50 litros diarios, las personas cubren higiene personal y de alimentos de forma completa y algunas necesidades de lavandería. Por último, con más de 100 litros todas las necesidades de consumo e higiene son cubiertas.

Según el gobierno de Chile, el consumo diario de agua de un chileno promedio es de entre 125 y 200 litros, llegando por sobre los 600 litros en el sector oriente de la capital, donde también existen mayores ingresos (Gobierno de Chile, 2015). La situación actual para la zona de la costa sur de Iquique es muy diferente a la de un chileno promedio, en Tabla 4 se muestra los niveles de consumo diario de agua, actuales de acuerdo con la información disponible respecto del abastecimiento existente.

Tabla 4:  
Consumo de agua actual en las localidades en estudio

<b>Caleta</b>	<b>Consumo mensual (l/mes)</b>	<b>Población 2015 (habitantes)</b>	<b>Consumo diario (l/persona)</b>
Punta Gruesa	8.000	43	6,2
Chanavaya	120.000	87	46,0
Río Seco	180.000	118	50,8
Chipana	90.000	88	34,1

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a las cifras de la Tabla 4, y según los estándares de la OMS, las caletas Chanavaya y Río seco tendrían acceso intermedio al recurso, Chipana tendría un acceso entre básico-intermedio y por último Punta Gruesa tendría sólo acceso básico al servicio de agua potable. Tanta diferencia entre caletas, puede deberse a las diferencias de ingresos monetarios en las distintas localidades, ya que como se describió anteriormente, son los pobladores quienes deben pagar por el consumo de agua potable.

Para este estudio, se fija un estándar de efectividad ( $E$ ), de 50 litros diarios por persona para todas las localidades en estudio. Este estándar asegura consumo, cobertura total de higiene personal y de alimentos, y de algunos servicios de lavandería. Con esto, la demanda diaria de agua de cada localidad corresponde a:

$$DDA \text{ agua} = E \cdot n_i \quad (10)$$

Donde  $E = 50$  Litros de agua diarios por persona

$n_i =$  Población de caleta  $i$

De esta manera, la demanda de agua varía en cada caleta, dependiendo de la población para cada una de ellas, pero siempre asegurando un nivel de acceso intermedio al recurso hídrico.

### **7.6.2. Camiones aljibe**

#### **a) Costos Camiones**

Para calcular los costos asociados a la distribución de agua mediante camiones aljibe, en primer lugar hay que calcular la cantidad de camiones que se necesita para repartir los 50 litros diarios por persona a todas las caletas a las que se les reparte agua actualmente. Para esto, se multiplica el total de la población de las 11 caletas ( $N_t^c$ ) por el estándar de efectividad exigido (50/lit/persona/día), y se divide por la capacidad máxima de cada camión aljibe.

$$\text{Camiones necesarios} = \text{Promedio} \frac{N_t * E}{Q} \quad (11)$$

Donde  $Q = \text{capacidad de camiones aljibe} = 30.000 \text{ litros}$ .

Utilizando la Ecuación 11, se calcula un promedio de 2.25 camiones necesarios por día, por lo que los costos asociados a prestar el servicio de distribución de agua se calculan para tres camiones aljibe. Cada camión cuesta \$94.010.500 bruto, por lo que el monto de inversión inicial es de \$ 282.031.500 bruto.

Los camiones tienen asociados además costos anuales de operación que incluyen: gasto en patente, revisión técnica del camión, revisión técnica del semirremolque y seguro obligatorio. La Tabla 5 muestra el total de costos anuales de operación por cada camión, que suman \$8.521.100 por camión, y \$25.563.300 para los tres camiones requeridos.

Tabla 5:  
Camiones aljibe: Costos operación anual

<b>Costo de Operación Anual (valor bruto)</b>	
Patente	\$8.500.000
Revisión Técnica Camión Tracto	\$2.750
Revisión Técnica Semi-remolque	\$1.650
Seguro Obligatorio	\$16.700
Total por camión	\$8.521.100
<b>Total camiones</b>	<b>\$25.563.300</b>

Fuente: Elaboración propia

El gasto en mantención es otro de los costos importantes a considerar para cada uno de los camiones, el cual depende del kilometraje recorrido. Es importante mencionar, que los camiones parten desde Iquique y llegan hasta la caleta más lejana al sur de Iquique, Chipana, que se ubica a 140 km aproximadamente. Al no tener la ruta exacta de distribución, no se sabe el kilometraje acumulado, además al no poseer información sobre la población de cada una de las 11 caletas a las que se reparte agua actualmente, tampoco es posible estimar con exactitud una ruta óptima de reparto.

No obstante lo anterior, la población a la cual se les reparte agua mediante camiones aljibe, se distribuye principalmente en las caletas para las cuales si existe información, que se muestra en la Tabla 6

Tabla 6:  
Camiones aljibe: Población y distancia principales caletas; 2015

Caleta	Población (habitantes)	Distancia ida y vuelta (km)
Punta Gruesa	43	46
Caramucho	150	106
Chanavaya	87	166
Río Seco	118	192
San Marcos	144	210
Chipana	88	280
<b>Total</b>	<b>630</b>	<b>1.000</b>

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 6 se muestran seis de las 11 caletas, para las cuales fue posible obtener información sobre la población y la distancia. Estas caletas son: Punta Gruesa, Caramucho, Chanavaya, Río Seco, San Marcos (Este y Oeste) y Chipana, que en total suman 630 personas y una distancia de 1000 km ida y vuelta. Otra gran parte de la población se ubica en la caleta Chanavayita con un total de 584 personas. El resto de la población, se reparte entre las otras cinco caletas: Los Verdes, Las Pizarras, Quintero, Tres Islas y Cañamo. El total de las 11 caletas es de 1247 personas al año 2015.

El número de viajes que deberán realizar los camiones para satisfacer la demanda de agua se calcula de la siguiente manera:

$$v_{i,t} = \frac{n_{i,t} * E * 365}{Q} \quad (12)$$

Donde:

$v_{i,t} = N^\circ \text{ de viaje a la localidad } i \text{ en año } t$

$Q = \text{capacidad de camiones aljibe} = 30.000 \text{ litros.}$

$n_{i,t} = \text{población de la caleta } i \text{ en año } t$

La Ecuación 12 calcula el número de viajes a realizar por cada camión a cada caleta, como el cociente entre la demanda anual de agua, que es la población de cada caleta por los 50 litros diarios de consumo por 365 días del año, y la capacidad de un camión aljibe que alcanza 30 m<sup>3</sup>.

Para calcular el total de kilómetros a recorrer para efectuar el abastecimiento de agua, se multiplica el número de viajes recién estimado por la distancia ida y vuelta a cada localidad (caleta).

$$k_{i,t} = v_{i,t} * d_i \quad (13)$$

Donde:

$d_i = \text{Distancia caleta } i$

$k_{i,t} = \text{total de kilómetros recorridos a caleta } i \text{ en año } t$

Una vez obtenidos los kilómetros recorridos para satisfacer la demanda de cada caleta, se suman para obtener el total de kilómetros recorridos por los tres camiones en un año. Dicho monto alcanza a 67.216 km, por lo que cada camión recorrería en un año 22.405 km aproximadamente. La primera mantención se hace a los 10.000 km por un valor de \$260.610 y la segunda mantención es a los 40.000 kilómetros por un valor de \$854.420. Así, el costo en mantención asciende a \$781.830 para los tres camiones el primer año. Y \$2.563.260 por los tres camiones para el segundo año. De ahí en adelante, la mantención debe hacerse cada 40.000 km por un costo de \$852.040.

En cuanto a la mano de obra a cargo de la distribución del agua, la municipalidad contempla un salario anual bruto de \$7.440.000 para cada chofer del camión y

\$2.700.000 anual para cada ayudante (\$620.000 y \$225.000 mensual respectivamente). Estos salarios se ajustan según el factor de corrección de mano de obra no calificada que equivale a 0,62 y además se multiplica por el reajuste laboral de 5% anual.

Los tres costos nombrados anteriormente: costos de operación, costos de mantención y mano de obra, están asociados al funcionamiento de los camiones para abastecer a las 11 caletas. Para asignar dichos costos de manera correcta entre las cuatro caletas de estudio, se construye un ponderador que considera tanto la demanda de agua potable de cada localidad, como la distancia entre la caleta y la municipalidad de Iquique.

Primero, la población que habita en las cuatro caletas con respecto a la población total de las 11 localidades ( $N_t^c = 1.247$ ) a las cuales se abastece mediante camiones aljibe, está representada por la Ecuación 14.

$$p_{i,t} = \frac{\sum_{i=1}^4 n_{i,t}}{N_t^c} \quad (14)$$

Segundo, los kilómetros totales recorridos a cada localidad con respecto a los kilómetros totales recorridos para abastecer a las cuatro caletas de estudio se representa en la Ecuación 15.

$$\alpha_{1,t} = \frac{k_{i,t}}{\sum_{i=1}^4 k_{i,t}} \quad (15)$$

Multiplicando las ecuaciones 14 y 15, se obtiene el ponderador final, el cual puede verse en la Ecuación 16.

$$\alpha_{2,t} = \alpha_{1,t} * p_{i,t} \quad (16)$$

Este ponderador ( $\alpha_{2,t}$ ) es el que se multiplica por los costos anuales mencionados anteriormente; costos de operación, costos de mantención y mano de obra (ver Anexo 2, con los valores de cada ponderador).

Por otro lado, para el gasto en combustible se considera distintos costos por caleta, los que dependen de la distancia a la cual se encuentra cada una de las localidades de Iquique. Para esto, se obtuvo un proxy del gasto en combustible dependiendo del número de viajes y los kilómetros recorridos a cada caleta (Ecuación 13), la cual se divide por el rendimiento del camión (4 km/l) para obtener los litros de combustible consumidos y por último esto se multiplica por el precio social del petróleo diésel<sup>6</sup>:

$$\text{Costo Combustible} = \frac{k_{i,t}}{rc} * \text{Precio social combustible} \quad (17)$$

Donde:

*rc = rendimiento del camión*

*k<sub>i,t</sub> = total kilómetros recorridos a caleta i en año t*

Otro costo importante a considerar es el pago por m<sup>3</sup> de agua provista por los camiones aljibes que los pobladores de cada localidad deben pagar a la municipalidad. Los pobladores de las caletas pagan por metro cúbico \$1.250 a la municipalidad y el costo promedio entre la tarifa alta y baja por metro cúbico de agua en Iquique es de \$9357, esto sugiere que los pobladores de las caletas pagan un sobreprecio de \$ 315 por m<sup>3</sup> de agua, que puede suponerse es empleado para cubrir el costo de distribución de agua.

Considerando lo anterior, el Valor Actual de Costos (VAC) estimado a un período de 10 años para cada caleta, la Tabla 7 presenta los costos variables anuales de la provisión de agua por camiones aljibes para cada localidad a la que se le distribuye el recurso.

---

<sup>6</sup> \$422 por litro según los precios sociales vigentes al 2015.

<sup>7</sup> Tarifas Aguas del Altiplano S.A publicadas en Diario "La Estrella" el 15 de abril de 2015



Tabla 7:  
Camiones aljibe: VAC 10 años por caleta

Caleta	VAC 10 años
Punta Gruesa	\$ 751.799
Chanavaya	\$ 14.637.665
Rio Seco	\$ 23.561.707
Chipana	\$ 27.470.955

Fuente: Elaboración propia

**b) Cálculo costo del metro cúbico de agua camiones aljibe**

Para este cálculo se considera el VAC a 10 años para cada caleta como costo total. Además se considera la suma de la demanda de agua a 10 años (estimada según la proyección de la población) como el total de metros cúbicos a repartir en cada caleta.

$$Total\ m^3\ caleta\ i = \sum_{t=1}^{t=10} n_{it} * E * 365 \quad (18)$$

Con los dos datos anteriores, se divide el costo total en los metros cúbicos totales en cada caleta y se obtiene el costo por metro cúbico de agua para cada localidad. La Tabla 8 muestra esta información para cada localidad, donde se puede ver que para Punta Gruesa el costo es de \$88, para Chanavaya de \$850, para Rio Seco de \$1.012 y para Chipana de \$1.576.

Tabla 8:  
Camiones aljibe: Costo distribución metro cúbico por caleta

Caleta	Costo total (VAC 10 años)	Total metros cúbicos	Costo de distribución
Punta Gruesa	\$ 751.799	8.559	\$ 88
Chanavaya	\$ 14.637.665	17.228	\$ 850
Rio Seco	\$ 23.561.707	23.287	\$ 1.012

Chipana	\$ 27.470.955	17.429	\$ 1.576
---------	---------------	--------	----------

Fuente: Elaboración propia

Al valor obtenido anteriormente, se le debe agregar el costo por metro cúbico promedio de Iquique, que la municipalidad paga a la empresa Aguas de Altiplano, el cual asciende a \$935.

$$CT_i = CD_i + T \quad (19)$$

Donde:

$CT_i =$  Costo total  $m^3$  de agua a caleta  $i$

$CD_i =$  Costo de distribución por  $m^3$  a caleta  $i$

$T =$  tarifa ciudad de Iquique = \$935

Los valores finales de la Ecuación 19 se muestran en la Tabla 9. Para Punta Gruesa el costo social es de \$1.415, para Chanavaya \$1.677, para Rio Seco \$1.732 y para Chipana \$1.932 (ver Tabla 9)

Tabla 9:

Camiones aljibe: Costo total por metro cúbico de agua para cada caleta

Caleta	Costo distribución $m^3$	Tarifa Iquique	Costo total $m^3$
Punta Gruesa	\$ 88	\$ 935	\$ 1.023
Chanavaya	\$ 850	\$ 935	\$ 1.785
Rio Seco	\$ 1.012	\$ 935	\$ 1.947
Chipana	\$ 1.576	\$ 935	\$ 2.511

Fuente: Elaboración propia

### 7.6.3. Atrapanieblas

#### a) Costo Atrapanieblas

Los costos asociados a un sistema de atrapanieblas variarán dependiendo de la caleta en la cual se ubique. La razón de las diferencias en costos se debe al número de atrapanieblas necesarios en cada caleta y a la distancia entre la caleta y el oasis de niebla más cercano.

En primer lugar, para el costo de cada atrapanieblas se considera los materiales propuestos por Aránguiz et al. (2009). La siguiente Tabla 10 muestra el costo para la construcción de un atrapanieblas bidimensional de 48 m<sup>2</sup>:

Tabla 10:

Atrapanieblas: Costo de materiales para atrapanieblas bidimensional de 48 m<sup>2</sup>

<b>Materiales</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Bruto Total</b>
Malla raschel (m2) 4,2x24	96	\$14.394
Postes de acero 6m de altura diámetro 6,5" grosor 2mm	2	\$24.200
Cemento especial marca Bío-Bío	3	\$14.969
Ganchos tensores 3/16"	9	\$13.409
Pernos de anclaje	9	\$2.699
Cable 7x7 alma de acero 3/16" diámetro (m)	51	\$21.666
Cable 7x7 alma de acero 3/16" diámetro (m)	14	\$5.948
Tablillas de pino tratado	4	\$5.079
Alambre galvanizado 14 (Kg)	2	\$3.401
Tubo PVC presión 110 mm	4	\$137.978

Pegamento PVC Vinilit	1	\$690
Estanque de captación 500L aquatank	1	\$79.290
<b>Total</b>		<b>\$323.723</b>

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, para el sistema de distribución de agua - entendiendo por éste como el traslado del agua obtenida por los atrapanieblas en los oasis, a la caleta más cercana- se considera el uso de una cañería especial PE100 de polietileno con un costo de US\$2.330 por kilómetro (ver Figura 1), lo que, al tipo de cambio promedio de enero-mayo 2015 (UD\$ 1 = \$620)<sup>8</sup> equivale a \$1.444.600 por kilómetro. Este valor se multiplica por la distancia entre cada caleta y el oasis de niebla correspondiente para obtener el costo total por concepto de cañerías para el sistema de atrapanieblas de cada localidad que se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11:

Atrapanieblas: Costo total de las cañerías para los sistemas de atrapanieblas de cada caleta

Caleta	Distancia (Km)	Costo cañería (\$/km)	Costo Total Cañerías
Punta Gruesa	3	\$1.444.600	\$4.333.800
Chanavaya	10	\$1.444.600	\$14.446.000
Rio Seco	6	\$1.444.600	\$8.667.600
Chipana	13	\$1.444.600	\$18.779.800

Fuente: Elaboración propia

Teniendo el costo por cada atrapanieblas, se requiere conocer el número de atrapanieblas necesarios cumplir en cada caso con el estándar de efectividad. Este número se calcula de la siguiente forma:

$$N^{\circ} \text{ de atrapanieblas caleta } i = \frac{n_i * E}{Rd} \quad (20)$$

<sup>8</sup> Banco de Datos Estadísticos, Banco Central de Chile.

Donde:

$$Rd = \text{rendimiento diario atrapanieblas bidimensional } 48 \text{ m}^2 = 291,84 \text{ l/m}^2$$

Este rendimiento se basa en lo utilizado por Zuazo (2008), donde asume que el valor de la captación va corregido con un coeficiente de 0,8 para considerar así las pérdidas durante la captación, la conducción o el almacenamiento del agua<sup>9</sup>. La Tabla 12, muestra el número de atrapanieblas requeridos para cada localidad que permitiría cumplir con el estándar de efectividad impuesto.

Tabla 12:

Atrapanieblas: Número de atrapanieblas requeridos por caleta para cumplir con el estándar de efectividad impuesto

Caleta	Población 2015 (habitantes)	Estándar de efectividad impuesto	Nº de atrapanieblas
Punta Gruesa	43	50/l/persona/día	8
Chanavaya	87	50/l/persona/día	15
Río Seco	118	50/l/persona/día	21
Chipana	88	50/l/persona/día	16

Fuente: Elaboración propia

El número de atrapanieblas requerido para cada localidad varía en el horizonte de 10 años considerado debido al cambio en la demanda de agua en el tiempo. Para considerar este cambio al hacer el cálculo del costo inicial de inversión en atrapanieblas para cada localidad, el mismo procedimiento de cálculo anterior se repite para cada año y para cada caleta (ver Anexo 3). Los montos de inversión inicial para cada caleta corresponden a los señalados en la Tabla 13.

<sup>9</sup> De acuerdo con los datos de Zuazo(2008) de una producción de 7,6 l/m<sup>2</sup> de un atrapanieblas de 48 m<sup>2</sup> y asumiendo ,una pérdida de 20% en la conducción del agua .

Tabla 13:  
Atrapanieblas: Inversión inicial por caleta

<b>Inversión Inicial</b>	<b>Punta Gruesa</b>	<b>Chanavaya</b>	<b>Rio Seco</b>	<b>Chipana</b>
Materiales atrapanieblas (por cada atrapanieblas)	\$2.589.781	\$4.855.840	\$6.798.175	\$5.179.562
Costo cañerías PE100 de polietileno (por km)	\$4.333.800	\$14.446.000	\$8.667.600	\$18.779.800
Materiales extras necesarios (grifería y gastos generales)/Guido Soto	\$157.000	\$157.000	\$157.000	\$157.000
Costo Filtro de Arena 10" marca INTEX	\$149.990	\$149.990	\$149.990	\$149.990
Estanque adicional caleta pesquera, AQUATANK 35.000L, filtro UV, polietileno, sin riesgo de algas	\$4.153.100	\$4.153.100	\$4.153.100	\$4.153.100
Capataz de construcción Hora \$4000 (20 días, 8 horas =160 horas)	\$640.000	\$640.000	\$640.000	\$640.000
<b>Total Inversión Inicial</b>	<b>\$12.023.671</b>	<b>\$24.401.930</b>	<b>\$20.565.865</b>	<b>\$29.059.452</b>

Fuente: Elaboración propia

Además, los sistemas de atrapanieblas implican costos operacionales anuales asociados a la mantención de estanques de almacenamiento de agua. Esto son costos relacionados a desratizaciones, sanitización y cloración. Por otro lado, se considera el salario de la persona encargada del proyecto por un monto de \$2.700.000 bruto anual (225.000 bruto mensual). Estos salarios se ajustan según el factor de corrección de mano de obra no calificada que equivale a 0,62 y además se multiplica por el reajuste laboral de 5% anual. Costos de mantención y mano de obra se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14:  
Atrapanieblas: Costos operacionales anuales

<b>Costos Operacionales</b>	<b>Costo Bruto</b>
Servicios desratización y sanitización estanques	\$595.000
Tratamiento de clorificación	\$251.981
Costos Mano de Obra	\$2.700.000
<b>Total</b>	<b>\$3.546.981</b>

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, teniendo en cuenta el crecimiento de la población, el número de atrapanieblas va aumentando en el tiempo. Por esto, es necesario considerar nuevas inversiones para la construcción de nuevos atrapanieblas. Para incluir esto en los costos, se elabora un calendario de inversiones por cada caleta, en el que se incluye además, los costos de renovación de las mallas raschel que debe realizarse cada 3 años.

La Tabla 15 muestra el valor actual de costos (VAC) para la construcción y operación de los sistemas de atrapanieblas para las distintas localidades y para el horizonte de 10 años considerado cuando se incluye todos costos involucrados.

Tabla 15:  
Atrapanieblas: VAC de la construcción y operación de los sistemas de atrapanieblas para las distintas caletas en un horizonte de 10 años

<b>Caleta</b>	<b>VAC</b>
Punta Gruesa	\$ 32.633.008
Chanavaya	\$ 43.831.891
Río Seco	\$ 40.502.977
Chipana	\$ 47.784.845

Fuente: Elaboración propia

**b) Cálculo costo del metro cúbico de agua provisto por el sistema de atrapanieblas para cada localidad**

Para este cálculo, se procede de la misma forma como se calculó el costo del metro cúbico de agua provisto por camiones aljibe. Se consideran los VAC a 10 años para cada caleta como costo total y la suma de la demanda de agua a 10 años como el total de metros cúbicos para abastecer en cada caleta. En la Tabla 16 se presenta el costo calculado para el metro cúbico de agua en cada localidad.

Tabla 16:  
Atrapanieblas: Costo total por metro cúbico por caleta

<b>Caleta</b>	<b>Costo total</b>	<b>Demanda de agua 10 años (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Costo total/metro cúbico</b>
Punta Gruesa	\$ 32.633.008	8.559	\$ 3.813
Chanavaya	\$ 43.831.891	17.228	\$ 2.544
Rio Seco	\$ 40.502.977	23.287	\$ 1.739
Chipana	\$ 47.784.845	17.429	\$ 2.742

Fuente: Elaboración propia

**7.6.4. Planta desalinizadora**

En un principio no parece posible comparar la alternativa de provisión de agua mediante la planta de osmosis inversa con las otras dos alternativas propuestas anteriormente; atrapanieblas y camiones aljibe. Esto, debido a que existe problemas de escala para llevar a cabo la comparación, ya que la planta desalinizadora significa una inversión muy superior a las otras alternativas y, además tiene un rendimiento muy superior en términos de producción de agua potable. Adicionalmente, el proyecto de la planta tiene un horizonte de vida útil diferente a las otras dos alternativas.



Por lo anterior, para realizar una comparación razonable, en primer lugar se elimina el problema de escala de producción y de demanda, para prorratear por localidad los costos asociados al proyecto de planta desalinizadora. En segundo lugar, y para eliminar el problema de los diferentes horizontes de tiempo de los proyectos comparados, se calcula los costos para un horizonte común de tiempo: 10 años.

**a) Ajuste de la escala de los proyectos al estándar de efectividad definido.**

Considerando que el sistema de captación de agua de mar de la planta desalinizadora permite producciones de entre 15 m<sup>3</sup>/hora y 45 m<sup>3</sup>/hora, se fija la capacidad de producción de la planta a una menor que la promedio (30 m<sup>3</sup>/hora). Esto se hace a partir de la provisión de agua con el estándar de efectividad definido (50 l/ persona/día) para las siete caletas que serían provistas por el funcionamiento de la planta (Punta Gruesa, Chanavaya, Rio Seco, Chipana, Caramucho, San Marcos y Chanavayita). La Tabla 17 muestra la producción total de agua requerida para cumplir con el estándar de efectividad definido.

Tabla 17:

Planta desalinizadora: Demanda anual de agua de las caletas aledañas a planta desalinizadora; 2015

<b>Caleta</b>	<b>Población (habitantes)</b>	<b>Demanda diaria (m3)</b>	<b>Demanda anual (m3)</b>
Punta Gruesa	43	2,15	785
Chanavaya	87	4,35	1.588
Rio Seco	118	5,90	2.154
Chipana	88	4,40	1.606
Chanavayita	584	29,20	10.658
San Marcos	144	7,20	2.628

Caramucho	150	7,50	2.738
<b>Total</b>	<b>1.214</b>	<b>61</b>	<b>22.156</b>

Fuente: Elaboración propia

La capacidad de producción promedio de la planta desalinizadora es de 30 m<sup>3</sup> por hora, por lo que la producción promedio anual es 262.800 metros cúbicos. Esto implica que la planta tiene una capacidad de 11,9 veces la demanda actual con el estándar de eficacia exigido. Así, para servir la demanda de las 7 localidades involucradas en los próximos 20 años la planta deberá operar a una capacidad de alrededor del 10% de su capacidad máxima. Lo anterior implica que, dada la pérdida de eficiencia esperable por operar a una escala de producción tan reducida, los costos por m<sup>3</sup> de agua producida serán algo mayores que los que existirían a plena escala de producción.

La capacidad a la que funcionaría la planta ( $\beta$ ) se calcula dividiendo la producción establecida por la demanda de la población en la capacidad promedio de producción de la planta desalinizadora, y se multiplica por un factor de corrección de 1,2, que representa un margen del 20% de funcionamiento de la planta en caso de contingencias o aumentos de la demanda de forma aleatoria. Esto se muestra en la ecuación 21.

$$\beta = \frac{x_t}{x} * 1,2 \quad (21)$$

Donde:

$$x_t = \text{producción establecida año } t$$

$$x = \text{producción promedio} = 262.800 \text{ m}^3$$

La producción establecida es la demanda anual diaria presentada en la Tabla 17, la cual varía año a año. La capacidad de producción de la planta ( $\beta$ ) es útil para prorratear los costos operacionales en uso de insumos; electricidad y químicos. El costo de mano de obra no se prorratea por capacidad de producción, ya que se asume que independientemente al nivel de producción al que esté trabajando la planta, se requerirá contratar el mismo personal.

Por otro lado, los costos de inversión inicial y de distribución, que juntos ascienden a \$2.800 millones, se reparten dependiendo de la demanda anual establecida para cada caleta, como muestra la Ecuación 22.

$$\delta_{i,t} = \frac{d_{i,t}}{D_t^p} \quad (22)$$

Donde:

$d_i$ : demanda anual de la caleta  $i$  en año  $t$

$D_t^p$ : suma de demanda anual de todas las caletas año  $t$

Para determinar el costo del  $m^3$  de agua producido por la planta para cada localidad, se calculará primero el costo total de producir el agua para cada año, el que variará de acuerdo con la demanda anual proyectada para las siete localidades. Después se prorrateará el costo total calculado entre las siete caletas de acuerdo a la demanda anual de cada una, para finalmente calcular el costo por  $m^3$  para cada una de las siete localidades.

#### **b) Costos de producción de agua de la planta desalinizadora**

Como se señaló antes, los costos anuales de producción de agua dependerán de la escala de producción a que operará la planta cada año, la que estará definida por la demanda existente cada año en las siete localidades servidas. Dado que se proyecta que la población a proveer de agua crecerá a una tasa anual constante de 1,8%, y considerando un margen de seguridad de producción de agua 20% mayor que la demanda anual a servir, resulta que la planta deberá operar en los 20 años de horizonte del proyecto con producciones efectivas que variarán desde 10% de la capacidad de producción en el año 1, hasta 14% en el año 20.

Hay tres tipos de costos en los que se incurre al construir y hacer funcionar una planta desalinizadora: costos de inversión inicial, costos de distribución y costos operacionales.

Según información del Ministerio de Obras Públicas (MOP) y la empresa encargada del proyecto SIMTECH, la inversión inicial consta de la instalación de la planta con un costo de \$1.581.041.000 y los costos de distribución incluye, la construcción de cañerías y canales de distribución a las 6 localidades de Chanavayita, Caramucho, San Marcos, Chipana, Río Seco y Chanavaya por un monto que asciende a \$699.124.000. Es importante destacar, que las caletas nombradas anteriormente se encuentran dentro del presupuesto inicial del proyecto, pero para este trabajo se debe incluir además la caleta Punta Gruesa.

**i. Inversión Inicial**

Para obtener el costo anual de la inversión de la planta desalinizadora durante los 10 primeros años de su vida útil se anualiza el costo de inversión de la misma para un horizonte de 20 años, y se calcula la cuota anual a pagar, C, utilizando la Ecuación 7 de más arriba, obteniéndose el costo anual equivalente (CAE) de la inversión. Dada la inversión inicial, la Tabla 18 presenta su CAE.

Tabla 18:

Planta desalinizadora: CAE de la inversión inicial

Costo	Inversión Inicial	CAE 20 años
Total	\$ 1.328.605.266	\$ 115.833.862

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenido el CAE, se suman las cuotas anuales de los 10 primeros años (ver anexo 5):

$$VP(\text{inversión inicial}) = \sum_{t=1}^{10} \frac{CAE}{(1+r)^t} \quad (23)$$

Lo anterior se muestra en la Tabla 19.

Tabla 19:  
Planta desalinizadora: Inversión inicial prorrateada a 10 años

Costo	Inversión Inicial
Total	\$ 852.547.304

Fuente: Elaboración propia

Para asignar costo de inversión inicial entre las cuatro caletas de en estudio se utiliza la Ecuación 22. El costo de inversión inicial para cada caleta la sumaproducto de es la multiplicación entre la proporción de demanda de de agua de cada caleta con respecto a la demanda de agua total ( $\delta_{i,t}$ ), por la cuota ( $C_{i,t}$ ).

$$CTI_i = \sum_{t=1}^{10} \delta_{i,t} * C_{i,t} \quad (24)$$

Donde:

$CTI_i$  = costo total inversión inicial caleta i

$C_{i,t}$  = cuota caleta i en año t

Los resultados se presentan en la Tabla 20.

Tabla 20:  
Planta desalinizadora: Inversión Inicial prorrateada a 10 años distribuida por caleta

Caleta	Inversión Inicial
Punta Gruesa	\$ 30.357.440
Chanavaya	\$ 61.126.170
Rio Seco	\$ 82.627.283
Chipana	\$ 61.847.254

Fuente Elaboración propia

La Tabla 20 muestra a cuánto correspondería el costo de inversión inicial a 10 años, si éste fuese desembolsado como una anualidad constante prepagada. Punta

Gruesa tiene un costo de \$30.357.440, Chanavaya \$61.126.170, Río Seco \$ 82.627.283 y Chipana tiene un costo de \$61.847.254 (ver anexo 6).

## ii. Costo de distribución

Para poder estimar el costo de distribución para cada una de las caletas involucradas, primero se calcula el costo por kilómetro de construcción del sistema de distribución de agua requerido para llevar el recurso desde la planta a cada localidad. Esto, con el fin de estimar cuánto costaría la construcción de un sistema de conducción del agua para la caleta Punta Gruesa, que no está considerada dentro de los costos del proyecto original de la planta desalinizadora.

Se considera los costos de distribución del agua potable desde la caleta de Chanavayita, lugar donde se encuentra ubicada la planta desalinizadora, hacia las caletas aledañas. El proyecto inicialmente considera la distribución de agua a las caletas de Caramucho, San Marcos, Chipana, Río Seco y Chanavaya, con un costo que asciende a \$699.124.000. Para poder calcular el costo de un kilómetro de distribución, se suman las distancias de la caleta más alejada al norte de Chanavayita, que es Caramucho (5 km al norte) y la caleta más alejada al sur, que es Chipana (79 km al sur). Entre Caramucho y Chanavayita, no existen poblaciones. Por otro lado, entre Chanavayita y Chipana, se ubica el resto de las caletas presentadas en la Tabla 21. Para éstas últimas, la distancia no se suma al total calculado (84 km), ya que se asume que al estar entre Chanavayita y la caleta más lejana, se usa la misma construcción de canal de distribución de agua potable.

Tabla 21:  
Planta desalinizadora: Distancia desde Chanavayita a caletas consideradas en el proyecto MOP

Caletas	Distancias a Chanavayita (km)
Caramucho	5
Chanavaya	24

Rio Seco	37
San Marcos	52
Chipana	79
<b>Distancia total (km)</b>	<b>84</b>
<b>Costo por km de distribución</b>	<b>\$ 8.322.899</b>

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 21 muestra las distancias a las caletas que contempla la red de distribución del servicio de agua del proyecto inicial del MOP, desde la planta desalinizadora. El costo del sistema de conducción resulta ser de \$8.322.899 (monto total de la fase de distribución/ distancia total).

Para saber cuánto cuesta la construcción del sistema para llevar agua a cada caleta, se multiplica el costo por kilómetro de distribución por la distancia desde la planta desalinizadora a la localidad de interés.

Como se mencionó anteriormente, la caleta al sur más lejana de la planta es Chipana, y al suponer que se usa sólo una cañería para todas las caletas al sur de la planta, el costo de distribución se reparte dependiendo de la distancia entre caletas, el cual se presenta en la Tabla 22.

Tabla 22:

Planta desalinizadora: Costo de construcción del sistema distribución de agua por caleta

<b>Caleta</b>	<b>Distancia (km)</b>	<b>Cañería a construir (km)</b>	<b>Costo</b>
Punta Gruesa	39	39	\$ 324.593.070
Chanavaya	24	24	\$ 199.749.581
Rio Seco	37	13	\$ 108.197.690
Chipana	79	42	\$ 349.561.768

Fuente: Elaboración propia

Al igual como se calcularon los costos de inversión inicial, se obtienen los costos anuales equivalentes de distribución por localidad que se muestra en la Tabla 23.

Tabla 23:

Planta desalinizadora: Costos Anuales Equivalentes por caleta de la construcción del sistema de distribución de agua

Caleta	Costo distribución	CAE 20 años
Punta Gruesa	\$ 324.593.070	\$ 28.299.503
Chanavaya	\$ 199.749.581	\$ 17.415.079
Rio Seco	\$ 108.197.690	\$ 9.433.168
Chipana	\$ 349.561.768	\$ 30.476.388

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 23 muestra los costos que se desembolsa en concepto de construcción del sistema de distribución de agua potable por caleta y el CAE obtenido a 20 años (vida útil de la planta desalinizadora).

Para comparar los costos de la planta con los de los camiones y atrapanieblas se considera la suma de las cuotas anuales de los primeros 10 años de funcionamiento de la planta, que fueron calculados de la misma manera que la inversión inicial. Lo cual se muestra en la Tabla 24.

Tabla 24:

Planta desalinizadora: Costos de construcción del sistema de distribución de agua por caleta en un horizonte de 10 años

Caleta	Costo distribución
Punta Gruesa	\$ 208.286.806
Chanavaya	\$ 128.176.496
Rio Seco	\$ 69.428.935
Chipana	\$ 224.308.867

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 24 muestra el valor presente de los costos de distribución de la construcción del sistema de distribución de agua por caleta, si éstos fuesen desembolsados como una anualidad constante durante 10 años (ver anexo 4). Punta



Gruesa tiene un costo de \$208.286.806, Chanavaya \$128.176.496, Rio Seco \$ 69.428.935 y Chipana tiene un costo de \$224.308.867.

### iii. Costos operacionales

Los costos operacionales asociados a la operación de la planta desalinizadora de agua son tres: Electricidad, productos químicos para el proceso de desalinización y mano de obra.

En la Tabla 25, se muestra el costo total anual en electricidad para producir agua por desalinización, con la planta operando a plena capacidad, que se calcula multiplicando la tasa de consumo de kilowatts de electricidad por metro cúbico de agua producido (2,87 kw/m<sup>3</sup>), por el costo unitario del kilowatt (\$85<sup>10</sup>) y por el volumen anual de producción a capacidad promedio de 262.800 metros cúbicos, teniendo como resultado el costo total anual de \$64.079.891.

Tabla 25:

Planta desalinizadora: Costo Total anual de consumo de electricidad a plena capacidad de producción

Electricidad	Tasa de Consumo (kW/m <sup>3</sup> )	Costo Unitario (\$/kW)	Volumen Anual (m <sup>3</sup> )	Costo Total Anual
Energía	2,87	\$ 85	262.800	\$ 64.079.891

Fuente: Elaboración propia

El costo total anual en productos químicos se obtiene multiplicando la tasa de consumo al año de estos productos por el costo unitario de los mismos. Sumando los costos anteriores, se obtiene un costo total anual de \$25.240.733 para la planta operando a plena capacidad.

<sup>10</sup> ELIQSA grupo CGE tarifas de suministro eléctrico a partir del 1 de enero de 2015

Tabla 26:  
Planta desalinizadora: Costo total anual de de productos químicos a plena capacidad de producción

Químicos	Tasa Consumo Anual (kg/año)	Costo Unitario (\$/KG)	Costo Total Anual
Cloruro Férrico (FeCl <sub>3</sub> )	3.942	1.054	\$ 4.154.868
Hipoclorito de Sodio (NaOcl)	31.401	74	\$ 2.336.231
Hidróxido de Sodio (NaOH)	22.312	155	\$ 3.458.430
Ácido Clorhídrico (HCl)	47.038	93	\$ 4.374.492
Metabisulfito (MSB)	3.285	1.984	\$ 6.517.440
Anti escalante	1.314	3.348	\$ 4.399.272
<b>Costo Total Anual</b>			<b>\$ 25.240.733</b>

Fuente: Elaboración propia

Los costos operacionales mostrados en las Tablas 25 y 26 fueron calculados para la planta funcionando a plena capacidad, por lo que la Tabla 27 muestra dichos costos para el nivel de funcionamiento efectivo que tendrá la planta en el año inicial, utilizando el  $\beta$  de la Ecuación 21.

Tabla 27:  
Planta desalinizadora: Costos operacionales a nivel de operación del primer año

Ítem	Costo	Costo ponderado
Químicos	\$ 25.240.733	\$ 2.553.521
Electricidad	\$ 64.079.891	\$ 6.482.749

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 27, se observa que los dos ítems de costo operacional, dependen de la capacidad de producción de la planta desalinizadora. A nivel de producción promedio, se gastaría en químicos \$25.240.733 y en electricidad \$64.079.891, por lo que finalmente se gastaría \$2.533.521 en químicos y \$6.482.749 en electricidad considerando la capacidad establecida para el año 2015.

El último componente del costo operacional, es la mano de obra. Para poder hacer funcionar la planta desalinizadora se necesita 3 operarios independientemente del nivel de producción a que se opere la planta. A cada operario se le paga un sueldo de \$650.000 brutos mensuales, por lo que el total anual que se desembolsa en sueldos es de \$23.400.000. Estos salarios se ajustan según el factor de corrección de mano de obra no calificada que equivale a 0,62 y además se multiplica por el reajuste laboral de 5% anual. La Tabla 28 muestra el costo anual de mano de obra a utilizar en la planta desalinizadora para cualquier nivel de producción.

Tabla 28:  
Planta desalinizadora: Costo total anual de mano de obra para cualquier nivel de producción.

<b>Mano de obra</b>	<b>Costo</b>
Sueldo operadores	\$650.000
Nº operadores	3
Total anual	\$23.400.000

Fuente: Elaboración propia

Una vez ponderados por la capacidad de producción de la planta, la electricidad y los productos químicos, se suma a la mano de obra. Este procedimiento se repite para cada uno de los 20 años del horizonte de tiempo.

### c) Costo por metro cúbico

Se conoce para cada caleta el costo operacional, de distribución y de inversión inicial, los que corresponden a los 10 años necesarios para poder comparar las opciones. En la Tabla 29 se resumen estos 3 costos.

Tabla 29:  
Planta desalinizadora: Resumen de costos por caleta

<b>Caleta</b>	<b>Inversión inicial</b>	<b>Costo distribución</b>	<b>Costo operacional</b>
---------------	--------------------------	---------------------------	--------------------------

Punta Gruesa	\$30.357.440	\$208.286.806	\$7.409.157
Chanavaya	\$61.126.170	\$128.176.496	\$14.915.207
Rio Seco	\$82.627.283	\$69.428.935	\$20.160.974
Chipana	\$61.847.254	\$224.308.867	\$15.089.881

Fuente: Elaboración propia

Para obtener el costo del metro cúbico de agua por caleta, el costo total (la suma de los 3 costos anteriores) se divide en la demanda de los 10 años de agua de cada caleta. El resultado de estos se observa en la Tabla 30.

Tabla 30:  
Planta desalinizadora: Costo metro cúbico por caleta

Caleta	Costo Total	Demanda 10 años (m <sup>3</sup> )	Costo por metro cúbico
Punta Gruesa	\$246.053.402	8.559	\$28.747
Chanavaya	\$204.217.873	17.228	\$11.854
Rio Seco	\$172.217.192	23.287	\$7.395
Chipana	\$301.246.002	17.429	\$17.284

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 30 muestra el costo por metro cúbico del sistema de abastecimiento mediante el método de desalación de agua de mar. Para la caleta Punta Gruesa, el costo por metro cúbico para una provisión de 50 litros diarios por persona sería de \$28.747, para Chanavaya \$11.854, para Río Seco \$7.395 y por último para Chipana \$17.284.

El costo social se definió como el desembolso total que una inversión puede tener para una comunidad, considerando esto, al costo por metro cúbico calculado anteriormente, debe sumarse \$1.250 que pagan los habitantes de las caletas de estudio para obtener un metro cúbico de agua potable. De este modo, el costo social del metro cúbico de agua potable obtenido mediante la planta desalinizadora, se obtiene sumando

los costos calculados en la Tabla 29 y el desembolso que efectúan los pobladores de las caletas. Los valores finales del costo social por metro cúbico se presentan en la Tabla 31.

Tabla 31:  
Planta desalinizadora: Costo total metro cúbico de agua por caleta

<b>Caleta</b>	<b>Costo por metro cúbico</b>	<b>Vale de agua</b>	<b>Costo total</b>
Punta Gruesa	\$ 28.747	\$ 1.250	\$ 29.997
Chanavaya	\$ 11.854	\$ 1.250	\$ 13.104
Rio Seco	\$ 7.395	\$ 1.250	\$ 8.645
Chipana	\$ 17.284	\$ 1.250	\$ 18.534

Fuente: Elaboración propia

Finalmente en la Tabla 31 se puede observar que el costo total de un metro cúbico en la caleta de Punta gruesa es de \$29.997, en Chanavaya es de \$13.104, en Rio Seco es de \$8.645 y en Chipana es de \$18.534.

## 8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación se presenta los resultados de la razón costo efectividad, que representa el costo por metro cúbico para las caletas de estudio.

Tabla 32:  
Comparación costo total por metro cúbico de agua

<b>Caleta</b>	<b>Camiones</b>	<b>Atrapanieblas</b>	<b>Planta desalinizadora</b>
Punta Gruesa	\$ 1.023	\$3.813	\$29.997
Chanavaya	\$ 1.785	\$2.544	\$13.104
Rio Seco	\$ 1.947	\$1.739	\$8.645
Chipana	\$ 2.511	\$2.742	\$18.534

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 32 compara el valor total por metro cúbico de agua provisto por cada una de las alternativas presentadas: camiones aljibe, atrapanieblas y planta desalnizadora, para las 4 caletas de estudio.

La alternativa de abastecimiento mediante planta desalinizadora es la que tiene el mayor costo entre las tres alternativas y para todas las caletas.

Comparando entre camiones aljibe y atrapanieblas, la opción que presenta el menor costos es el abastecimiento de agua potable mediante camiones aljibe a la caleta Punta Gruesa, con un costo de \$ 1.023. Para la caleta Río Seco, es más conveniente el abastecimiento de agua potable mediante la alternativa de atrapanieblas. Para esta localidad esta alternativa es la más costo eficiente, con un costo por metro cúbico de \$ 1.739, por lo que es recomendable la construcción e instalación de atrapanieblas. Por otro lado, en la caleta Chipana, que es la más alejada de Iquique, el costo por metro cúbico es de \$ 2.511 para la alternativa de camiones aljibe, mientras que para atrapaniebalas es de \$ 2.742, sólo \$231 mayor, lo que sugiere que construir e instalar un sistema de provisión de agua mediante atrapanieblas es efectivo y viable. Además, se

debe considerar que Chipana es la localidad más alejada de Iquique, por lo cual si se instalase atrapanieblas y se dejase de repartir completa o parcialmente agua potable con camiones, el costo de distribución en que incurre la municipalidad de Iquique disminuirá en alta proporción, por lo cual es recomendable la instalación de atrapanieblas.

El costo por metro cúbico mostrado anteriormente para cada una de las alternativas, es el total en que incurre la sociedad; esto es, tanto consumidores como proveedores del servicio de agua potable. Para analizar quienes cargan un mayor costo, a continuación se presentan los costos por metro cúbico por separado:

Tabla 33:  
Costo por metro cúbico de agua para consumidores

<b>Caleta</b>	<b>Camiones</b>	<b>Atrapanieblas</b>	<b>Planta Desalinizadora</b>
Punta Gruesa	\$ 1.250	\$ 0	\$ 1.250
Chanavaya	\$ 1.250	\$ 0	\$ 1.250
Rio Seco	\$ 1.250	\$ 0	\$ 1.250
Chipana	\$ 1.250	\$ 0	\$ 1.250

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 33 muestra el costo por metro cúbico en que incurre un consumidor, para cada una de las caletas y para cada alternativa. Desde este punto de vista, el costo incurrido por un habitante de las caletas, tanto para la alternativa de camiones aljibe como para la alternativa de planta desalinizadora es el mismo, \$1.250, que corresponde al valor de los vales de agua. Para el caso de la alternativa de atrapanieblas, el costo incurrido por metro cúbico es de \$0. Esto sugiere, que la alternativa de abastecimiento vía atrapanieblas es la más conveniente desde el punto de vista de los habitantes de las caletas de estudio.

Tabla 34:  
Costo por metro cúbico de agua para proveedores

<b>Caleta</b>	<b>Camiones</b>	<b>Atrapanieblas</b>	<b>Planta Desalinizadora</b>
Punta Gruesa	\$ 88	\$ 3.813	\$ 28.747
Chanavaya	\$ 850	\$ 2.544	\$ 11.854
Rio Seco	\$ 1.012	\$ 1.739	\$ 7.395
Chipana	\$ 1.576	\$ 2.742	\$ 17.284

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 34 muestra el costo por metro cúbico en que incurre el proveedor del servicio de agua potable para cada una de las caletas. Para la alternativa de camiones aljibe es la Municipalidad de Iquique y para la planta desalinizadora es el Ministerio de Obras Públicas. Por último, se presenta el costo asumido por el proveedor del servicio de agua mediante atrapanieblas, suponiendo que el servicio es provisto por una entidad externa a los pobladores de cada caleta. De este modo, el menor costo es presentado por la alternativa de camiones aljibe. Lo que sugiere, que para la entidad a cargo del abastecimiento de agua potable, esta última alternativa es la más conveniente.

Ahora se analiza como varía el costo por metro cubico de agua en la opción atrapanieblas sin considerar los costos de mano de obra. Este analisis se lleva a cabo tomando en cuenta la evidencia de la localidad de Chungungo, donde el proyecto fue construido con el aporte de los mismos pobladores de la caleta sin considerar un encargado responsable de la mantención del sistema. La Tabla 35 muestra los costos por metro cúbico al considerar y no considerar la mano de obra dentro del proyecto.

Tabla 35:  
Costo metro cubico de agua atrapanieblas sin mano de obra

<b>Caleta</b>	<b>Con MO</b>	<b>Sin MO</b>
Punta Gruesa	\$ 3.395	\$ 1.955
Chanavaya	\$ 2.337	\$ 1.622
Rio Seco	\$ 1.586	\$ 1.057
Chipana	\$ 2.537	\$ 1.830

Fuente: Elaboración propia



Los costos por metro cúbico sin considerar la mano de obra presentados en la Tabla 35, se comparan con los costos por metro cúbico de los camiones aljibe. Lo cual puede observarse en la Tabla 36.

Tabla 36:  
Comparación costo metro cúbico de agua atrapanieblas sin mano de obra y camiones aljibe

<b>Caleta</b>	<b>Atrapanieblas</b>	<b>Camiones</b>
Punta Gruesa	\$ 1.023	\$1.415
Chanavaya	\$ 1.785	\$1.677
Rio Seco	\$ 1.947	\$1.732
Chipana	\$ 2.511	\$1.932

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 36 muestra que al no considerar el costo de la mano de obra dentro del proyecto de atrapanieblas, esta última alternativa es la más conveniente en términos de costo para todas las caletas de estudio, excepto para la caleta Punta Gruesa, que es la más cercana a Iquique y por tanto el costo de distribución en que se incurre utilizando camiones aljibe es menor.

## 9. CONCLUSIÓN

El agua potable para zonas rurales ha sido un tema de estudio durante mucho tiempo. Para el caso de las caletas pesqueras del sur de Iquique, se ha analizado una alternativa de abastecimiento distinta a los camiones aljibe que permite aprovechar las condiciones geográficas que se dan en la costa. Esta alternativa es la de los atrapanieblas, simples construcciones que permiten captar el agua de niebla y abastecer las caletas cercanas a los oasis de niebla.

Dado el alto costo de distribución de agua potable hacia los poblados mediante camiones aljibe, es recomendable estudiar en detalle si el sistema de captación de agua de niebla, mediante atrapanieblas, es una alternativa eficaz y eficiente para abastecer de agua potable a las distintas caletas de pescadores.

Para este propósito, se hizo un análisis costo-efectividad donde se comparan tres alternativas de abastecimiento de agua: camiones aljibe, atrapanieblas y planta desalinizadora. El criterio de comparación fue el costo por metro cúbico de agua en cuatro caletas: Punta Gruesa, Chanavaya, Río Seco y Chipana. Para calcular los costos, la medida de efectividad utilizada fue la provisión de 50 litros de agua diarios por persona para las cuatro caletas de estudio.

Los resultados inicialmente mostraron que para todas las caletas de estudio, los camiones presentan menores costos por metro cúbico de agua que los atrapanieblas y la planta desalinizadora. La caleta Punta Gruesa presenta el menor costo por metro cúbico \$1.023 para todas las caletas y entre todas las alternativas, considerando un abastecimiento de agua usando camiones. La alternativa de abastecimiento de agua potable mediante atrapanieblas presenta menores costos por metro cúbico sólo para la caleta Río Seco, con un costo de \$1.739, por lo que instalar este sistema de provisión de

agua potable es viable y eficiente. Además, se recomienda también la instalación de un sistema de atrapanieblas en la caleta Chipana, debido a la lejanía que existe entre esta localidad y la ciudad de Iquique, lo que aumenta los costos de distribución de agua mediante camiones aljibe, y donde el costo por metro cúbico de dicha alternativa es de \$ 2.511, sólo \$ 231 menor que la alternativa de atrapanieblas, con un costo de \$ 2.742.

Por otro lado, al no incluir el costo de mano de obra dentro del proyecto de atrapanieblas, ésta alternativa resulta ser más costo efectiva para todas las caletas de estudio, a excepción de Punta Gruesa.

Para todas las caletas los costos por metro cúbico de agua de la planta desalinizadora son bastante superiores a las otras dos alternativas. Esto se explica principalmente porque la planta está trabajando a una capacidad muy inferior a su capacidad promedio, aunque es importante destacar que si la planta funcionara a su capacidad promedio, el costo por metro cúbico sería más bajo que las otras 2 alternativas, debido a las economías de escala que puede alcanzar.

Por último, si sólo se considerase el bienestar de los pobladores de las 4 caletas de estudio, la alternativa de provisión de agua potable mediante atrapanieblas sería la más conveniente, ya que los habitantes no deben pagar por el servicio, a diferencia de las otras dos alternativas: camiones aljibe y planta desalinizadora, donde deben desembolsar un costo de \$1.250 por metro cúbico que consumen.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

1. AGUAS ANTOFAGASTA. Desalación. [en línea] <http://www.aguasantofagasta.cl/desalacion.html> [consulta: 5 de enero 2015]
2. ARÁNGUIZ, G., MORALES F., NIETO J. y SILVA G. 2009. Diseño generativo aplicación en sistemas de atrapanieblas en el norte de Chile. Seminario de Diseño Computacional II. Escuela de Diseño, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile.
3. Banco Central de Chile. 2015. Informe de Política Monetaria (IPoM). Marzo 2015, Santiago, Chile.
4. BIBLIOTECA DEL CONGRESO NACIONAL DE CHILE. Clima y Vegetación Región de Tarapacá. [en línea] <http://siit2.bcn.cl/nuestropais/region1/clima.htm> [consulta: 7 de enero 2015]
5. BOARDMAN A., GREENBERG D., VINING A., WEIMER D. 2006. Cost-Benefit Analysis: Concepts and Practice. 3ª ed. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall.
6. Capinski, M. y Zastawniak, T. 2003. Mathematics for Finance: An Introduction to Financial Engineering. Springer Undergraduate Mathematics Series.
7. CERECEDA, P. 1989. La distribución de la niebla en Chile. Revista Geografía Norte Grande. N° 16.
8. CERECEDA, P., LARRAÍN, H., LÁZARO, P., OSSES, P., & SCHEMENAUER, R. 1999. Campos de tillandsias y niebla en el desierto de Tarapacá. Revista Geografía Norte Grande. N° 26.
9. CERECEDA, P. 2000. Los atrapanieblas, tecnología alternativa para el desarrollo rural. Revista Medio Ambiente y Desarrollo, Vol XVI(N°4).

10. CERECEDA, P., LARRAÍN, H., LÁZARO, P., OSSES, P., SCHEMENAUER, R., & BOROEVIC, X. 2000. La niebla, agua potable para zonas rurales. Revista Terra Australis. N° 4.
11. CHILE. MINISTERIO DE HACIENDA. 2000. Ley 19.703: Reajuste sector público 2001. Diciembre 2000.
12. CHILE. MINISTERIO DE HACIENDA. 2001. Ley 19.775: Reajuste sector público 2002. Diciembre 2001.
13. CHILE. MINISTERIO DE HACIENDA. 2002. Ley 19.843: Reajuste sector público 2003. Diciembre 2002.
14. CHILE. MINISTERIO DE HACIENDA. 2003. Ley 19.917: Reajuste sector público 2004. Diciembre 2003.
15. CHILE. MINISTERIO DE HACIENDA. 2004. Ley 19.985: Reajuste sector público 2005. Diciembre 2004.
16. CHILE. MINISTERIO DE HACIENDA. 2005. Ley 20.079: Reajuste sector público 2004. Diciembre 2005.
17. CHILE. MINISTERIO DE HACIENDA. 2006. Ley 20.143: Reajuste sector público 2005. Diciembre 2006.
18. CHILE. MINISTERIO DE HACIENDA. 2007. Ley 20.233: Reajuste sector público 2008. Diciembre 2007.
19. CHILE. MINISTERIO DE HACIENDA. 2008. Ley 20.313: Reajuste sector público 2009. Diciembre 2008.
20. CHILE. MINISTERIO DE HACIENDA. 2009. Ley 20.403: Reajuste sector público 2010. Diciembre 2009.
21. CHILE. MINISTERIO DE HACIENDA. 2010. Ley 20.486: Reajuste sector público 2011. Diciembre 2010.

22. CHILE. MINISTERIO DE HACIENDA. 2011. Ley 20.559: Reajuste sector público 2012. Diciembre 2011.
23. CHILE. MINISTERIO DE HACIENDA. 2012. Ley 20.642: Reajuste sector público 2013. Diciembre 2012.
24. CHILE. MINISTERIO DE HACIENDA. 2013. Ley 20.717: Reajuste sector público 2014. Diciembre 2013.
25. CHILE. MINISTERIO DE HACIENDA. 2014. Ley 20.799: Reajuste sector público 2015. Diciembre 2014.
26. CRUZAT-GALLARDO A. 2004. Uso de las nieblas en la recuperación del Parque Nacional Bosque Fray Jorge. Historia Natural del Parque Nacional Bosque Fray Jorge. Capítulo 16. Ediciones Universidad De La Serena, La Serena, Chile.
27. FARÍAS, M., CERECEDA, P., OSSES, P., & NÚÑEZ, R. (2005). Comportamiento espacio-temporal de la nube estratocúmulo, productora de niebla en la costa del desierto de Atacama (21° lat. S., 70° long. W.), durante un mes de invierno y otro de verano. Investigaciones geográficas, Boletín del instituto de Geografía, UNAM.
28. GESTION AMBIENTAL CONSULTORES. 2014. EIA Proyecto Espejo de Tarapacá. Región de Tarapacá, Chile.
29. GOBIERNO DE CHILE. [en línea]. <http://www.gob.cl/2015/01/14/cuidemos-el-agua/>. [noticia: Enero 14, 2015].
30. GOBIERNO REGIONAL DE TARAPACÁ. 2013. Memoria Explicativa Plan Regional de Ordenamiento Territorial (PROT). División de Planificación y Desarrollo Regional, Región de Tarapacá.
31. GOBIERNO REGIONAL DE TARAPACÁ. 2014. Informe Ejecutivo: Adquisición camiones aljibe para caletas litoral costero Iquique. División de Análisis y Control de Gestión. Iquique. Resolución exenta N° 170.

32. HOWARD, G. y BARTRAM, J. 2003. Domestic water quantity, service level and health. World Health Organization. WHO Document Production Services. Génova. Suiza.
33. ILUSTRE MUNICIPALIDAD DE IQUIQUE. 2014. Memorándum N° 035. Ley 20.285: sobre acceso a la información pública. Dirección de Aseo y Ornato. Iquique.
34. ILUSTRE MUNICIPALIDAD DE IQUIQUE. 2015. Memorándum N° 0073. Ley 20.285: sobre acceso a la información pública. Dirección de Aseo y Ornato. Iquique.
35. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS (INE). 2005. Compendio Estadístico: Síntesis Geográfica Regional. Santiago, Chile, Instituto Nacional de Estadísticas, 46p.
36. MINISTERIO DE DESARROLLO SOCIAL. 2013. Metodología General de Preparación y Evaluación Social de Proyectos. División de Evaluación Social de Inversiones.
37. MINISTERIO DE DESARROLLO SOCIAL. 2015. Precios Sociales Vigentes 2015. División de Evaluación Social de Inversiones. Subsecretaría de Evaluación Social.
38. MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (MOP). 2012. Servicio de evaluación de impacto ambiental: Ficha del Proyecto: Sistema de Agua Potable Rural Chanavayita.
39. MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN. 2008. Metodología, preparación y evaluación de proyectos de agua potable. División de Evaluación Social de Inversiones.
40. MUÑOZ-SCHICK, M., PINTO, R., MESA, A., y MOREIRA, A. 2001. "Oasis de Neblina" en los cerros costeros del sur de Iquique, región de Tarapacá, Chile, durante el evento El Niño 1997-1998. Revista Chilena de Historia Natural. Vol. 74. N° 2.

41. OPTIMIZA. 2009. Plan de Desarrollo Comunal de Iquique 2010-2015. Tomo I. Ilustre Municipalidad de Iquique.
42. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA EDUCACIÓN, LA CIENCIA Y LA CULTURA (UNESCO). 2013. Desalación de agua de mar mediante sistema de osmosis inversa y energía fotovoltaica para provisión de agua potable en Isla Damas, región de Coquimbo. Oficina regional de ciencia para América Latina y el Caribe. Programa hidrológico internacional. 19p.
43. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS). 2010. Revisión anual mundial de saneamiento y agua potable (GLAAS) de ONU-AGUA. Un Water, OMS.
44. RECARREN, A. 2013. Los desafíos del agua potable rural. Revista AIDIS. Octubre 2013.
45. SAPAG, N., & SAPAG, R. 2008. Preparación y evaluación de proyectos. 5ta ed. Mc Graw Hill.
46. SCHEMENAUER, R., FUENZALIDA, H. y CERECEDA, P. 1988. A neglected water resource: The Camanchaca of South America. Bulletin Of The American Meteorological Society. Vol. 69, N° 2.
47. SIMTECH. 2012. Resumen ejecutivo oferta técnica de proyecto Chanavayita. SIMTECH, tecnologías para el tratamiento de aguas y ambiental, Santiago, Chile.
48. SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN AMBIENTAL. 2014 [en línea]. <http://www.sinia.cl/1302/w3-propertyvalue-16508.html> [consulta 18 febrero 2015]
49. SOTO, G. 2000. Captación de Agua de las Nieblas Costeras (Camanchaca), Chile. En: OFICINA REGIONAL DE LA FAO PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE, Manual de Captación y Aprovechamiento del Agua de Lluvia Experiencias en América Latina, Serie: Zonas Áridas y Semiáridas N° 13. Chile
50. UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION (UNESCO) & WORLD METEOROLOGICAL



ORGANIZATION (WMO). 2012. International glossary of hydrology, WMO-No.385, OMM-N° 385. UNESCO & WMO. 83p.

51. ZUAZO, P. (2008). Estudio de captación de agua de niebla para la comunidad de Chanavaya, sector Punta Patache, Iquique (Chile). Proyecto fin de carrera Ingeniero Forestal. Madrid, Universidad Politécnica de Madrid, Departamento Ingeniería Forestal.

## 11. ANEXOS

### 11.1. Proyección de población

Con los datos de la población en cada caleta para el año 2014, se hizo una proyección hasta el año 2035 utilizando la función “crecimiento” del programa Excel. Los resultados fueron:

Caleta	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
<b>Punta Gruesa</b>	42	43	44	44	45	46	47	48	48	49	50	51
<b>Chanavaya</b>	85	87	88	90	91	93	95	96	98	100	102	103
<b>Rio Seco</b>	115	117	119	121	124	126	128	130	133	135	137	140
<b>Chipana</b>	86	88	89	91	92	94	96	97	99	101	103	105
<b>Chanavayita</b>	573	584	594	605	616	627	638	649	661	673	685	698

<b>Caleta</b>	<b>2026</b>	<b>2027</b>	<b>2028</b>	<b>2029</b>	<b>2030</b>	<b>2031</b>	<b>2032</b>	<b>2033</b>	<b>2034</b>	<b>2035</b>
<b>Punta Gruesa</b>	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61
<b>Chanavaya</b>	105	107	109	111	113	115	117	119	121	124
<b>Rio Seco</b>	142	145	148	150	153	156	159	161	164	167
<b>Chipana</b>	107	108	110	112	114	116	119	121	123	125
<b>Chanavayita</b>	710	723	736	749	763	776	790	805	819	834

### 11.2. Ponderador de distancia y demanda de agua camiones aljibe

<b>Caleta</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>	<b>2023</b>	<b>2024</b>
<b>Punta Gruesa</b>	1,13%	1,14%	1,14%	1,15%	1,13%	1,13%	1,14%	1,14%	1,14%	1,14%
<b>Chanavaya</b>	8,27%	8,31%	8,26%	8,29%	8,23%	8,26%	8,29%	8,31%	8,24%	8,26%
<b>Rio Seco</b>	12,98%	12,96%	12,95%	12,93%	12,90%	12,88%	12,94%	12,91%	12,97%	12,93%
<b>Chipana</b>	14,11%	14,18%	14,08%	14,14%	14,19%	14,08%	14,12%	14,16%	14,04%	14,07%

### 11.3. Número de atrapanieblas a un horizonte de 10 años

<b>Caleta</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>	<b>2023</b>	<b>2024</b>
<b>Punta Gruesa</b>	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9
<b>Chanavaya</b>	15	16	16	16	16	17	17	17	18	18
<b>Rio Seco</b>	21	21	21	22	22	22	23	23	24	24
<b>Chipana</b>	16	16	16	16	17	17	17	18	18	18

#### **11.4. Flujo de cuotas descontadas costos de distribución 10 años**

<b>Caleta</b>	<b>Cuota 1</b>	<b>Cuota 2</b>	<b>Cuota 3</b>	<b>Cuota 4</b>	<b>Cuota 5</b>	<b>Cuota 6</b>	<b>Cuota 7</b>	<b>Cuota 8</b>	<b>Cuota 9</b>	<b>Cuota 10</b>	<b>Total</b>
<b>Punta Gruesa</b>	\$26.697.644	\$25.186.457	\$23.760.808	\$22.415.857	\$21.147.035	\$19.950.033	\$18.820.786	\$17.755.458	\$16.750.432	\$15.802.295	<b>\$208.286.806</b>
<b>Chanavaya</b>	\$16.429.320	\$15.499.358	\$14.622.036	\$13.794.374	\$13.013.560	\$12.276.943	\$11.582.022	\$10.926.436	\$10.307.958	\$9.724.489	<b>\$128.176.496</b>
<b>Rio Seco</b>	\$8.899.215	\$8.395.486	\$7.920.269	\$7.471.952	\$7.049.012	\$6.650.011	\$6.273.595	\$5.918.486	\$5.583.477	\$5.267.432	<b>\$69.428.935</b>
<b>Chipana</b>	\$28.751.309	\$27.123.877	\$25.588.563	\$24.140.154	\$22.773.730	\$21.484.651	\$20.268.539	\$19.121.263	\$18.038.927	\$17.017.856	<b>\$224.308.867</b>

#### **11.5. Flujo de cuotas inversión inicial total descontadas a 10 años**

<b>Inversión Inicial</b>	<b>Cuota 1</b>	<b>Cuota 2</b>	<b>Cuota 3</b>	<b>Cuota 4</b>	<b>Cuota 5</b>	<b>Cuota 6</b>	<b>Cuota 7</b>	<b>Cuota 8</b>	<b>Cuota 9</b>	<b>Cuota 10</b>	<b>Total</b>
Cuotas anuales	\$109.277.228	\$103.091.724	\$97.256.344	\$91.751.268	\$86.557.800	\$81.658.302	\$77.036.134	\$72.675.598	\$68.561.885	\$64.681.023	<b>\$852.547.304</b>

### 11.6. Flujo de cuotas descontadas inversión inicial a 10 años, distribuida por caleta

Caleta	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Total
<b>Punta Gruesa</b>	\$3.870.610	\$3.666.965	\$3.478.963	\$3.294.737	\$3.055.763	\$2.896.559	\$2.737.035	\$2.589.894	\$2.450.389	\$2.316.525	<b>\$30.357.440</b>
<b>Chanavaya</b>	\$7.831.235	\$7.417.270	\$6.957.926	\$6.589.474	\$6.177.955	\$5.854.746	\$5.531.092	\$5.232.643	\$4.900.778	\$4.633.051	<b>\$61.126.170</b>
<b>Rio Seco</b>	\$10.621.675	\$10.000.814	\$9.431.855	\$8.881.465	\$8.370.133	\$7.888.500	\$7.469.825	\$7.029.712	\$6.665.058	\$6.268.245	<b>\$82.627.283</b>
<b>Chipana</b>	\$7.921.249	\$ 7.500.611	\$7.035.236	\$6.661.099	\$6.310.814	\$5.916.375	\$5.588.113	\$5.285.498	\$4.949.786	\$ 4.678.473	<b>\$61.847.254</b>
<b>Chanavayita</b>	\$52.568.288	\$49.504.029	\$46.772.725	\$44.120.828	\$41.651.374	\$39.319.243	\$37.064.017	\$34.937.142	\$32.982.236	\$31.114.116	<b>\$410.033.998</b>
<b>San Marcos</b>	\$12.962.044	\$12.250.997	\$11.519.233	\$10.886.958	\$10.296.592	\$9.675.738	\$9.123.450	\$8.615.362	\$8.135.292	\$7.676.329	<b>\$101.141.994</b>
<b>Caramucho</b>	\$13.502.129	\$12.751.038	\$12.060.405	\$11.316.706	\$10.695.169	\$10.107.141	\$9.522.601	\$8.985.347	\$8.478.346	\$7.994.284	<b>\$105.413.165</b>
<b>Total</b>	\$109.277.228	\$103.091.724	\$97.256.344	\$91.751.268	\$86.557.800	\$81.658.302	\$77.036.134	\$72.675.598	\$68.561.885	\$64.681.023	<b>\$852.547.304</b>