



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO.

FACULTAD DE INGENIERÍA.

**“ANÁLISIS TÉCNICO - ECONÓMICO DE LA
DESALADORA MODULAR GEOTÉRMICA
DE BAJA ENTALPÍA DMG”**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO INDUSTRIAL.

PRESENTA:

RICARDO CALDERA CRUZ

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Wulfrano Gómez Gallardo



Ciudad Universitaria, CDMX.. Septiembre de 2016



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Objetivo General

Conocer la factibilidad e impacto social de implementar en las regiones costeras una desaladora modular que utiliza energía geotérmica de baja entalpía, por medio de una evaluación técnico-económica.

Objetivos particulares

- Estudiar los principios básicos de la geotermia y desalación de agua, contemplando el desarrollo histórico de ambos sectores a nivel mundial.
- Proporcionar un panorama general la situación actual de México con respecto a los sectores de interés para el proyecto.
- Analizar las características geográficas, sociales y económicas de distintas zonas del país para seleccionar los lugares apropiados para la implementación del sistema.
- Realizar la evaluación técnico-económica de la Desaladora Modular Geotérmica, incluyendo el estudio de mercado correspondiente de acuerdo con las zonas de aplicación.
- Determinar la rentabilidad del proyecto y analizar los resultados obtenidos para establecer las conclusiones correspondientes.

Justificación del proyecto

El incremento poblacional en las últimas décadas ha provocado un gran aumento en la demanda energética, así como de agua potable, siendo estas dos serias problemáticas a nivel mundial. En México la escasez de agua es cada vez más común debido a diversos factores como la falta de lluvias en las zonas áridas de la República, sobreexplotación de mantos acuíferos, deforestación en áreas de captación de agua, entre otras.

Con base en lo anterior el Grupo iiDEA ha diseñado y construido la Desaladora Modular Geotérmica (DMG), que es un sistema de desalación de agua de mar a través de energía geotérmica de baja entalpía. Al ser un proyecto de innovación tecnológica que busca adaptar el proceso de desalación a una fuente renovable (geotermia), sin embargo no se conoce el costo del mismo proyecto, volviéndose necesario determinar los lugares apropiados para su implementación, inversión inicial e ingresos de operación esperados para estimar el impacto económico de la desalación con la Desaladora Modular Geotérmica.

Es así como surge este trabajo de tesis, el cual pretende identificar la factibilidad de implementar la Desaladora Modular Geotérmica y contar con un soporte que ayude a conocer los factores económicos que influyen en este proceso de desalación con energía geotérmica

Siglas y acrónimos

UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México.
II UNAM	Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.
iiDEA	Instituto de Ingeniería Desalación y Energías Alternas.
DMG	Desaladora Modular Geotérmica.
AGM	Asociación Geotérmica Mexicana.
DME	Deutsche Meerwasser Entsalzung.
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
SEMARNAT	Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua.
SE	Secretaría de Economía.
MSF	Multi-Stage Flash Destillation.
MED	Multi Efect Destillation.
MVC	Mechanical Vapor Compression.
TVC	Thermal Vapor Compresion.
RO	Reverse Osmosis.
ED	Electrodialysis.

Índice

1	Capítulo I: “Introducción”	9
1.1	Importancia económica y social del Agua Potable.....	9
1.1.1	Disponibilidad del Agua Potable	9
1.1.2	Disponibilidad de Agua en México	10
1.1.3	La Importancia del Agua en la Sociedad.	12
1.2	Ciclo hidrológico.....	15
1.2.1	Aguas renovables en México.....	16
1.3	Geotermia en el Mundo y en el México.....	17
1.3.1	Geotermia.	17
1.3.2	Sistemas Geotérmicos y su clasificación.	18
1.3.3	Historia de los usos de la geotermia	20
1.3.4	Geotermia en el Mundo	21
1.3.5	Geotermia en México.....	24
1.4	Tecnologías de Desalación.	25
1.4.1	Panorama General de los sistemas de desalación.	25
1.4.2	Fundamentos Sistema MED (Multi Effect Destilation).	30
1.5	Conclusiones.....	32
2	Capítulo II: “Estudio de Mercado para la implementación de la DMG”	33
2.1	Elementos del Estudio de Mercado para la DMG	33
2.1.1	Alcances del Estudio de Mercado para la DMG.	33
2.1.2	Segmentación.....	34
2.1.3	Antecedentes Generales de las Regiones de Estudio	34
2.1.4	Análisis de la Demanda.	34
2.1.5	Análisis de la Oferta.....	36
2.2	Segmentación.....	36
2.3	CAMPO TURÍSTICO LA JOYA, ENSENADA.	39
2.3.1	Antecedentes del Campo Turístico La Joya, Ensenada.	39
2.3.2	Análisis de la Demanda Campo Turístico la Joya.	40
2.3.3	Análisis de la Oferta Campo Turístico la Joya, Ensenada.	42

2.4 PUERTECITOS, SAN FELIPE, ENSENADA.....	43
2.4.1 Antecedentes de Puertecitos Mexicali.....	43
2.4.2 Análisis de la Demanda Puertecitos.....	45
2.4.3 Análisis de la Oferta.....	47
2.5 SAN FELIPE, SAN FELIPE, MEXICALI.....	47
2.5.1 Antecedentes de San Felipe.....	47
2.5.2 Análisis de la Demanda San Felipe.....	48
2.5.3 Análisis de la Oferta.....	50
2.6 Comercialización.....	51
CONCLUSIONES.....	51
3 Capítulo III. Estudio Técnico de la DMG.....	52
3.1 Características operativas del sistema.....	52
3.2 Tratamiento de Salmuera.....	53
3.4 Postratamiento del agua desalada.....	55
3.4 Plan de Implementación (Tamaño de la Planta).....	57
3.5 Políticas y Normatividad aplicable al proyecto.....	59
3.5.1 Concesión de agua de mar.....	60
3.5.2 Concesión energía geotérmica.....	60
3.5.3 La disposición y descarga de aguas residuales.....	61
3.5.4 Agua para uso doméstico.....	61
Conclusiones.....	62
4 Capítulo IV: Estudio Económico.....	63
4.1 Datos Generales.....	63
4.2 Análisis Económico, Campo Turístico la Joya.....	66
4.2.1 Gráficas y Análisis de Sensibilidad, Campo Turístico la Joya.....	68
4.3 Análisis Económico, Puertecitos.....	71
4.3.1 Gráficas y Análisis de Sensibilidad, Puertecitos.....	73
4.4 Análisis Económico, San Felipe.....	75
4.4.1 Gráficas y Análisis de Sensibilidad, San Felipe.....	77
4.5 Conclusiones.....	79
5 Capítulo V: Conclusiones y Trabajo a Futuro.....	79
Bibliografía.....	82

Anexo 1.....	89
Anexo 2.....	90
Anexo 3.....	94
Anexo 4.....	0

Figuras

Figura 1.1 Escasez de agua proyectada para el 2025 (International Water Institute, 2007).....	10
Figura 1.2 Grado de presión sobre el recurso hídrico en México & Grado de marginación (INEGI, 2010)	11
Figura 1.3 Distribución de la precipitación pluvial media mensual histórica en México (CONAGUA , 2007)	12
Figura 1.4 Ciclo hidrológico (Universidad Complutense de Madrid, 2010)	16
<i>Figura 1.5 Agua renovable per cápita, 2012. (CONAGUA, 2012)</i>	17
Figura 1.6 Proyección del agua renovable per cápita, 2030 (CONAGUA, 2012).....	17
Figura 1.7 Esquema de un Sistema Geotérmico (Flores Alarcón, 2012).....	19
Figura 1.8 Zonas mundiales con mayor actividad geotérmica (Vicente Marín, 2014).....	21
Figura 1.9 Producción de calor por países (Llopis Trillo & Angulo, 2011).....	22
Figura 1.10 Principales aplicaciones de la energía geotérmica de acuerdo a la temperatura del recurso (Llopis Trillo & Angulo, 2011)	23
Figura 1.11 Recursos Geotérmicos de México (Arellano Gómez & Bazán Navarrete, 2011).....	24
Figura 1.12 Componentes de un Sistema de Desalación convencional de cambio de fase (Salmerón Vergara, 2012).....	26
Figura 1.13 Clasificación principal de procesos de desalación y subcategorías (Al-Karaghoulí & Kazmerski, 2011)	26
Figura 1.14 Esquema MED Convencional (Salmerón Vergara, 2012)	30
Figura 1.15 Comparación entre los sistemas de desalación convencionales con recurso geotérmico (García Martínez, 2014)	31
Figura 1.16 Esquema de la configuración de la DMG (Salmerón Vergara, 2012)	32
Figura 2.1 Mapa de Zonas Geotérmicas de Baja Entalpía en México.(Elaborado por Ricardo Caldera & Diana Mendez).....	37
Figura 2.2 Ubicación de "Campo Turístico la Joya"	39
Figura 2.3 Ubicación de "Puertecitos, BC"	44
Figura 2.4 Ubicación de "San Felipe, Mexicali, BC"	48
Figura 3.1 Proceso de desinfección del agua	56

Tablas

Tabla 1.1 Cantidad de agua utilizada para la producción de un bien (SEMARNART, 2008)	15
Tabla 1.2 Clasificación de los Recursos Geotérmicos (AGM, 2014).....	19
Tabla 1.3 Tipos de recursos Geotérmicos. (AGM, 2014).....	20
Tabla 1.4 Salinidad de diferentes tipos de agua (Dévora Isiordia & González Enriquez, 2012).....	25
Tabla 1.5 Plantas desalinizadoras de agua instaladas en México (Dévora Isiordia & González Enriquez, 2012)	28
Tabla 1.6 Posibles combinaciones de energías renovables con tecnologías de desalación respecto al tipo de fluido a desalar. (Goosen & Mahmoudi, 2010).....	29
Tabla 1.7 Comparación entre los sistemas de desalación convencionales con recurso térmico. (García Martínez, 2014)	29
Tabla 1.8 Características operativas MED y DMG (Salmerón Vergara, 2012).....	31
Tabla 2.1 Consumos domésticos per Cápita (CONAGUA, 2007)	35
Tabla 2.2 Clasificación de climas por su temperatura (CONAGUA , 2007)	35
Tabla 2.3 Zonas apropiadas para la DMG.	37
Tabla 2.4 Indicadores para la Matriz de Priorización	38
Tabla 2.5 Jerarquización de los Indicadores.....	38
Tabla 2.6 Matriz de Priorización.....	38
Tabla 2.7 Zonas óptimas para el estudio.....	38
Tabla 2.8 Evolución de la población en Campo Turístico la Joya 1990 hasta 2010	40
Tabla 2.9 Proyección de la población de Campo Turístico la Joya al 2045	40
Tabla 2.10 Proyección de la población de Campo Turístico la Joya al 2045 por año.....	41
Tabla 2.11 Demanda proyectada al 2045 de agua potable para la localidad Campo Turístico la Joya	42
Tabla 2.12 Evolución de la población de Puertecitos de 1990 al 2010 (INEGI).....	45
Tabla 2.13 Proyección de la población de Puertecitos al 2045.....	45
Tabla 2.14 Proyección de la población de Puertecitos al 2045 por año.	46
Tabla 2.15 Demanda proyectada al 2045 de agua potable para la localidad Puertecitos.....	46
Tabla 2.16 Evolución de la población de San Felipe de 1930 al 2010 (INEGI).....	48
Tabla 2.17 Proyección de la población de San Felipe para el año 2045	49
Tabla 2.18 Demanda proyectada al 2045 por año para la localidad San Felipe	49
Tabla 2.19 Demanda proyectada al 2045 de agua potable para la localidad San Felipe.....	50
Tabla 4.1 Inversiones necesarias para el proyecto	64
Tabla 4.2 Costos fijos por DMG	64
Tabla 4.3 . Ingresos por ventas.....	65
Tabla 4.4 Tasas de Depreciaciones y Amortizaciones que intervienen en la evaluación	65
Tabla 4.5 Tasa de Aumento en los factores de evaluación del proyecto.....	65
Tabla 4.6 Impuestos que intervienen en el proyecto	65
Tabla 4.7 Parámetros de Rentabilidad del proyecto para Campo Turístico la Joya.....	68

Tabla 4.8 Costos límite para Campo Turístico la Joya	70
Tabla 4.9 . Parámetros de Rentabilidad del proyecto para Puertecitos	72
Tabla 4.10 Costos límite para Puertecitos.....	74
Tabla 4.11 Parámetros de Rentabilidad del proyecto para San Felipe	76
Tabla 4.12 Costos límite para San Felipe.....	79
Tabla A Balance para Campo Turístico la Joya	1
Tabla B. Balance para Puertecitos.....	1
Tabla C. Balance para San Felipe.....	2

Gráficos

Gráfico 1.1. Usos del agua en México (SEMARNART, 2008)	12
Gráfico 1.2 Tarifas domésticas de agua potable en las principales ciudades de México. (CONAGUA, 2015)	14
Gráfico 1.3 Distribución mundial de energía geotérmica instalada (Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía, 2008)	23
Gráfico 1.4 Capacidad instalada a nivel mundial (Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía, 2008)	27
Gráfico 1.5 Capacidad instalada de los 10 países con mayor producción de agua desalada (Salmerón Vergara, 2012)	28
Gráfico 2.1 Evolución de la población en Campo turístico la Joya 1990 hasta 2010 (INEGI).....	40
Gráfico 2.2 Proyección de la población de Campo Turístico la Joya al 2045.	41
Gráfico 2.3 Evolución de la población de Puertecitos de 1990 al 2010 (INEGI).....	45
Gráfico 2.4 Proyección de la población de Puertecitos al 2045.....	45
Gráfico 2.5 Evolución de la población de San Felipe de 1930 al 2010 (INEGI).....	48
Gráfico 2.6 Proyección de la población de San Felipe al 2045.....	49
Gráfico 3.1 Producción de agua destilada Sistema DMG (Salmerón Vergara, 2012)	53
Gráfico 3.2 Horizonte Temporal para la instalación de módulos DMG para con distintos "Campo Turístico la Joya"	58
Gráfico 3.3 Horizonte Temporal para la instalación de módulos DMG para "Puertecitos".	58
Gráfico 3.4 Horizonte Temporal para la instalación de módulos DMG para "San Felipe".....	59
Gráfico 4.1 VPN para Campo Turístico la Joya en función del Número de Módulos.....	66
Gráfico 4.2 Flujos y Parámetros de Campo Turístico la Joya	67
Gráfico 4.3 Dependencia de la rentabilidad con respecto al precio del agua en Campo Turístico la Joya.....	69
Gráfico 4.4 Dependencia de la rentabilidad con respecto al costo de la DMG en Campo Turístico la Joya.....	70
Gráfico 4.5 VPN para Puertecitos en función del número de módulos	71
Gráfico 4.6 Flujos y Parámetros de Puertecitos.....	72
Gráfico 4.7 Dependencia de la rentabilidad con respecto al precio del agua en Puertecitos	73
Gráfico 4.8 Dependencia de la rentabilidad con respecto al costo de la DMG en Puertecitos	74

Gráfico 4.9VPN para San Felipe en función del número de módulos	75
Gráfico 4.10 Flujos y Parámetros de San Felipe.....	76
Gráfico 4.11 Dependencia de la rentabilidad con respecto al precio del agua.	77
Gráfico 4.12 Dependencia de la rentabilidad con respecto al costo de la DMG en San Felipe	78

Capítulo I: “Introducción”

El objetivo de este capítulo consiste en mostrar de manera general el contexto del análisis técnico-económico de la DMG con el fin de tener un mayor entendimiento del marco teórico que abarca este proyecto. De esta manera el trabajo se compone de tres ejes principales: la necesidad existente por el agua potable, una solución mediante la desalación del agua de mar, haciendo uso de energía geotérmica y la situación actual en cuanto a las tecnologías de desalación ya existentes

Así se mencionará la disponibilidad de agua potable que hay en el mundo y en México, haciendo énfasis de su importancia en la sociedad y la problemática existente en la actualidad debido a la su escasez.

También se presentarán los aspectos teóricos más relevantes sobre la geotermia, como lo son: su definición, clasificación, el trasfondo histórico y finalmente sus usos directos en el mundo y en México, destacando las zonas del país donde se encuentra el recurso.

Por último se explicarán las diversas tecnologías de desalación existentes actualmente y los sitios donde estas se están aplicando. Aquí nos enfocamos en introducir brevemente el funcionamiento de la DMG.

1.1 Importancia económica y social del Agua Potable

1.1.1 Disponibilidad del Agua Potable

Se estima que en el mundo existen aproximadamente 1,386 millones de km³ de agua, de los cuales 35 millones son de agua dulce, lo cual representa que el 97.5% del agua es salada y solo el 2.5% restante corresponde al agua dulce, sin embargo más del 69.5% de esta agua se localiza congelada y el 30.1% restante se encuentra en acuíferos subterráneos, estimando un 0.4% ubicada en ríos y lagos. (Food and Agriculture Organization, 2002)

En la actualidad la disponibilidad del agua en el mundo constituye una problemática ya que se ha visto limitada por problemas de sobredemanda y contaminación, además que no en todas las regiones abunda. Dicha problemática va en aumento a razón del incremento poblacional y con ello, crece la demanda del recurso, el cual es utilizado en diversos sectores. La población mundial se duplicará en los próximos 50 a 90 años, mientras que los recursos renovables de agua dulce permanecerán constantes. (Shiklomanov, 2010)

Actualmente, más del 6% de la población mundial vive en regiones de grave escasez de agua y se calcula que para el 2025 el 35% de los habitantes del planeta vivirá en países en situación de

absoluta escasez de agua¹. (Salmerón Vergara, 2012). En la Figura 1.1 se presenta la proyección al 2025 de la cantidad de agua dulce disponible para el consumo humano y servicios, la cual es grave en todo el mundo, pero resulta más crítica en las regiones cercanas a los trópicos.

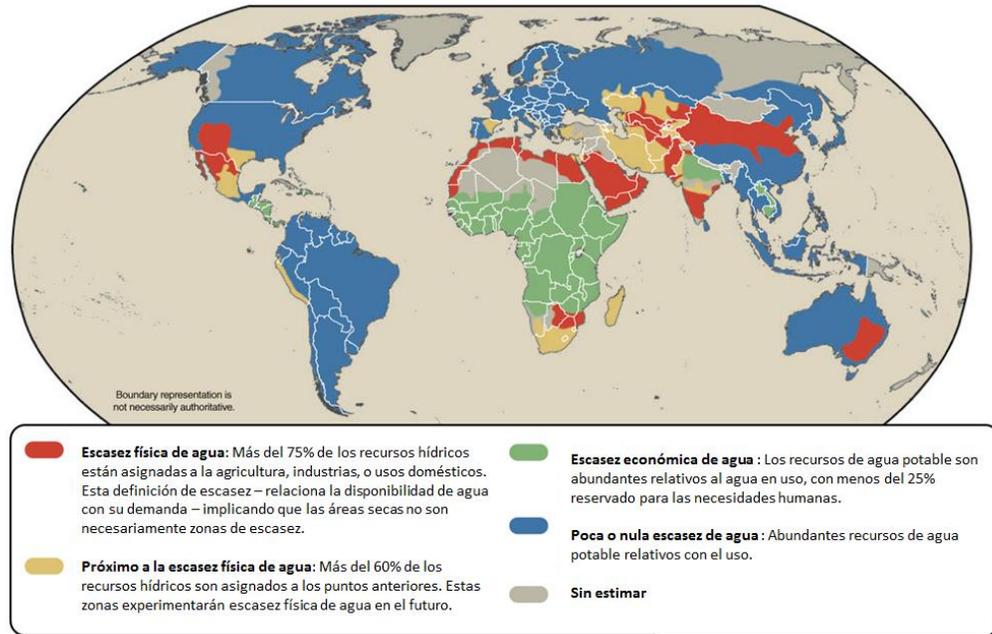


Figura 1.1 Escasez de agua proyectada para el 2025 (International Water Institute, 2007)

El sector que consume más agua en el mundo es el agrícola, que en algunos casos puede absorber hasta 80% del consumo de agua de un país. El segundo consumidor más importante es la industria, seguido por el consumo urbano, un fenómeno relativamente reciente es el consumo por pérdida (evaporación) de los embalses, sobre todo de aquéllos localizados en zonas áridas a elevadas temperaturas.

1.1.2 Disponibilidad de Agua en México

México es uno de los países con un marcado contraste respecto a la disponibilidad de agua a lo largo de su extensión territorial, sumando la sobreexplotación de acuíferos y los altos niveles de contaminación, tienen como consecuencia una distribución inequitativa de recursos hídricos. Como ejemplo de ello, en la región Norte, Centro y Noroeste del país la disponibilidad de este recurso es del 32% con una población del 77%, en tanto en la región Sur y Sureste se tiene una disponibilidad de 68%, con el 23% de población. En palabras claras, la cantidad de agua per cápita al año es de 1,835 m³ en el primer escenario y 13,290 m³ para la región Sur y Sureste (Nava, 2006). La paradoja es que, a pesar de que el agua como motor de desarrollo, no es un factor determinante para el progreso, esto se refleja en el sur del país, donde se encuentran la mayoría de las localidades con un grado de marginación alto o muy alto a pesar de contar a plenitud con el recurso hídrico. Tal

¹ Menos de 500 metros cúbicos por persona por año.

como lo muestra mapa de la República Mexicana dividido en el porcentaje de presión por el recurso hídrico² y el mapa fraccionado por el grado de marginación en la Figura 1.2

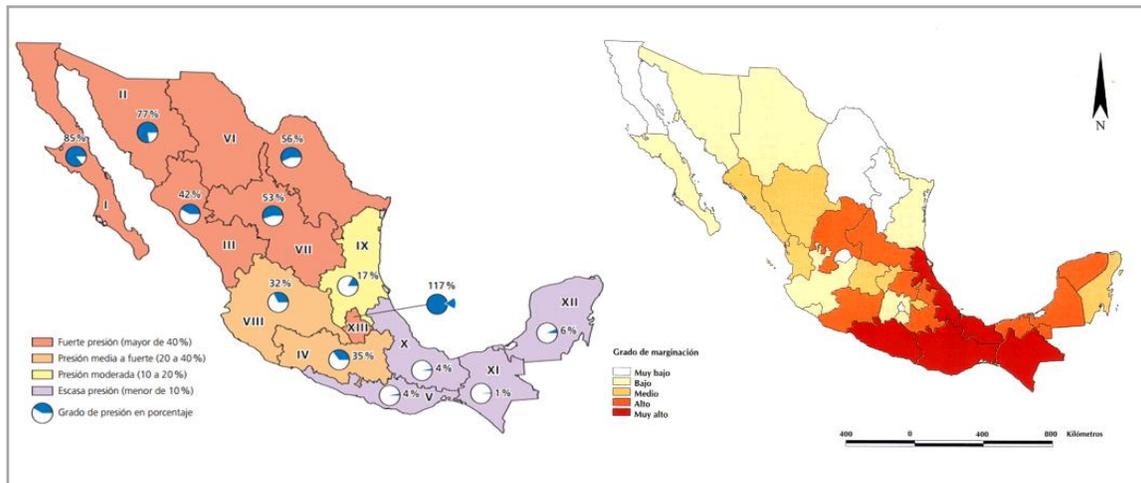


Figura 1.2 Grado de presión sobre el recurso hídrico en México & Grado de marginación (INEGI, 2010)

En la Figura 1.2 podemos observar que en la zona Metropolitana y la región norte de país existe una gran presión por tener el recurso hídrico, siendo esta un área de oportunidad para instalar la DMG en los mares del pacífico, con el fin de disminuir este grado de presión por el agua en el norte de la República.

La situación anterior cobra especial relevancia si se considera que la población de México se ha cuadruplicado en los últimos 55 años, pasando de 25 millones de habitantes –en el año 1950- a 112 millones en el año 2010, estimando que la población incrementará a 14.9 millones para el año 2030, siendo así menor la proporción de agua que puede poseer cada mexicano. Debemos tomar en cuenta que “la disponibilidad natural media per cápita³ ha disminuido de 9,880 m³/hab/año en 1970 a tan sólo 4,312 en el 2007, y una proyección a 3,822 m³/hab/año para el año 2025”, bajo este contexto, en las instancias gubernamentales se está viendo la manera de solucionar este problema de déficit de agua a través estrategias, una de ellas por medio de la desalinización. (Isiordia & Enríquez, 2012)

Cabe mencionar que en general, el 67% de la lluvia se presenta tan sólo cuatro meses del año, de junio a septiembre, y las precipitaciones son casi nulas en la zona norte del país como lo muestra la Figura 1.3. Los puntos anteriores dificultan el aprovechamiento del agua, obligando al uso eficiente del agua en todas las actividades. (Barrientos, 2009).

² El grado de presión sobre el agua se define como el cociente del volumen total de agua concesionado entre la disponibilidad natural media de agua.

³ Disponibilidad media per cápita es el resultado de dividir el valor nacional de agua entre el número de habitantes.



Figura 1.3 Distribución de la precipitación pluvial media mensual histórica en México (CONAGUA , 2007)

El uso de agua en México se distribuye en cuatro sectores principalmente: agrícola, abastecimiento público, termoeléctricas e industria autoabastecida; donde las actividades agrícolas acaparan más de la mitad del volumen total utilizado en el país, como lo muestra el Gráfico 1.1.

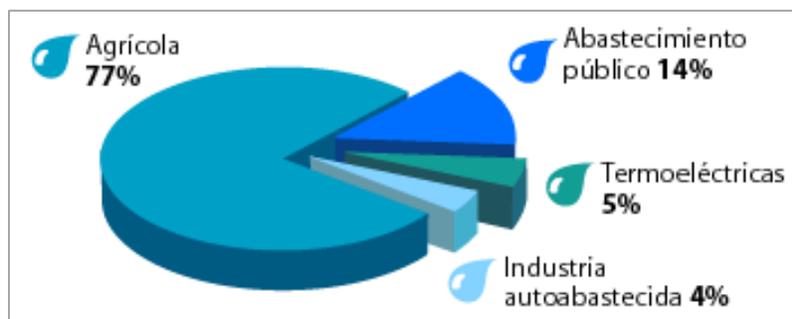


Gráfico 1.1. Usos del agua en México (SEMARNART, 2008)

En cuanto al uso Agrícola cabe mencionar que aproximadamente 69% del agua empleada es proveniente de los acuíferos, esta dependencia enfrenta problemas crecientes debido a la sobreexplotación de los mismos. Los costos de extracción de agua se han venido incrementando, ya que los pozos son cada vez más profundos y se requieren motores de mayor potencia y consumos crecientes de energía eléctrica, provocando un costo de cultivo mayor para agricultura.

1.1.3 La Importancia del Agua en la Sociedad.

En las civilizaciones primitivas, el agua desempeñaba un papel relativamente simple. Servía para el transporte y para beber, y ofrecía posibilidades de pesca y caza. Con el transcurso del tiempo, surgieron las sociedades agrícolas sedentarias, y el agua adquirió mayor importancia. Las familias

comenzaron a asentarse cerca de los manantiales, lagos y ríos a fin de disponer de agua para el ganado y los cultivos, y poco a poco fueron desarrollando técnicas para desviar el agua con fines domésticos y de riego. Imperios como el babilónico, el egipcio, el hitita, el griego, el etrusco, el romano, el chino, el maya y el inca construyeron sistemas de abastecimiento -como los largos acueductos- para transportar agua a las grandes ciudades. De hecho, hasta mediados del siglo XX, la mayoría de las sociedades pudieron satisfacer sus crecientes necesidades de agua mediante la captación de fuentes seguras y relativamente baratas. (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación, 1992).

Sin embargo se ha demostrado que en la actualidad, a pesar de que el agua es un gran motor de desarrollo social, esta no influye en el crecimiento económico de una localidad, como es el ejemplo del norte y sur de México. A pesar de esto, el agua tiene tres componentes que lo hacen un recurso importante, vital y valioso, los cuales son: el componente ambiental, el social y el económico.

Valor ambiental: El valor ambiental del agua, implica el mantenimiento de servicios tales como producción de alimentos, la purificación del aire, la regulación de la lluvia, el reciclaje de nutrientes, mantenimiento del paisaje y otros que no pueden ser replicables por la tecnología y que en su conjunto garantizan la vida del ecosistema (Enkerlin y Mier,1997).

Valor social. Numerosos documentos de carácter internacional se refieren al agua como un bien social. Ello se debe a que, cuando la gente tiene acceso al agua, se produce una serie de externalidades positivas que inciden en la calidad de vida de la sociedad. Entre los beneficios más importantes que aporta la provisión de agua limpia están: la reducción de los costos de salud, la posibilidad de mejora en las condiciones de vida, la recreación, la reducción de conflictos entre zonas con y sin agua.

Valor económico. El valor económico del agua tiene que ver con el hecho de que es un recurso finito, limitado y al que, por lo mismo, la sociedad le da un uso competitivo. La competencia por el agua ocurre entre comunidades, entre sectores económicos, así como entre estados y países. El valor económico del agua es un instrumento que sirve para decidir en qué actividad es más rentable realizar inversiones de capital. Al tratarse el agua como un bien económico se puede seleccionar el acceso a ella conforme a la eficiencia económica del uso que le den los distintos grupos sociales. En contraste, a medida que se vuelve más demandada aumenta su precio para la sociedad y, por lo mismo, crece la necesidad de hacer un uso más racional de ella.

Es importante señalar que el objetivo inalcanzado de asignarle un precio de mercado al agua no se refiere solamente a su tarifa específica para alguno de sus usos, sino a la suma de recursos que como sociedad destinamos a satisfacer nuestra demanda de agua limpia. En México ciertos sectores de la población pagan cualquier precio para tener acceso al agua potable. Prueba de ello es el precio que se paga por una pipa de agua o por un litro de agua embotellada. Esta situación, entre otras, ha determinado que exista una fuerte resistencia a que se establezca un verdadero mercado de derechos de uso del agua, con regulaciones transparentes.

El precio del agua es insensible al nivel de ingreso de las personas. La gente que vive en condiciones marginadas se ve, generalmente, obligada a pagar mayores precios por el agua, debido a que carece de los servicios y tiene que obtener el agua por medio de pipas. El precio promedio del agua en una toma domiciliaria es de dos pesos por metro cúbico, mientras que el precio promedio del metro cúbico comprado en una pipa es, al menos, de 40 pesos. Sin embargo, quienes comercializan el agua en pipas argumentan que el sobrepeso se debe al costo del transporte. (Universidad Autónoma de Zacatecas, s.f.)

Adicionalmente, es prudente reconocer que el precio y la tarifa del agua difieren de región en región, de acuerdo con el grupo social, y que, además, evoluciona con el paso del tiempo. Es común que en el norte del país, donde el agua es limitada, las personas estén dispuestas a pagar elevadas cuotas de agua. Por el contrario, en el sur, donde es abundante, las tarifas de agua son en algunos casos insignificantes. Esto es porque “el precio está fundamentalmente determinado por tres factores: el costo del transporte desde la fuente al usuario; la demanda total de agua y los subsidios al precio final. El tratamiento para eliminar los contaminantes también puede incrementar su costo”. (Fernando & Reyna, 2010). En el Gráfico 1.2 se muestra como difieren las tarifas de cargos fijos⁴, cuota de agua potable y drenaje en distintos puntos de la República.

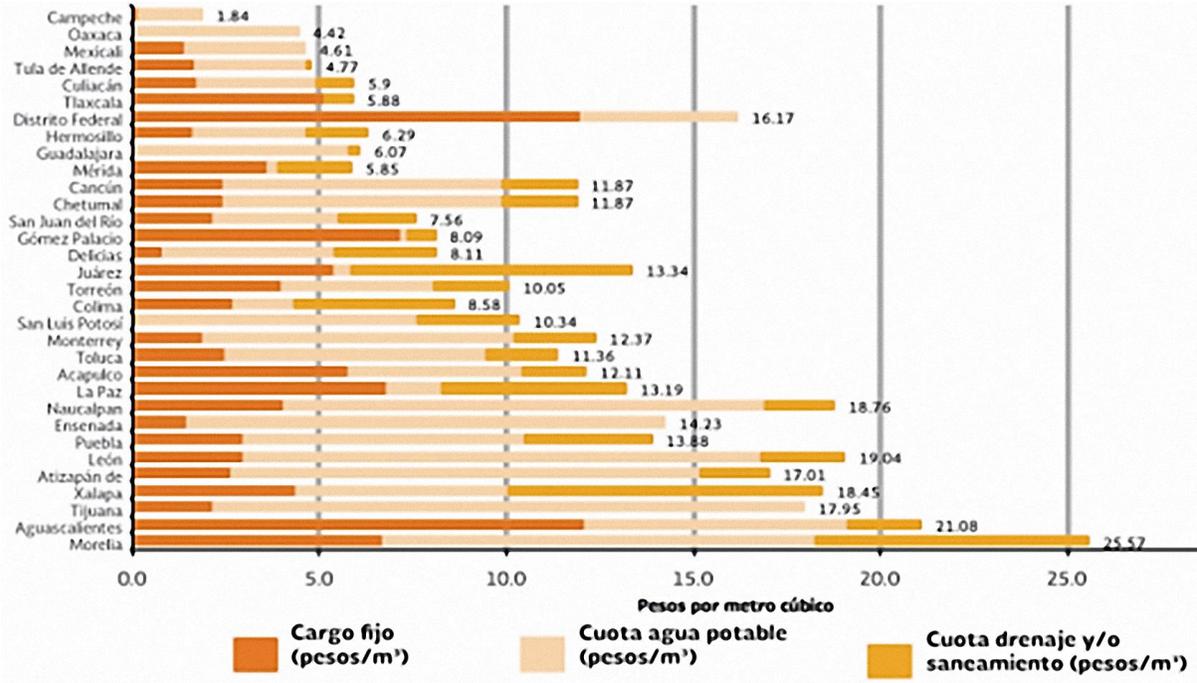


Gráfico 1.2 Tarifas domésticas de agua potable en las principales ciudades de México. (CONAGUA, 2015)

4 El cargo fijo mensual corresponde al pago que cada usuario hace a la empresa de servicios públicos para cubrir los gastos administrativos en que ella incurre para garantizar que el servicio esté disponible permanentemente. (CONAGUA, 2010)

La situación del agua actual atenta contra la supervivencia. De hecho el consumo inadecuado del agua puede resultar en la muerte, ya que el ganado no puede crecer y la tierra no puede ser cultivada en una civilización sin agua. Esto quiere decir que no existiría comida sin el vital líquido. Entre más difícil sea el acceso al agua, mayor será el costo de la comida y demás bienes; para darnos una idea de la importancia del agua, en la Tabla 1.1 se muestra el agua necesaria para la producción de algunos productos.

Productos primarios	Litros	Productos en fábricas	Litros
1 papa (100g)	25	1 hamburguesa	2,400
1 kg de trigo	1,300	1 vaso de cerveza (250 ml)	75
1 jitomate (70 g)	13	1 vaso de leche (250 ml)	200
1 huevo (40 g)	135	1 par de zapatos (cuero)	8,000
1 kg de carne de vaca	15,500	1 playera de algodón (mediana, 500 g)	4,100

Tabla 1.1 Cantidad de agua utilizada para la producción de un bien (SEMARNART, 2008)

Con base en las cantidades obtenidas en la Tabla 1.1 podemos hacer una relación entre el agua y la producción de alimentos en las zonas en donde escasea el agua. Por ejemplo, en Baja California la producción de trigo es de aproximadamente de 485,070 toneladas anuales y 1623,245 de jitomate respectivamente (INEGI, 2014), para lo cual se requieren alrededor de 660,738 millones de litros de agua para sostener esta producción. Con estas cifras podemos darnos cuenta de la magnitud de agua que se requiere para satisfacer la producción de solamente dos cultivos. Ahora al tomar en cuenta todas las necesidades de la población, la cantidad de agua requerida para ello resulta insuficiente, provocando así graves problemas de escasez.

“Bajo esta problemática, se han buscado soluciones para aportar agua en un corto y mediano plazo, si bien no la podemos obtener de forma directa; si por medio de tecnologías que el hombre ha diseñado, con la finalidad de darle solución al problema. La desalinización se vislumbra como una tecnología viable que aporta agua al ciclo hidrológico.” (Isiordia & Enríquez, 2012).

Como se ha mencionado el uso de agua para la producción agrícola es la que más demanda el recurso y resulta ser muy importante para el desarrollo social, sin embargo debe tomarse en cuenta que el abasto agua potable para uso doméstico es un servicio de primera necesidad, ya que esta se ocupa para satisfacer necesidades básicas como lo son: aseo personal, limpieza del hogar, cocinar, entre otros. Por esto dicho servicio cual está directamente relacionado con la calidad de vida de cualquier comunidad, por lo que al carecer de este se incurre en una falta de bienestar social.

1.2Ciclo hidrológico.

El ciclo hidrológico o ciclo del agua es un proceso biogeoquímico mediante el cual se realiza el abastecimiento de agua para las plantas, animales y el hombre. Se considera como un ciclo debido

a que cada gota de agua recorre un circuito cerrado, el cual puede llevarse a cabo mediante diversas vías. Convencionalmente el ciclo considera la nube como elemento de origen y fin del ciclo.

La atmósfera comprende al agua en forma de vapor y nube, proveniente casi en su totalidad de aguas marítimas. Estas son transportadas por varias corrientes de vientos hasta su el lugar de su precipitación la cual puede ser en forma líquida, sólida o condensada. Desde la precipitación una parte del agua puede iniciar su retorno a la atmósfera al evaporarse sin llegar a tocar el suelo, otra cae en superficies líquidas o terrestres donde el agua se escurre y filtra.

El agua que llega al suelo será la que recorra completamente el ciclo hidrológico. Una porción de esta agua se evapora directamente desde el suelo, otra se infiltra a través de la tierra, abasteciendo el flujo subsuperficial de ríos subterráneos y llegando a mantos acuíferos o a ríos superficiales a través de manantiales. El escurrimiento superficial, flujo subsuperficial y subterráneo que descargan en los cauces constituyen el agua de escurrimiento, que a través de los ríos llega al mar. En la Figura 1.4 se ilustra gráficamente el ciclo hidrológico.

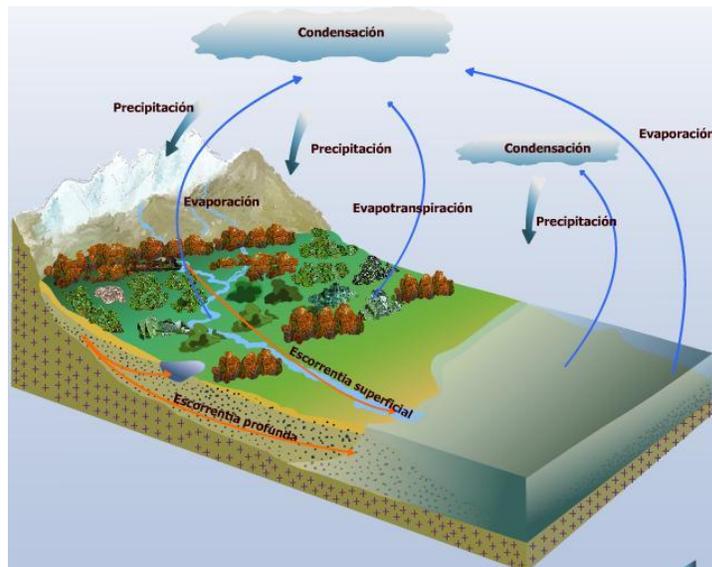


Figura 1.4 Ciclo hidrológico (Universidad Complutense de Madrid, 2010)

De igual manera puede considerarse dentro del ciclo el agua que es absorbida por las raíces de flora, que por el proceso de transpiración vegetal, vuelve a la atmósfera en estado gaseoso. También los animales son partícipes dentro del ciclo a través del agua que toman y expulsan. Al final cualquiera que sea la fase del ciclo hidrológico que se considere, retornará a la atmósfera por medio de evaporación. (Maderey Rascón, 2005)

1.2.1 Aguas renovables en México.

En cuanto al ciclo del agua en nuestro país se tiene que “que el 73.1% se evapotranspira y regresa a la atmósfera, solo el 21.1% escurre por los ríos y arroyos, mientras que el 4.8% restante se infiltra al subsuelo de forma natural y recarga los acuíferos. Tomando en cuenta las exportaciones e importaciones de agua con los países vecinos, así como la recarga incidental, el país cuenta con 462

mil millones de metros cúbicos de agua dulce renovable, por año, a lo que se denomina disponibilidad natural media”. (CONAGUA, 2012). Dicha disponibilidad natural media difiere dependiendo las Regiones hidrológico-administrativas, siendo menor en las regiones oeste y norte del país, tal como lo muestra la Figura 1.5-

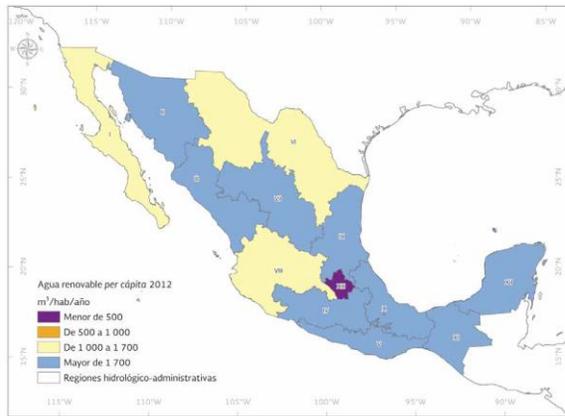


Figura 1.5 Agua renovable per cápita, 2012. (CONAGUA, 2012)

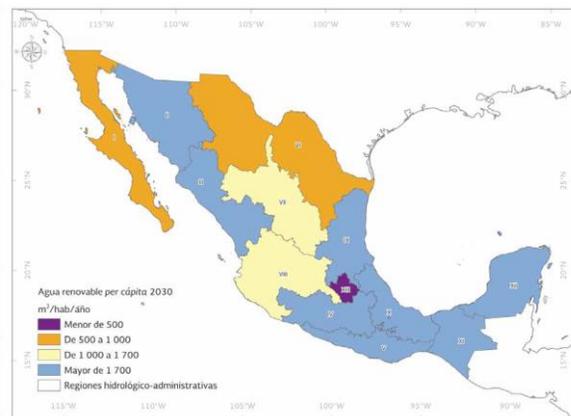


Figura 1.6 Proyección del agua renovable per cápita, 2030 (CONAGUA, 2012)

Es conveniente enunciar que la disponibilidad media per cápita de agua a nivel nacional disminuye a través del tiempo, debido al aumento poblacional; esto resulta evidente al hacer la comparación entre el agua renovable disponible per cápita del año 2012 (Figura 1.5) y su correspondiente proyección al año 2030 (Figura 1.4) donde notamos una fuerte disminución del recurso en hidrológica I Península de Baja California y la Región VI Río Bravo

Con esta información podemos darnos cuenta que el simple uso del agua renovable no será suficiente para cubrir las necesidades de la población que tiende a crecer y el recurso permanece prácticamente constante, es por eso que se requiere explorar diversos métodos para la obtención del agua sin que tenga que pasar el ciclo hidrológico natural. Además de que se debe prestar mayor atención a las regiones del norte del país donde se mostró que el recurso es escaso.

1.3 Geotermia en el Mundo y en el México.

1.3.1 Geotermia.

La palabra *geotermia* proviene del griego y deriva de “geos” que significa tierra, y de “thermos” que quiere decir *calor*: el calor de la tierra. La gran mayoría de este calor es generado por el material fundido denominado magma, el cual pocas veces llega a la superficie y se acumula a profundidades

de 5 y 10 kilómetros, en donde suele calentar grandes regiones de roca o reservorios de fluidos confinados, los cuales dan origen a la formación de sistemas geotérmicos. (Busby, 2015)

Para comprender la naturaleza de la energía geotérmica es importante conocer lo que es un sistema geotérmico y que sucede en dicho sistema.

1.3.2 Sistemas Geotérmicos y su clasificación.

Un sistema geotérmico puede ser descrito esquemáticamente como “agua convectiva en la corteza superior de la Tierra la cual, en un espacio confinado, transfiere energía calorífica desde una fuente de calor hasta una abertura, usualmente la superficie libre” (HOCHSTEIN, 1990). Un sistema geotérmico está constituido por 3 elementos principales:

- Una fuente de calor: La fuente de calor puede ser tanto una intrusión magmática a muy alta temperatura ($> 600^{\circ}\text{C}$), emplazada a profundidades relativamente someras (5-10 km) o bien, como un sistema de baja temperatura donde el gradiente geotérmico norma el calor.

- Un reservorio o acuífero: Un reservorio es un volumen de rocas permeables⁵ y de alta porosidad a muy altas temperaturas, del cual los fluidos atrapados en las cavidades o los circulantes extraen el calor.

Generalmente el reservorio está cubierto por rocas impermeables y con baja porosidad. Como resultado de la actividad hidrotermal, por la deposición de minerales de la disolución, fundamentalmente sílice y está conectado a un área de recarga superficial a través de la cual el agua meteórica puede reemplazar los fluidos que se escapan del reservorio a través de las fuentes termales o que son extraídos mediante pozos.

- Un fluido: es el medio que transfiere el calor. El fluido geotermal es agua en la mayoría de los casos de origen meteórico, ya sea en la fase líquida o en la fase vapor, dependiendo de su temperatura y presión. Esta agua a menudo contiene sustancias químicas disueltas y gases tales como CO_2 , H_2S , etc.

- Manifestación superficial: Es aquella presencia en la superficie de fluidos geotérmicos que se escapan de zonas profundas a través de fallas o fisuras en las rocas. Esto ocurre debido a que el agua caliente en la profundidad es más ligera que el agua fría localizada en las rocas circundantes, por esta razón, el agua con alta temperatura tiende a desplazar al agua fría generando un movimiento convectivo hasta la corteza terrestre.

⁵ La permeabilidad es la medida de la capacidad de las rocas para transmitir fluidos como resultado de las diferencias de presión. El flujo toma lugar en los poros, entre los granos minerales y en los espacios creados por fracturas y fallas.

La Figura 1.7 describe esquemáticamente el mecanismo en el caso de un sistema hidrotermal de temperatura intermedia.

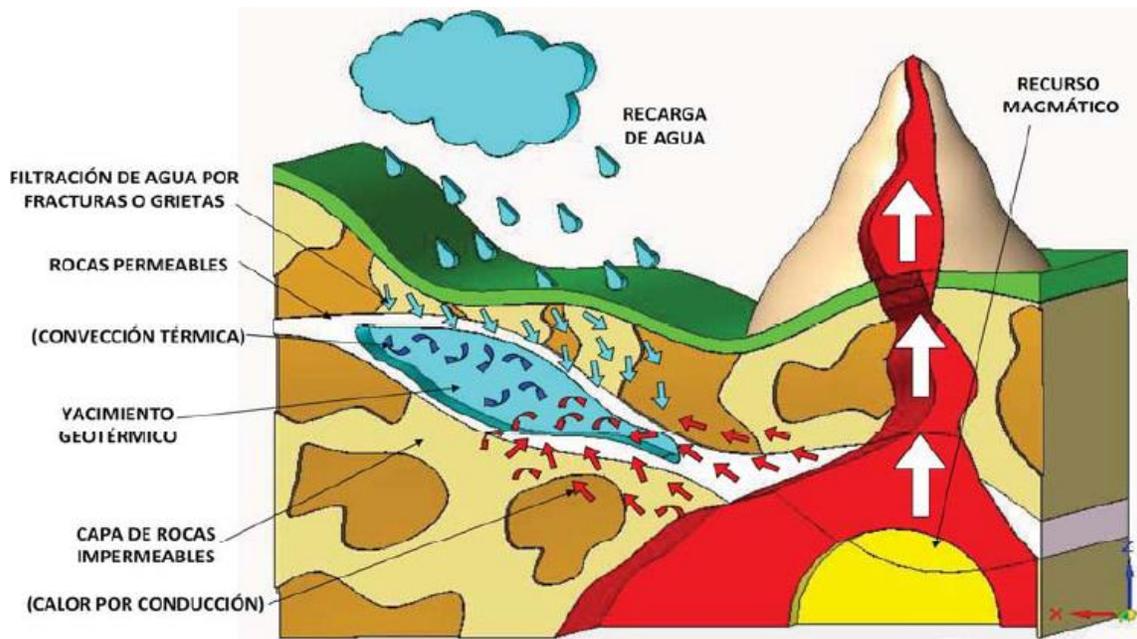


Figura 1.7 Esquema de un Sistema Geotérmico (Flores Alarcón, 2012)

La clasificación de los recursos geotérmicos basada en la entalpía de los fluidos geotermales es la más popular y una de las que más se emplea en la industria. (Tabla 1.2). La entalpía puede considerarse más o menos proporcional a la temperatura, y se utiliza para expresar el contenido de calor (capacidad calorífica) de los fluidos, dando una idea de su “valor”. De esta manera, los recursos geotérmicos se han clasificado en:

Recursos Geotérmicos	Muffer y Cataldi (1978)	Hochstein (1990)	Benderitter y Cormy (1990)	Nicholson (1993)	Axelsson y Gunnlaugsson (2000)
Baja Entalpía [°C]	<90	<125	<100	≤150	≤190
Media Entalpía [°C]	90-150	125-225	100-200	-	-
Alta Entalpía [°C]	>150	>225	>200	>150	>190

Tabla 1.2 Clasificación de los Recursos Geotérmicos (AGM, 2014).

De acuerdo a la Tabla 1.2, en este trabajo utilizaremos la definición de “Benderitter y Corny” para referirnos a los recursos geotérmicos de baja entalpía.

Para poder clasificar los distintos tipos de yacimientos geotérmicos se deben tomar en cuenta diversos aspectos de gran relevancia como la naturaleza del ambiente geológico donde están ubicados, el mecanismo y el régimen de la transferencia de calor, el tipo y características del recurso geotérmico que poseen. Bajo estas premisas se han propuesto las siguientes categorías enunciadas en la Tabla 1.3: (Alvarado, 2010).

Tipos de Recursos Geotérmicos					
Tipo	Fluidos Naturales	Subtipo	Temperatura	Uso	
				Actual	Potencial
Convectivo Hidrotermal	Si	Continental	A, I, B	Eléctrico, usos directos	
		Submarino	A	Ninguno	Eléctrico
Conductivo	No	Somero (<400m)	B	Directos (y GHP)	
		Roca seca caliente (EGS)	A, I	Prototipos	Eléctrico, directos
		Cuerpos de magma	A	Ninguno	Eléctrico
Sistemas Acuíferos Profundos	Si	Acuíferos hidrostáticos	A, I, B	Directos	Eléctrico, directos
	Geopresurizado				

Tabla 1.3 Tipos de recursos Geotérmicos. (AGM, 2014)

Notas:

Temperatura: A (Alta): >180°C, I (Intermedia): 180-100°C, B (Baja): <100°C.

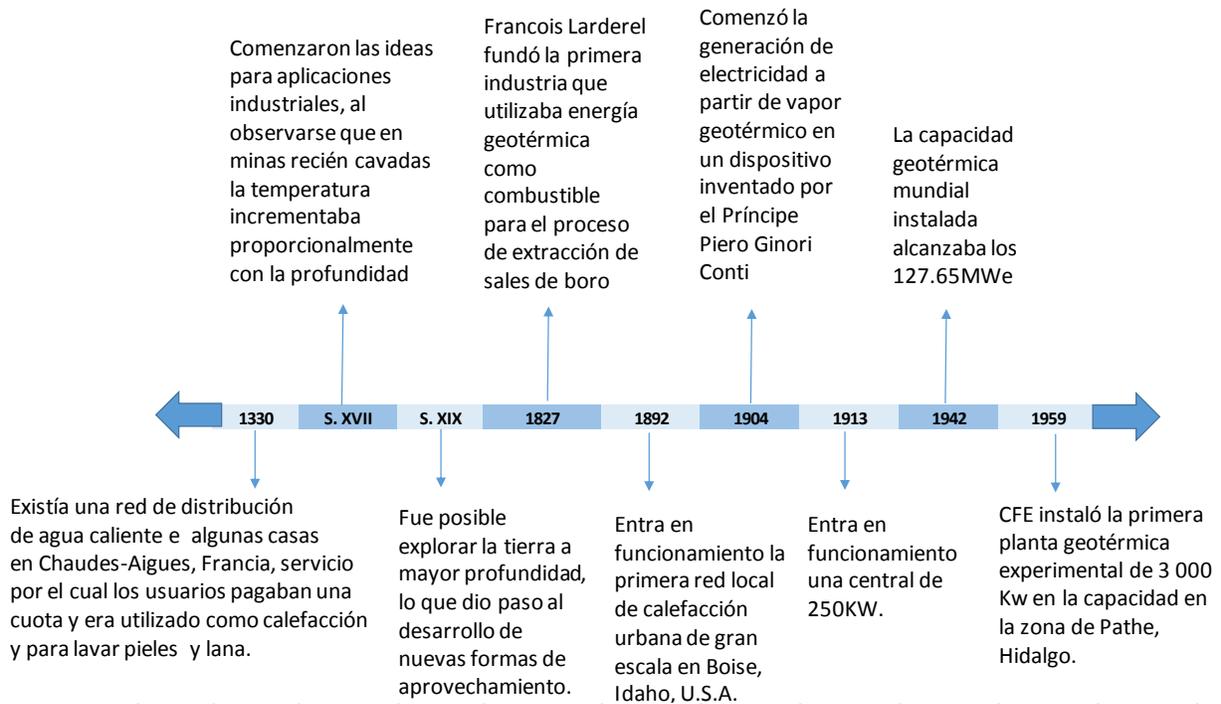
EGS: Sistemas Geotérmicos Mejorados o Artificiales (Enhanced Geothermal Systems).

GHP: Bombas de Calor Geotérmico (Geothermal Heat Pumps).

Los yacimientos geotérmicos con los que trabaja la DMG son los convectivos hidrotermales continentales, ya que estos cuentan con entalpía baja y se utilizan fluidos naturales.

1.3.3 Historia de los usos de la geotermia

Para saber más acerca de la geotermia es importante conocer la historia de la misma, es por eso que en la siguiente línea de tiempo se muestra un breve resumen de los acontecimientos más importantes en el desarrollo de la geotermia.



(Lund, 2004)

1.3.4 Geotermia en el Mundo

Aunque la Tierra se encuentra en un proceso de enfriamiento muy lento y solo una porción de su energía puede ser aprovechada, la energía geotérmica es una fuente energética pequeña, ya que está presente a lo largo de todo el planeta en diferentes escalas y rangos de temperatura dependiendo de la geología de la zona, teniendo la distribución del recurso como se muestra en la Figura 1.8.



Figura 1.8 Zonas mundiales con mayor actividad geotérmica (Vicente Marín, 2014)

En la Figura 1.9 podemos notar que en México existe un gran potencial geotérmico, estando entre los cinco primeros productores de energía eléctrica a través de geotermia, pero se sabe que se cuenta con una muy baja capacidad instalada para los usos directos. (Pérez., 2007)

En seguida en la Figura 1.6 se muestran algunos datos correspondientes al aprovechamiento de la energía geotérmica en el mundo.

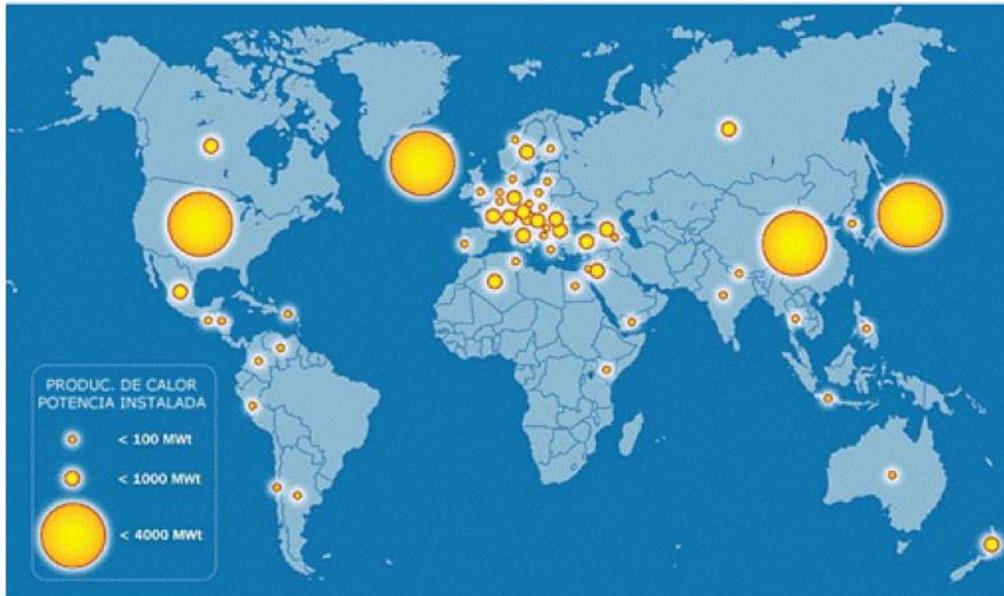


Figura 1.9 Producción de calor por países (Llopis Trillo & Angulo, 2011)

Comparando la Figura 1.8 con la Figura 1.9 podemos observar que la explotación del recurso geotérmico no es proporcional a la cantidad de zonas que cuentan con este tipo de energía. Por ejemplo en México existe una gran extensión de regiones geotérmicas, sin embargo, su aprovechamiento no es tan alto como el que existe en China que cuenta con menos zonas propicias para la explotación geotérmica.

Cabe mencionar que las aplicaciones de la energía geotérmica son muy variadas, y su uso depende directamente del potencial energético del fluido contenido en los distintos tipos de yacimientos y sus características. En la Figura 1.7 se aprecian las principales aplicaciones del recurso geotérmico en relación con su temperatura, donde se puede observar que gran parte de los usos se llevan a cabo a una temperatura menor a 100 °.

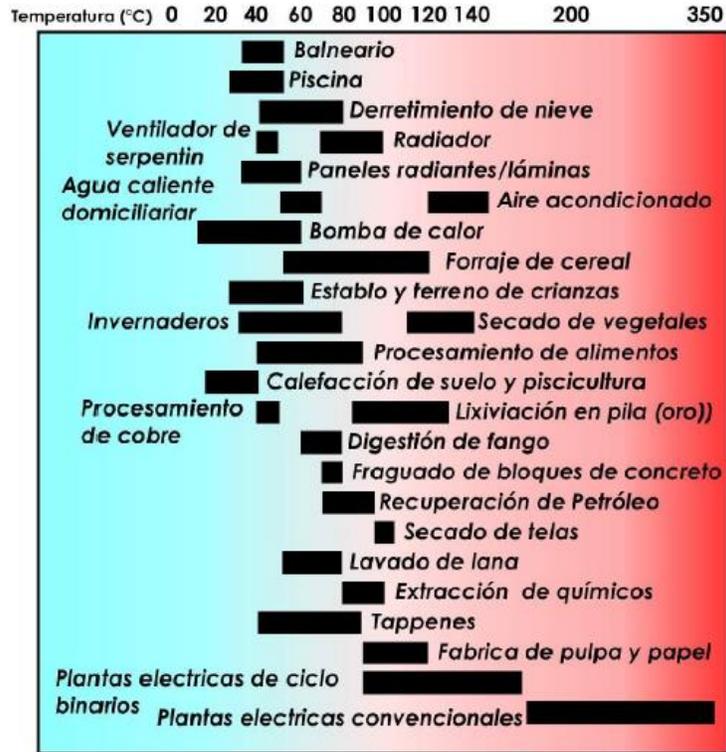


Figura 1.10 Principales aplicaciones de la energía geotérmica de acuerdo a la temperatura del recurso (Llopis Trillo & Angulo, 2011)

Los principales usos a nivel mundial que se le da al recurso geotérmico son las bombas de calor, balneología, y calefacción; siendo prácticamente nulo el aprovechamiento para la desalación de agua de mar como se puede corroborar en la Figura 1.10.

En el Gráfico 1.3 se muestra la distribución por sector del uso directo de la energía geotérmica a nivel mundial.

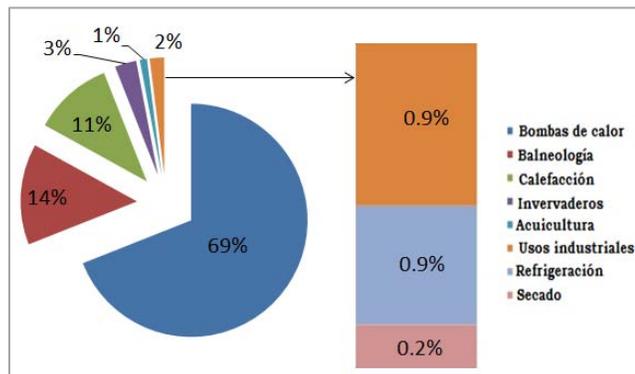


Gráfico 1.3 Distribución mundial de energía geotérmica instalada (Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía, 2008)

Cabe mencionar que este recurso energético se considera como limpio y renovable puesto que el calor proveniente del interior de la tierra es ilimitado para la vida humana.

1.3.5 Geotermia en México

“La mayor parte del territorio mexicano (excepto la Península de Yucatán) está caracterizado por una gran actividad tectónica y volcánica que ha tenido lugar desde hace varias decenas de millones de años hasta el presente. Esta actividad invariablemente ha dejado su huella a lo largo de todo el país en forma de sistemas volcánicos y sistemas hidrotermales, tanto fósiles como activos.” (Panczer, 2007)

La presencia de estos recursos se extiende por todo el país, siendo especialmente abundante en su parte central. La Comisión Federal de Electricidad ha establecido la existencia de más de mil manifestaciones termales a lo largo del territorio Mexicano como se muestra en la Figura 1.11; de las cuales sólo una minoría son los sistemas capaces de generar energía eléctrica. Las demás zonas que se tiene registradas son empleadas como balnearios y actualmente se pretende desarrollar nuevas formas, más eficientes de explotar las abundantes zonas de la República, como lo son la desalación en zonas costeras.



Figura 1.11 Recursos Geotérmicos de México (Arellano Gómez & Bazán Navarrete, 2011)

México, al ser un país pionero en el aprovechamiento de recursos geotérmicos, tiene una amplia experiencia en la explotación de sistemas hidrotermales. Sin embargo, se deben hacer todavía esfuerzos para optimizar el aprovechamiento de estos recursos, además de la urgente necesidad de desarrollar tecnología para explotar los usos directos de la energía geotérmica. (Torres Alvarado & Santoyo Gutiérrez, 2010)

1.4 Tecnologías de Desalación.

1.4.1 Panorama General de los sistemas de desalación.

La desalación es un proceso que separa las sales y minerales que se encuentran en un flujo de agua de alimentación y se obtienen dos corrientes de salida, una de éstas es el producto, el cual se caracteriza por una baja salinidad y la otra corriente es la salmuera, que contiene una alta concentración de sales. (UNAM, 2012)

Cuanto mayor es la salinidad del agua de alimentación y mayor es la pureza del agua que se obtiene como producto, mayor es la energía necesaria en el proceso de desalación. La salinidad se define de acuerdo a los sólidos totales disueltos o TDS por sus siglas en inglés (Total Dissolved Solids). Esto se mide en miligramos por litros (mg/l) o partes por millón (ppm). Las dos unidades son generalmente intercambiables en las soluciones diluidas, aunque ppm se usa más comúnmente. En la Tabla 1.4 se muestran los rangos de salinidad de los diferentes tipos de agua.

Tipo de Agua	Salinidad TDS (mg/L)
Ultrapura	0.03
Pura	0.3
Desionizada	3
Potable	<1,000
Salobre	1,000 - 10,000
Salina	10,000 - 30,000
Marina	30,000 - 50,000

Tabla 1.4 Salinidad de diferentes tipos de agua (Dévora Isiordia & González Enriquez, 2012)

Para llevar a cabo el proceso de desalación se requiere que el agua de alimentación tenga un pre-tratamiento para eliminar impurezas, en seguida se realiza la separación del producto y salmuera. Por último al producto obtenido se le da un pos-tratamiento, el cual dependerá del uso que tenga posteriormente. Cabe recalcar que si bien el agua potable tiene menos de 1,000 ppm se considera óptima en un rango de 200 a 400 ppm.

En la Figura 1.12 se muestra un esquema de los componentes principales de un sistema de desalación convencional.

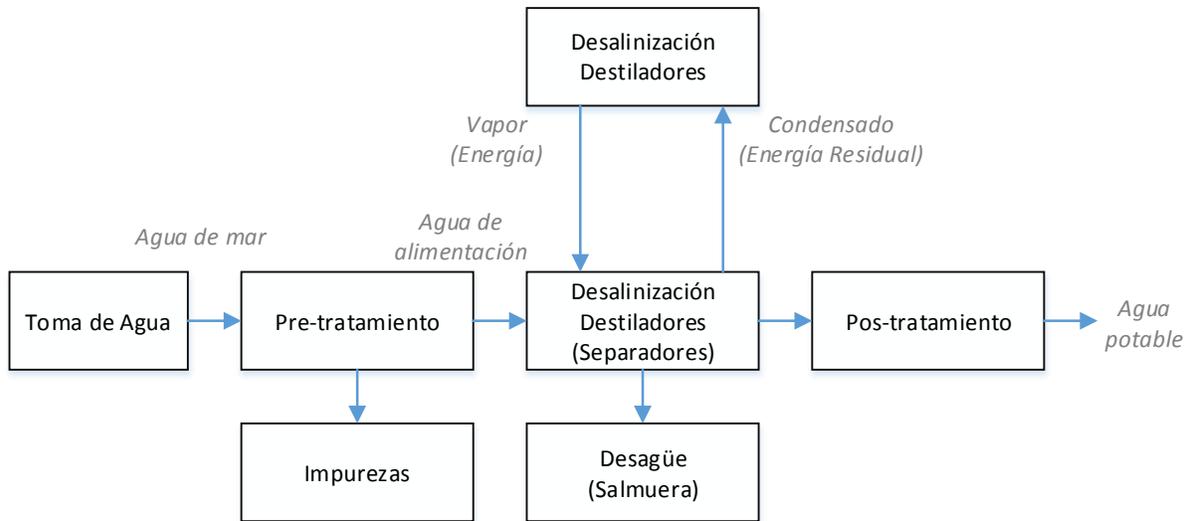


Figura 1.12 Componentes de un Sistema de Desalación convencional de cambio de fase (Salmerón Vergara, 2012)

Las principales tecnologías de desalación utilizadas en el mundo, se pueden clasificar dentro de dos grandes grupos: por cambio de fase o monofásicos. Sus diversos procesos necesitan de energía mecánica o térmica, e incluso ambas, se desglosan como se ilustra en la Figura 1.13

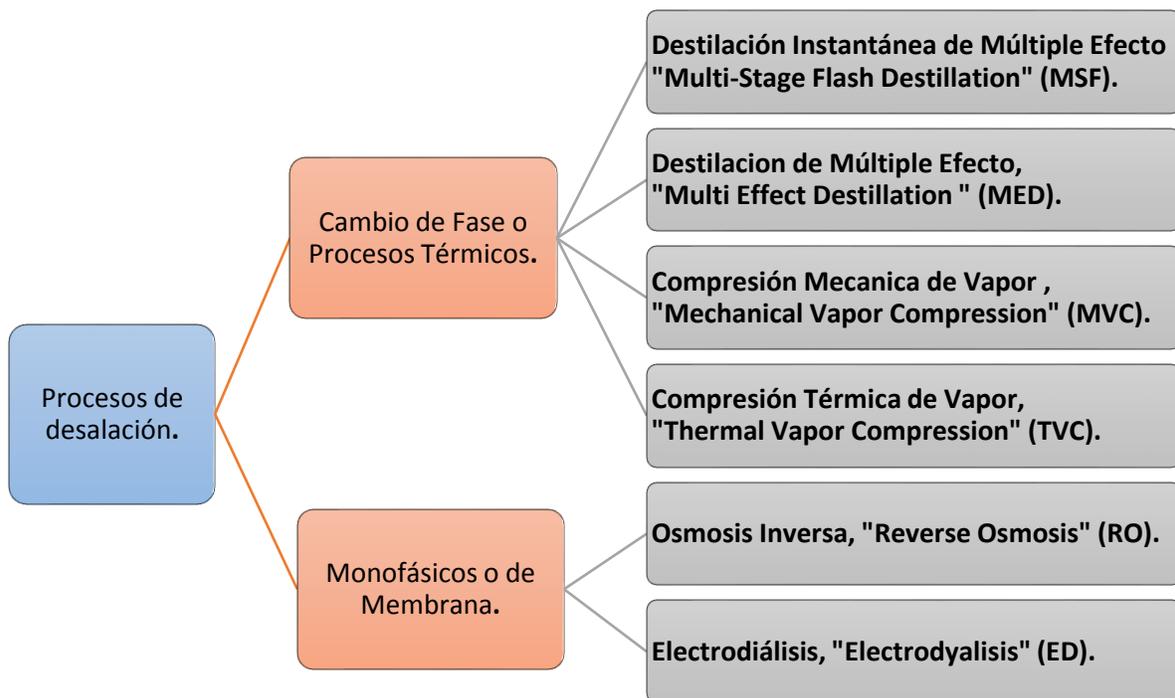


Figura 1.13 Clasificación principal de procesos de desalación y subcategorías (Al-Karaghoulí & Kazmerski, 2011)

Del amplio abanico de plantas que desalan agua, casi el 53% son plantas de Osmosis Inversa (RO), un 25% utilizan la tecnología MSF, un 8% la tecnología MED y un 3% emplean electrodiálisis (ED), las restantes tecnologías se pueden encontrar sistemas híbridos que integran procesos de membranas con los de cambio de fase. A su vez existen otros sistemas menos empleados que se encuentran en desarrollo e investigación, como lo son los de compresión de vapor, ya sea mecánico o térmico (MVC, TVC); ósmosis Inducida (FO), destilación por membranas (MD), deionización capacitiva (CDI), congelación, humidificación/deshumidificación (HDH) y la destilación solar. (Eltawil, 2009).

En lo que concierne a la desalación de agua de mar, cerca del 62% se realiza a través de procesos de cambio de fase, es decir unidades bajo el funcionamiento de configuraciones MED - MSF en un 12%, un 34% a través de ósmosis inversa, el resto empleando tecnologías distintas. (DME, 2009).

Para tener una visión general sobre la trascendencia de los sistemas de desalación en el mundo, se presenta el Gráfico 1.5 donde se muestra el crecimiento de la capacidad instalada del año de 1980 al 2009, observándose una marcada tendencia exponencial entre los años 1997 a 2009 incrementándose hasta en cinco veces la capacidad requerida, alcanzando una capacidad de 59.9 millones de m³/día, y al 2013 llegó a una capacidad de 80.9 millones de m³/día. Lo cual demuestra que existe un incremento de la demanda del agua potable y que los sistemas de desalación han sido utilizados para cubrir esta necesidad. De las unidades que purifican la cantidad de agua antes citada, el 63% ocupa agua de mar, el 19% agua salobre, el 5% agua de deshecho, un 8% agua de cauces naturales y las demás purifican agua potable de la red. (DME, 2009). En el Gráfico 1.5 se ilustra el crecimiento de la desalación de agua a nivel mundial.

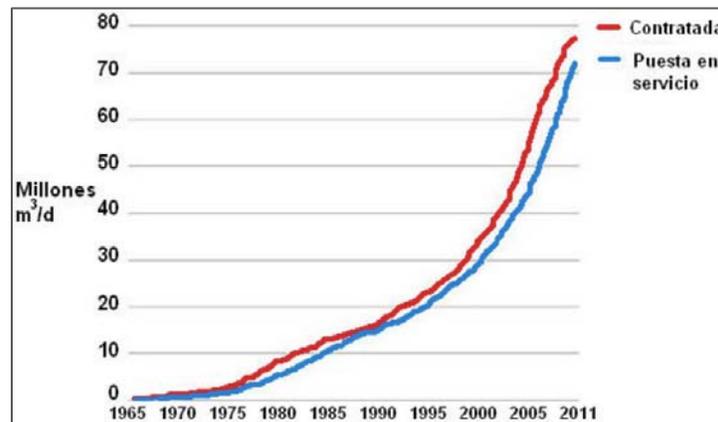


Gráfico 1.4 Capacidad instalada a nivel mundial (Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía, 2008)

Durante el surgimiento de la desalación comercial, países europeos y norteamericanos eran los que dominaban el mercado de la desalación, posteriormente en los años ochenta, fueron los países árabes y japoneses quienes dominaron esta área. En la actualidad son los países Árabes son quienes generan la mayor cantidad de agua destilada. Esto se muestra en el Gráfico 1.5.

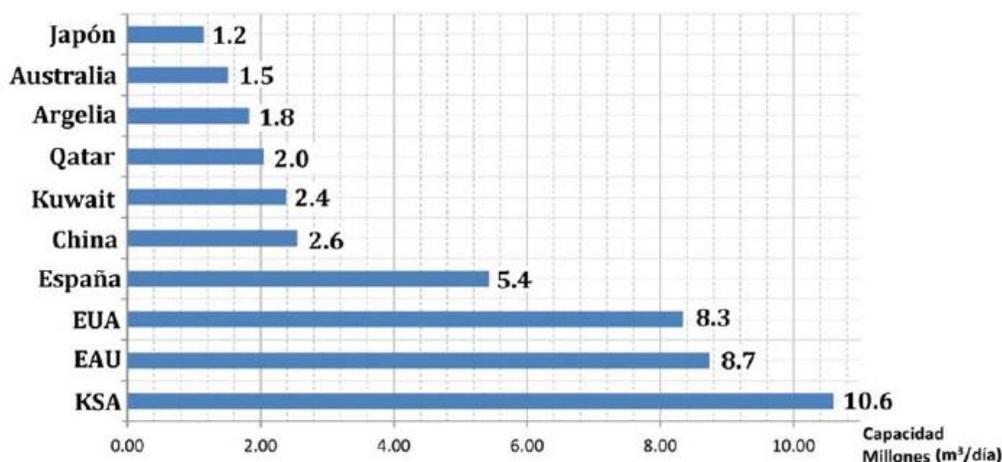


Gráfico 1.5 Capacidad instalada de los 10 países con mayor producción de agua desalada (Salmerón Vergara, 2012)

En las islas con alto desarrollo poblacional e industrial, - como Japón, Canarias, Malta, entre otras- la escasa cuenca que tienen para captar agua de lluvia los lleva a depender de la desalación de agua del mar para satisfacer su demanda.

En el México hay cerca de 320 sitios con plantas desaladoras de ámbito nacional, cuya distribución se muestra en la Tabla 1.5. Siendo el Distrito Federal la Entidad donde se tiene la mayor capacidad de producción de agua desalada, y en el Estado de Quintana Roo se cuenta con el mayor número de unidades de desalación.

Entidad Federativa	Sitios con plantas desaladoras	N° de unidades	Operan		Proceso					Capacidad m ³ /d
			Si	No	OI	CV	MSF	S	D	
Baja California	23	38	24	14	26	7	2	3	0	51,938
Baja California Sur	71	73	53	20	63	6	0	4	0	36,971
Campeche	8	19	14	5	16	2	0	1	0	5,456
Coahuila	31	33	23	10	30	1	0	1	1	7,668
Colima	17	18	2	16	17	1	0	0	0	2,856
Edo. México	3	4	2	2	4	0	0	0	0	7,000
D.F	14	17	12	5	15	0	0	1	1	95,471
Durango	26	26	13	13	26	0	0	0	0	868
Guerrero	6	6	3	3	6	0	0	0	0	2,355
Jalisco	3	4	3	1	3	0	0	1	0	2,865
Morelos	2	21	21	2	20	1	0	0	0	110
Nuevo León	5	5	5	1	5	0	0	0	0	2,847
Oaxaca	1	4	4	1	4	0	0	0	0	14,256
Quintana Roo	79	124	73	51	121	2	0	1	0	53,339
San Luis Potosí	1	1	1	0	1	0	0	0	0	60
Sonora	16	22	15	7	17	2	0	1	2	9,349
Tamaulipas	4	4	2	2	4	0	0	0	0	5,100
Veracruz	9	15	11	4	13	1	0	0	1	12,167
Yucatán	1	1	1	2	1	0	0	0	0	700
Total Nacional	320	435	282	137	392	23	2	13	5	311,376

Tabla 1.5 Plantas desalinizadoras de agua instaladas en México (Dévora Isiordia & González Enriquez, 2012)

Aunque México está inmerso en la problemática del incremento de la demanda de agua en las grandes ciudades (donde no se cuenta con los pozos necesarios para abastecer de agua dulce a las localidades), la capacidad total nacional de producción de agua desalada es de tan solo 311,376 m³/día, que comparado con los países mostrados en la Gráfica 1.6, notamos que no existe gran desarrollo de tecnologías de desalación de agua en el país.

Cabe mencionar que no todas las tecnologías de desalación son fácilmente adaptables a las fuentes de energía renovable, dado que algunas requieren de manera más directa energía térmica, o mecánica. La Tabla 1.6 tiene la finalidad de despejar dudas sobre qué fuentes de energía pueden ser mejor aplicadas a los principales procesos de desalación. (Goosen & Mahmoudi, 2010)

Tecnologías con fuentes renovables.	MED	MSF	MVC	TVC	RO	ED
Solar Térmica	✓	✓				
Fotovoltaica					✓	
			✓		✓	✓
Eólica			✓		✓	
					✓	
Geotérmica	✓	✓	✓			
	✓			✓		

Tabla 1.6 Posibles combinaciones de energías renovables con tecnologías de desalación respecto al tipo de fluido a desalar. (Goosen & Mahmoudi, 2010)

De las posibles tecnologías de desalación que hacen uso de energía térmica, se decidió trabajar con la DMG debido a que el porcentaje de recuperación en el sistema MED es mayor en comparación con las otras tecnologías, así como el hecho de operar en rangos de temperatura más bajos (55-70°C), tal como se muestra en la Tabla 1.7. Además, la tecnología de múltiple efecto se encuentra plenamente desarrollada a nivel mundial.

	MED	MSF	MVC
Agua de mar de alimentación [m ³ /hr]	150	740	68.8
Destilado [m ³ /hr]	57.81	54.63	34.88
% de desalación	33.81	7.38	50.7
Factor de concentración	1.55	1.08	2.03
GOR	4.35	3.78	-
Potencia eléctrica [kW]	64.42	172.26	525.41
Consumo eléctrico [kW/m ³]	1.11	3.13	15.06

Tabla 1.7 Comparación entre los sistemas de desalación convencionales con recurso térmico. (García Martínez, 2014)

Con los datos mostrados en la Tabla 1.6 y 1.7 podemos proceder a realizar el estudio al sistema MED.

1.4.2 Fundamentos Sistema MED (Multi Effect Destillation).

En el proceso MED, por sus siglas en inglés, se tiene una serie de efectos de evaporación con presiones consecutivas decrecientes que producen agua destilada. Las presiones vacuométricas escalonadas se deben a que el agua se evapora a temperaturas más bajas conforme la presión disminuye según la Ley de Gay Lussac.

El primer efecto sirve como medio de calentamiento para el segundo efecto, y así sucesivamente. Mientras más efectos, mayor será el rendimiento.

La Figura 1.14 se muestra un proceso MED con tres efectos. La presión del efecto uno es superior a la del efecto dos, y del mismo modo, la presión del efecto dos es más alta que la del efecto 3 (las presiones son vacuométricas). La fuente de calor en el efecto uno es suficiente para evaporar una parte del agua de alimentación que está entrando por la parte superior de la unidad. El vapor formado en este efecto calienta el siguiente que se encuentra a menor presión. La producción de vapor en cada efecto, se aprovecha para calentar a los siguientes, y así continuar a través de todos hasta el último donde se condensa en la etapa final. El concentrado en cada efecto puede ser enviado al siguiente o puede ser sacado en puntos específicos del proceso. El destilado, agua dulce, se obtiene de la condensación del vapor en cada efecto y del condensador final.

El proceso MED implica una serie de evaporadores donde es muy común encontrar arreglos de intercambiadores de calor de coraza y tubos, donde el vapor se condensa dentro de los tubos y el agua de mar se distribuye en la superficie exterior. Cada evaporador (llamado efecto) mantiene una presión y temperatura decreciente.

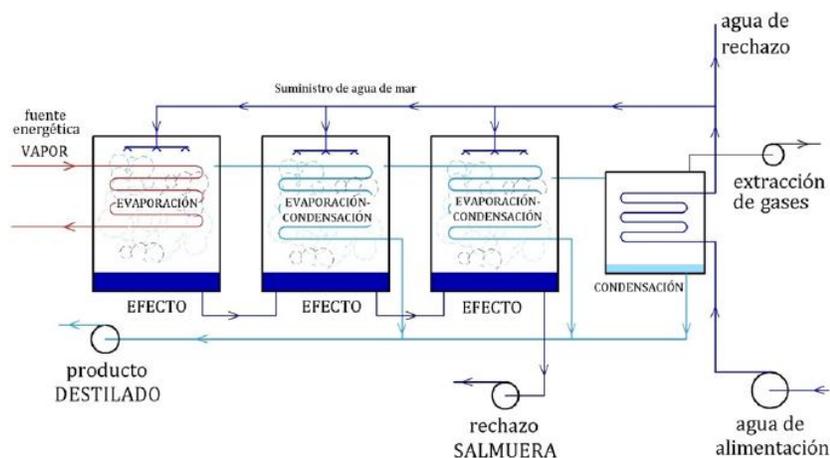


Figura 1.14 Esquema MED Convencional (Salmerón Vergara, 2012)

La producción de destilado de estos procesos está entre 500 a 15,000 [m³/día], se dimensionan de a 4 a 12 efectos o cámaras de evaporación que trabajan con un rango de temperaturas de 55 a 77[°C]. (DME, 2009).

1.4.2.1 Introducción a la DMG.

El grupo IIDEA del Instituto de Ingeniería de la UNAM trabaja en la modificación del sistema MED para que aproveche el recurso geotérmico como fuente de energía térmica. En este proyecto se realizó un modelo básico y se determinó la configuración así como los principios básicos de funcionamiento. En la Tabla 1.8 se presenta el resultado de las evaluaciones que se realizaron a los diferentes sistemas de desalación con el recurso geotérmico como fuente de calor.

	DMG	MSF con geotermia	MVC con geotermia
Agua de mar de alimentación [m ³ /hr]	0.63	0.63	0.63
Destilado [m ³ /hr]	0.254	0.142	1.039
% de desalación	11.21	6.27	45.82
Factor de concentración	1.13	1.07	1.85
PR [kg/MJ]	0.813	0.465	-
Potencia eléctrica [kW]	0.402	0.24	5.901
Consumo eléctrico [kW/m ³]	1.582	1.69	5.678

Figura 1.15 Comparación entre los sistemas de desalación convencionales con recurso geotérmico (García Martínez, 2014)

El modelo de la DMG tiene el mismo principio de operación que un sistema MED convencional para la evaporación, sin embargo cambia en el arreglo y equipamiento, como lo muestra la Tabla 1.9.

	MED	DMG
Fuente Energética	Vapor	Recurso geotérmico de baja entalpía.
Temperaturas de operación	< 70°	85°
Aprovechamiento Energético	Primer Efecto (cámara de evaporación).	El recurso es empleado en el Primer Efecto. Posteriormente, se aprovecha en cámaras subsecuentes en intercambiadores secundarios inferiores.
Generación de Vacío	Eyectores de vapor.	Hidroeyectores, Eyectores de aire comprimido, Turbocompresores.

Tabla 1.8 Características operativas MED y DMG (Salmerón Vergara, 2012)

Finalmente en este capítulo se hace hincapié en que se tiene un mejor rendimiento con la tecnología de la DMG ante los otros sistemas de desalación de agua de mar convencionales que emplean la geotermia como fuente energética, por lo que en esta tesis se trabajará con la DMG por las ventajas antes mencionadas.

Capítulo II: “Estudio de Mercado para la implementación de la DMG”

En este capítulo se presentan los elementos referentes al estudio de mercado, parte fundamental en los estudios de factibilidad. Este se compondrá de cinco subtemas: el primero consiste en los alcances y limitaciones para la DMG, el segundo se dedica a la segmentación de mercado de acuerdo a las variables de interés; en tercer lugar se analiza el entorno de las regiones a estudiar; posteriormente se determina la demanda para cada caso y por último, se muestra el análisis de la oferta existente actualmente.

El objetivo de este estudio es determinar las Zonas de la República donde resulte viable la desalación de agua de mar mediante la DMG. Además se pretende identificar las condiciones que actualmente rigen la dinámica del mercado actual del agua potable en cada zona, para así conocer la demanda y el dinero que se está dispuesto a pagar por el recurso y quienes lo ofrecen. De esta manera se podrán conocer las características con las cuales deberá contar la DMG para satisfacer el consumo de agua potable por región, todo dentro de un horizonte temporal determinado.

2.1 Elementos del Estudio de Mercado para la DMG

2.1.1 Alcances del Estudio de Mercado para la DMG.

El alcance de producción de agua destilada varía de acuerdo al uso final que se disponga con ella. De acuerdo a análisis anteriores, se realizó el diseño de la DMG para tres efectos, contando con una capacidad de 6,000 [l/día], con lo que se podría abastecer a cuarenta personas aproximadamente. (Salmerón Vergara, 2012). Sin embargo no se han tomado en cuenta las variables geográficas, las cuales determinarían el lugar exacto de su instalación; tampoco han estimado los factores demográficos, que son vitales para llegar a conocer la demanda de agua potable, y así conocer el número de efectos necesarios a instalarse en las zonas geotérmicas viables

Por esta razón se realizará el análisis de los mercados para conocer el rango de demanda existente en las regiones posibles a implementar la DMG, proponiendo el número de módulos precisos para cada región.

2.1.2 Segmentación.

La segmentación es un proceso que consiste en dividir al objeto de estudio en grupos representativos, similares e identificables, con el fin de determinar el mercado meta al que se desea llegar. (Assael, 1999). Para este proyecto se realizará una segmentación geográfica y demográfica las cuales se definen a continuación:

- Geográfica: se define como la subdivisión basada en la ubicación; donde intervienen variables territoriales (estados, municipios, localidades) y geográficas (superficie, geología, hidrografía, suelos, entre otros.)

Se realizará una segmentación geográfica con el fin de determinar las zonas específicas de la República que cuentan con energía geotérmica de baja entalpia y que se encuentren cerca de las costas.

- Demográfica: es aquella que consiste en dividir al mercado en grupos, a partir de las variables como edad, sexo, nivel socioeconómico, características de vivienda, entre otras.

Se aplicará una segmentación demográfica para conocer el tipo de demanda y así poder calcular el tamaño de mercado mediante el nivel de consumo de agua potable

2.1.3 Antecedentes Generales de las Regiones de Estudio

El objetivo de este apartado es brindar un conocimiento de aquellas variables, que si bien no están directamente relacionadas con el servicio de agua potable, dan un marco de referencia en el cual se efectuará y operará el proyecto.

Los antecedentes mínimos que señalarán serán: el nombre y la ubicación de la localidad, características geográficas, características climáticas, nivel de ingresos, organizaciones comunitarias existentes, servicios públicos; urbanización y condiciones sanitarias existentes (forma de abastecimiento actual de agua y disposición de la misma); antecedentes demográficos; número y tipo de viviendas de la localidad.

2.1.4 Análisis de la Demanda.

La demanda se define como el requerimiento por un bien o servicio por unidad de tiempo, lo cual satisface una necesidad existente. En este caso la necesidad se expresa por la cantidad en litros de agua potable al día de esta población. Cabe mencionar que el análisis que se realiza en esta tesis es por medio de fuentes secundarias, ya que no se tuvo la posibilidad de ir a la región para levantar las encuestas correspondientes.

Para determinar la demanda se estimará el consumo en litros de agua para la población de cada región., por lo que calcularemos la dotación de agua de cada territorio, la cual se define como la cantidad de agua asignada a cada habitante, considerando todos los consumos de los servicios y las

pérdidas físicas en el sistema en un día promedio anual; sus unidades están dadas en l/hab/día. (Comisión Nacional del Agua, 2007).

La dotación media de la localidad se obtiene a partir de un estudio de demanda, donde deben considerarse factores como: tamaño de la ciudad, distribución de la población por estrato socioeconómico, clima, el ingreso per cápita, el precio promedio, precipitación media anual, entre otros. Sin embargo el problema principal que se enfrenta al buscar la demanda del agua es el acceso limitado a los datos de consumo, por lo cual se procedió según la norma NT-009-CNA-2001 de la CONAGUA, la cual propone dos opciones para el cálculo de consumo:

- El primero, consiste en realizar una medición de volúmenes consumidos por muestras de usuarios, seleccionados aleatoriamente en la localidad.
- El segundo, determina los consumos con base en tablas predeterminadas por el “ Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento” publicado por la CONAGUA, que son valores obtenidos de mediciones estadísticas, registradas en la bibliografía técnica. El consumo doméstico se calcula multiplicando los datos de consumo per cápita de la Tabla 2.1, por el número de habitantes de cada clase socioeconómica. El clima de la localidad en estudio se define en función de la temperatura media anual, como aparece en la Tabla 2.2.

CLIMA	CONSUMO POR CLASE SOCIOECONÓMICA (l/hab/día)		
	Residencial	Media	Popular
Cálido	400	230	185
Semicálido	300	205	130
Templado	250	195	100

Tabla 2.1 Consumos domésticos per Cápita (CONAGUA, 2007)

TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C)	TIPO DE CLIMA
Mayor que 22	Cálido
DE 18 a 22	Semicálido
De 12 a 17.9	Templado
De 5 a 11.9	Semfrío
Mayor que 5	Frio

Tabla 2.2 Clasificación de climas por su temperatura (CONAGUA , 2007)

Por motivos relacionados con la distancia, tiempo y presupuesto se ha utilizado el segundo método; aunque este es menos exacto tiene la ventaja de ser práctico.

Para calcular la demanda que se presentará a lo largo del proyecto, se pronosticará el crecimiento poblacional para calcular posteriormente el consumo total de cada región y establecer la planeación referente a los periodos temporales en los cuales se debe realizar la instalación de cada una de los módulos de la DMG.

Dicha información será de vital importancia ya que los resultados obtenidos serán la base para determinar el posterior plan de implementación del número de desaladoras y este número de desaladoras requeridas para cada región se reflejará en los costos del análisis financiero.

2.1.5 Análisis de la Oferta

Oferta se define como “la cantidad de bienes o servicios que un cierto número de ofertantes (productores) está dispuesto a poner a disposición del mercado a un precio determinado” (Baca Urbina, 2001).

De acuerdo a la definición anterior se establece como propósito de este capítulo realizar un análisis que estudie las fuentes de agua potable que se encuentran disponibles en las zonas de interés, así como conocer los precios actuales del servicio de agua potable, con el fin de identificar si la oferta actual cubre las necesidades exigidas por cada población.

De igual manera con este análisis se pretende establecer un precio competitivo para el agua producida por la DMG, el cual no debe sobrepasar los precios ofrecidos por los sistemas utilizados habitualmente como lo son Osmosis Inversa con un costo de 2.65 USD/m³ de una planta paquete⁶. (Arguin I. & Martín Domínguez, 2000).

2.2 Segmentación.

Para comenzar con el estudio, se realizó la segmentación geográfica para conocer los lugares en donde se pudiera instalar la DMG. Así se buscaron todos los puntos de la República Mexicana que contaran con recursos geotérmicos de baja entalpía y además cumplieran con temperaturas mayores a 80°C para la correcta operación de la DMG. En la Figura 2.1 se muestra el mapa México que señala los puntos mencionados anteriormente.

De las 657 zonas geotérmicas encontradas, en el mapa mostrado en la Figura 2.1 se muestran 539 zonas con recursos geotérmicos de baja entalpía⁷; con matiz amarillo se resaltan aquellos puntos que están ubicadas cerca de alguna región costera y cumplen con los rangos de temperatura operacionales para la DMG. En la Tabla 2.3 podemos identificar el nombre de cada uno de los puntos en color amarillo, indicando temperatura, ubicación, distancia al mar, si es que son zonas protegidas y su respectiva población.

⁶ Son de plantas de desalinización con una capacidad de producción entre 100 y 2,000 m³ al día, trabajando con el proceso de la osmosis inversa. (Kröber, s.f.)

⁷ Para ver a mayor detalle el mapa consultar la dirección:

https://www.google.com/maps/d/edit?hl=en_US&app=mp&mid=zPivBmgrSP5M.kBj2AHJo03xc



Figura 2.1 Mapa de Zonas Geotérmicas de Baja Entalpía en México. (Elaborado por Ricardo Caldera & Diana Mendez)

Estado	Municipio	Localidad Geotérmica	Longitud (grados/min/s)	Longitud (grados/min/s)	Temperatura Promedio [°C]	Distancia al Mar [km]	Zonas Protegidas	Población
BCS	Los Cabos	Cabo San Lucas	109.91 68	22.89 00	60	1.9	no	37,984
BCS	Comondú	San Siquicisunde	111.24 58	26.28 26	72	0	no	0
BCS	Mulegúé	Santispac	111.53 37	26.45 45	50	0.1	no	11
BCN	Ensenada	Puertecitos	116.66 553	31.71 758	88	0.056	no	101
BCN	Mexicali	Punta Estrella	114.70 918	30.88 433	124	0.031	no	21
BCN	Mexicali	San Felipe	114.82 172	31.04 087	124	0.7	no	13,123
BCN	Ensenada	La Joya	116.61 832	31.85 109	85.1	0.023	no	141
BCS	Comondú	Agua Caliente	111.24 45	26.14 15	55	6	no	0
BCS	Loreto	Las Piedras Rodadas	111.23 05	26.07 15	92	9.7	no	3
BCN	Ensenada	La Bufadora	1116.72 2170	31.72 4072	93	0.054	no	35

Tabla 2.3 Zonas apropiadas para la DMG.

A partir de este primer filtro se obtuvieron diez zonas que cumplen con los requerimientos térmicos de la DMG, pero para obtener las zonas óptimas se deben considerar aquellas localidades geotérmicas que tengan la menor distancia al mar, exista una gran población y no sean zonas protegidas.

Con el fin de elegir las zonas óptimas para el estudio se elaboró una Matriz de Priorización en la cual nos ayudará a jerarquizar las zonas a realizar el proyecto sobre la base de una ponderación, la cual tomará en cuenta los factores más importantes para la implementación de la DMG, los cuales se

muestran calificados según su importancia en la Tabla 2.5 y en la Tabla 2.4 se Jerarquiza en una escala del 1 al 10 según la relevancia que tenga el valor cuantitativo del indicador.

Indicadores	Valor del Indicador (Escala del 1 al 5)
Temperatura	5
Distancia al Mar	3
Población	4
Zona Protegida	5

Tabla 2.4 Indicadores para la Matriz de Priorización

JERARQUIZACIÓN			
POBLACIÓN [hab]		TEMPERATURA [°C]	
> 10,000	10	< 100	10
> 1,000	8	< 85	8
< 100	5	< 70	5
< 50	1	> 50	1
DISTANCIA AL MAR [km]		ZONAS PROTEGIDAS	
< 0.05 km	10	No	10
< 0.1 km	5	Si	1
> 1 km	1		

Tabla 2.5 Jerarquización de los Indicadores

Posteriormente se procede a calificar los factores de acuerdo a los valores de cada indicador y su jerarquización correspondiente mediante una suma producto, como se muestra en la Tabla 2.6.

Localidad Geotérmica	Calificación por Zona (Escala del 1 al 10)				
	Temperatura	Distancia al Mar	Población	Zona Protegida	TOTAL
Los Cabos, Cabo San Lucas	2	1	10	10	103
Comondú, San Siquicisumunde	4	1	1	10	77
Mulegué, Santispac	1	5	2	10	78
Ensenada, Puertecitos	8	8	4	10	130
Mexicali, Punta Estrella	10	7	1	10	125
Mexicali, San Felipe	10	3	10	10	149
Ensenada, La Joya	8	6	5	10	128
Comondú, Agua Caliente	2	1	1	10	67
Loreto, Las Piedras Rodadas	8	1	1	10	97
Ensenada, La Bufadora	8	8	1	10	118

Tabla 2.6 Matriz de Priorización

Estado	Municipio	Localidad Geotérmica	Longitud (grados/min/s)	Longitud (grados/min/s)	Temperatura [°C]	Distancia al Mar (km)	Zonas Protegidas	Población al año 2010
BCN	Ensenada	Puertecitos	116.66 553	31.71 758	70 a 130	0.056	no	101
BCN	Mexicali	San Felipe	114.82 172	31.04 087	71 a 130	0.07	no	13,123
BCN	Ensenada	Campo Turístico	116.61 832	31.85 109	55 a 120	0.23	no	141

Tabla 2.7 Zonas óptimas para el estudio.

De las zonas obtenidas en la Tabla 2.7 se estudiarán los mercados correspondientes a cada una de ellas, analizando el entorno, la demanda y finalmente la oferta.

2.3 CAMPO TURÍSTICO LA JOYA, ENSENADA.

2.3.1 Antecedentes del Campo Turístico La Joya, Ensenada.

Campo Turístico la Joya es una localidad dentro de la delegación Maneadero, perteneciente al municipio de Ensenada, en el estado de Baja California. Está situada a 10 metros de altitud sobre el nivel del Mar, al sureste del municipio, sus coordenadas geográficas son Longitud: 31º 42' 57", Latitud: -116º 39' 51". (Foro-México, 2010). En la Figura 2.2 se muestra un mapa con la localización de la región de estudio.

- En la delegación de El Manadero la temperatura media anual es de 17.1 grados centígrados, siendo un clima templado.
- La precipitación media anual es de 252.2 mm (Ruiz Corral & Díaz Padilla, 2006)
- La tasa de evaporación media anual del municipio es de 1,269 mm (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, 2006).
- La población está dividida en clase media y popular, con un 73.92% y 23.08% respectivamente.



Figura 2.2 Ubicación de "Campo Turístico la Joya"

Ubicado en la región termal Punta Banda, se encuentra el pozo geotérmico de Campo Turístico la Joya, donde la temperatura oscila aproximadamente entre los 55 y 108°C (Arango Galván, et al., 2015) cumpliendo así los requerimientos térmicos para la instalación de la DMG. Una vez ubicada la zona de estudio, procederemos a analizar la demanda correspondiente de la región.

2.3.2 Análisis de la Demanda Campo Turístico la Joya.

Para este análisis se consultaron los registros del INEGI para obtener los datos históricos poblacionales de Campo Turístico la Joya, como se puede observar en la Tabla 2.8, se muestra la evolución de la población desde 1990 hasta el 2010.

Año	Población
1990	57
1995	68
2000	33
2005	46
2010	148

Tabla 2.8 Evolución de la población en Campo Turístico la Joya 1990 hasta 2010

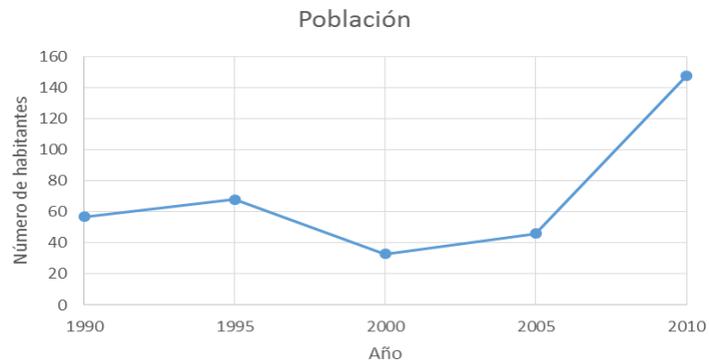


Gráfico 2.1 Evolución de la población en Campo turístico la Joya 1990 hasta 2010 (INEGI).

De acuerdo con los datos obtenidos, se hizo un pronóstico siguiendo la Técnica NT-011-CNA-2001 “Métodos de Proyección de Población” (vease anexo 1) para hacer una proyección de la población para los próximos treinta, debido a que este es el tiempo de vida aproximado de la DMG y es lo que se espera que dure el proyecto. La Tabla 2.9 y el Gráfico 2.2 muestran los valores de las proyecciones.

Año	Tc (%)	Población proyectada
2015	5.83%	196
2020	5.83%	261
2025	5.83%	346
2030	5.83%	460
2035	5.83%	610
2040	5.83%	810
2045	5.83%	1076

Tabla 2.9 Proyección de la población de Campo Turístico la Joya al 2045

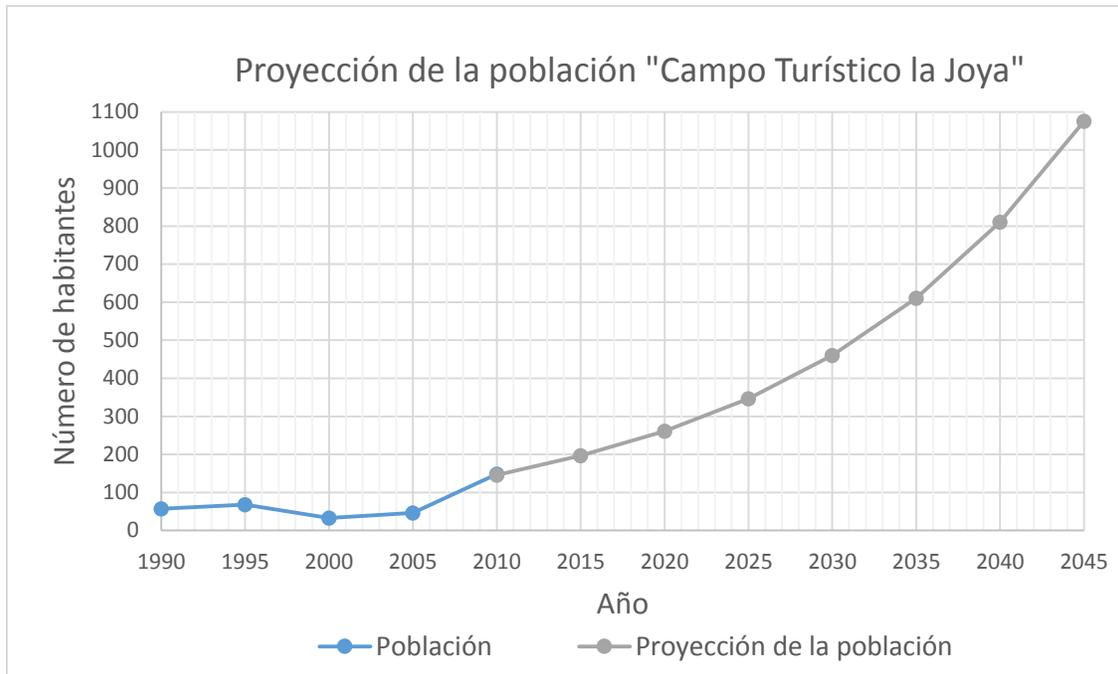


Gráfico 2.2 Proyección de la población de Campo Turístico la Joya al 2045.

Cabe mencionar que debido a la fluctuación de los datos históricos, la tasa de crecimiento correspondiente a la Tabla 2.6 se obtuvo como el promedio de las tasas de cada periodo, llegando así al valor de 5.83% , obteniéndose el menor error en el pronóstico.

Para realizar el análisis posterior será necesario estimar el crecimiento poblacional de manera anual, por lo que se hizo un ajuste de la curva de proyección del Gráfico 2.2 a través de la función exponencial $3E-48e^{0.0569x}$. Al sustituir los valores en la ecuación obtenemos los resultados mostrados en la Tabla 2.10

Año	Población proyectada	Año	Población proyectada	Año	Población proyectada
2016	197	2026	349	2036	616
2017	209	2027	369	2037	652
2018	221	2028	391	2038	690
2019	234	2029	413	2039	730
2020	248	2030	438	2040	773
2021	262	2031	463	2041	818
2022	278	2032	490	2042	866
2023	294	2033	519	2043	917
2024	311	2034	550	2044	971
2025	329	2035	582	2045	1028

Tabla 2.10 Proyección de la población de Campo Turístico la Joya al 2045 por año.

Como se mencionó anteriormente, el consumo difiere para cada una de las clases socioeconómicas, por ello con las proyecciones obtenidas en la Tabla 2.7 se encontró el porcentaje poblacional de cada una de ellas. En este caso se consideraron los porcentajes obtenidos del año 2010 y suponemos que se mantendrán constantes.

Posteriormente ubicamos en el Subcapítulo 2.2.1 que la temperatura media anual para “El Maneadero” es de 17.1°C, perteneciendo a una región templada, con lo cual podemos ubicar en la Tabla 2.1 que el consumo será de 205 litros/día para la clase media y 130/día litros para la popular. Finalmente añadimos al consumo las pérdidas físicas por el manejo de agua (Anexo 1), para obtener la demanda proyectada aproximada de agua potable estimada de Campo Turístico la Joya, tal como puede apreciarse en la Tabla 2.11.

Año	Clase popular	Demanda [l/día]	Clase media	Demanda [l/día]	Demanda total [l/día]
2016	46	6,507	152	42,285	48,792
2017	48	6,888	161	44,761	51,649
2018	51	7,291	170	47,382	54,673
2019	54	7,718	180	50,156	57,874
2020	57	8,170	191	53,093	61,262
2021	61	8,648	202	56,201	64,849
2022	64	9,154	214	59,492	68,646
2023	68	9,690	226	62,975	72,666
2024	72	10,258	239	66,663	76,920
2025	76	10,858	253	70,566	81,424
2026	80	11,494	268	74,697	86,191
2027	85	12,167	284	79,071	91,238
2028	90	12,879	300	83,700	96,580
2029	95	13,633	318	88,601	102,234
2030	101	14,432	337	93,789	108,220
2031	107	15,276	356	99,280	114,556
2032	113	16,171	377	105,093	121,264
2033	120	17,118	399	111,246	128,364
2034	127	18,120	423	117,759	135,879
2035	134	19,181	447	124,654	143,835
2036	142	20,304	474	131,953	152,257
2037	150	21,493	501	139,678	161,171
2038	159	22,751	531	147,857	170,608
2039	169	24,083	562	156,514	180,597
2040	178	25,493	595	165,677	191,171
2041	189	26,986	630	175,378	202,364
2042	200	28,566	666	185,646	214,212
2043	212	30,238	705	196,516	226,754
2044	224	32,009	747	208,022	240,031
2045	237	33,883	790	220,201	254,084

Tabla 2.11 Demanda proyectada al 2045 de agua potable para la localidad Campo Turístico la Joya

Una vez obtenidas las estimaciones del consumo de agua potable para los domicilios de Campo Turístico la Joya podemos saber la cantidad de agua que se requiere en la región y así utilizar estos valores para el posterior análisis económico.

2.3.3 Análisis de la Oferta Campo Turístico la Joya, Ensenada.

En cuanto a la oferta de agua potable en el municipio de Ensenada se obtiene de cuatro fuentes principales: acuíferos, desalación, precipitación pluvial y presas. La presa más cercana a la localidad Campo Turístico la Joya es la presa “Emilio López Zamora”, que se encuentra alejada de la región, estando a aproximadamente 30 kilómetros de distancia, además las escasas lluvias en Ensenada han provocado que la presa se encuentre prácticamente vacía la

mayoría de las veces (Sanchez, 2014). Estos dos factores de distancia y escasez hacen imposible el abastecimiento de Campo Turístico la Joya mediante dicha presa.

En cuanto disponibilidad de aguas subterráneas, en la región se encuentra el acuífero “Maneadero”, el cual cuenta con un déficit de $-16,858,744 \text{ m}^3$ /año, indicando que no existe volumen suficiente para una futura explotación sustentable. (CONAGUA, 2015). Debido a las razones mencionadas anteriormente el costo de venta al público del agua potable en Ensenada es una de las más costosas de la República, siendo \$53.88 pesos por rango entre 0 a 5 m^3 la tarifa doméstica de consumo de agua potable ofrecida por el municipio. (Gobierno de Baja California, 2014). De igual forma se destaca en el año 2010 la cobertura del recurso⁸ fue solamente del 75% (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, 2010).

Por último se cuenta con la desaladora “Carlos Pacheco” que se encuentra en la cabecera municipal de Ensenada a 30 kilómetros del Campo Turístico la Joya. Esta Desaladora utiliza el método de Ósmosis Inversa y cuenta con una capacidad de 250 l/s y con una vigencia aproximada de 20 años. Sin embargo su cobertura de abastecimiento solo será la cabecera municipal de Ensenada. “El costo de inversión de este proyecto es de 637 millones de pesos, y el precio por metro cubico de agua será de trece pesos”. (El Vigía, 2014).

Cabe mencionar que la Comisión de Aguas de Ensenada (CESPE) no administra la región de Campo Turístico la Joya, por lo cual la red de distribución es irregular para la población y los habitantes obtienen el agua por sus propios medios, ya sea por medio de desaladoras paquete, utilizando agua de mar o bien mediante pipas, cuyo costo aproximando de traer el agua a la región pipa es de 850 pesos por 555 galones que es igual a 0.404 pesos/litro. (Real, 2016)

A partir de esta información podemos notar que el desabasto es tangible en la localidad de Campo Turístico la Joya, por lo cual la DMG puede satisfacer la necesidad de agua potable que se demanda en esta localidad.

2.4 PUERTECITOS, SAN FELIPE, ENSENADA.

2.4.1 Antecedentes de Puertecitos Mexicali.

Puertecitos es una localidad dentro de la delegación de San Felipe, perteneciente al municipio de Ensenada, en el estado de Baja California. Está situada a dos metros de altitud sobre el nivel del Mar, a noventa kilómetros al sur de la cabecera municipal, sus coordenadas geográficas son Longitud: $31^{\circ} 42' 57''$, Latitud: $-116^{\circ} 39' 51''$. (Foro-México, 2010). Puertecitos es conocido por sus manifestaciones hidrotermales y por ser un destino turístico, sin embargo existen solo zonas para acampar. En la Figura 2.3 se muestra un mapa con la localización de la región de estudio.

⁸ Porcentaje del agua abastecida exclusivamente por el estado a la comunidad.

- En San Felipe la temperatura media anual es de 21.8°C, siendo un clima templado.
- La precipitación media anual es de 72.2 mm. (Ruiz Corral & Díaz Padilla, 2006)
- La tasa de evaporación es de 2,435.6 mm tomando en cuenta la del San Felipe en Mexicali debido a su proximidad (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, 2006)
- La población se divide en dos clases: media y popular, con un 73.92% y 23.08% respectivamente. (Foro-México, 2010)

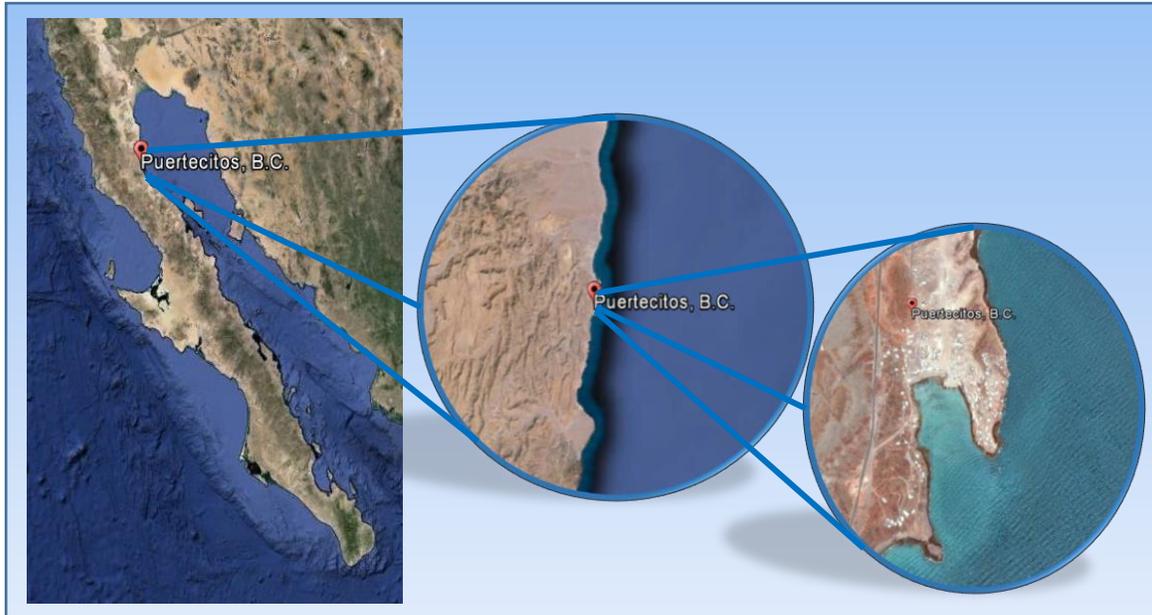


Figura 2.3 Ubicación de "Puertecitos, BC"

Ubicado en el Valle de San Felipe, Puertecitos cuenta con manifestaciones hidrotermales que tienen una temperatura aproximada entre los 70°C a los 130°C (Arango Galván, et al., 2015), cumpliendo así los requerimientos térmicos para la instalación de la DMG. Una vez ubicada la zona de estudio, procederemos a analizar la demanda correspondiente de la región.

2.4.2 Análisis de la Demanda Puertecitos.

Mediante información del INEGI se obtuvieron los datos históricos poblacionales de Puertecitos, como se puede observar en la Tabla 2.11 y el Gráfico 2.3, reflejando un comportamiento muy variable en cuanto al crecimiento de la población desde 1990 hasta el 2010.

Año	Habitantes
1990	59
1995	68
2000	101
2005	59
2010	41

Tabla 2.12 Evolución de la población de Puertecitos de 1990 al 2010 (INEGI)

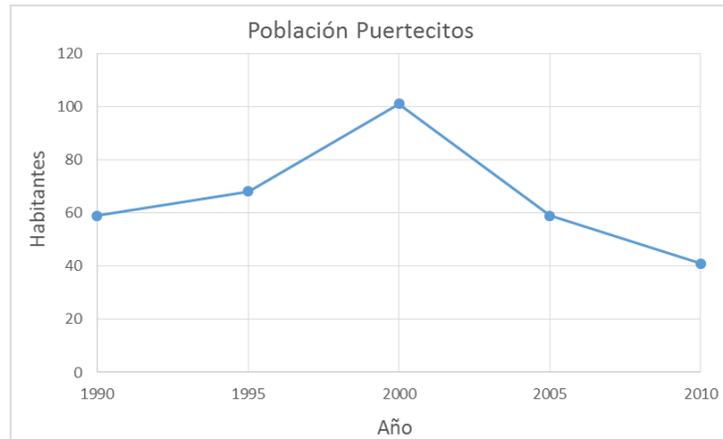


Gráfico 2.3 Evolución de la población de Puertecitos de 1990 al 2010 (INEGI)

En estos datos notamos un gran incremento de habitantes en el año 2000, observándose un pico en el Gráfico 2.3; debido a esto se aplicó el método de suavizamiento exponencial doble y se utilizaron los factores $\alpha=0.2$ y $\beta=1$ buscando obtener una tendencia positiva, basándonos en la población crecerá como lo hacen las demás localidades de Ensenada. Dichos datos se reflejan en la Tabla 2.13 y el Gráfico 2.4.

Año	Población
2015	78
2020	84
2025	90
2030	95
2035	101
2040	107
2045	112

Tabla 2.13 Proyección de la población de Puertecitos al 2045

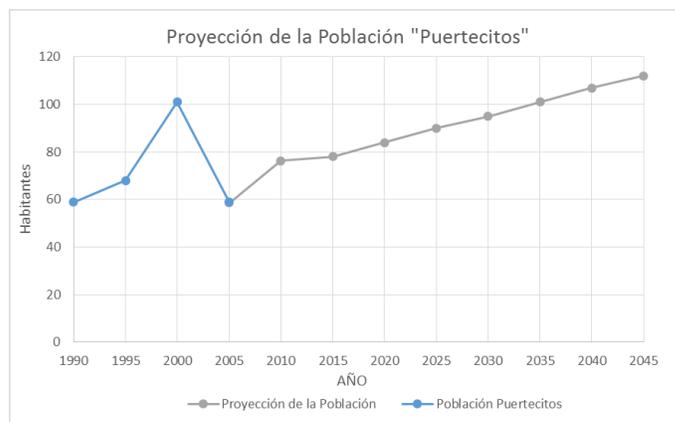


Gráfico 2.4 Proyección de la población de Puertecitos al 2045

Con las proyecciones obtenidas, se continuó con el mismo método, obteniendo el número de habitantes por año mediante la ecuación perteneciente a la recta de proyección de la población: $y = 1.2084x - 2358$. Los resultados se ilustran en la Tabla 2.14

Año	Población Proyectada	Año	Población Proyectada	Año	Población Proyectada
2016	78	2026	90	2036	102
2017	79	2027	91	2037	103
2018	80	2028	92	2038	104
2019	81	2029	93	2039	105
2020	82	2030	95	2040	107
2021	84	2031	96	2041	108
2022	85	2032	97	2042	109
2023	86	2033	98	2043	110
2024	87	2034	99	2044	111
2025	89	2035	101	2045	113

Tabla 2.14 Proyección de la población de Puertecitos al 2045 por año.

Ubicando la temperatura media anual para “San Felipe”, el consumo de cada tipo de población. Y sumando las pérdidas físicas por el manejo de agua (Anexo 1), obtenemos de este modo una demanda aproximada de agua potable estimada de Puertecitos, como se muestra en la Tabla 2.15

Año	Clase popular	Demanda [l/día]	Clase media	Demanda [l/día]	Clase residencial	Demanda [l/día]	Demanda total [l/día]
2016	40	7,429	35	10,250	3	1,286	18,964
2017	41	7,614	35	10,250	3	1,286	19,150
2018	41	7,614	36	10,543	3	1,286	19,443
2019	42	7,800	36	10,543	3	1,286	19,629
2020	42	7,800	37	10,836	3	1,286	19,921
2021	43	7,986	38	11,129	3	1,286	20,400
2022	44	8,171	38	11,129	3	1,286	20,586
2023	44	8,171	39	11,421	3	1,286	20,879
2024	45	8,357	39	11,421	3	1,286	21,064
2025	46	8,543	40	11,714	3	1,286	21,543
2026	47	8,729	40	11,714	3	1,286	21,729
2027	47	8,729	41	12,007	3	1,286	22,021
2028	48	8,914	41	12,007	3	1,286	22,207
2029	48	8,914	42	12,300	3	1,286	22,500
2030	49	9,100	43	12,593	3	1,286	22,979
2031	50	9,286	43	12,593	3	1,286	23,164
2032	51	9,471	43	12,593	3	1,286	23,350
2033	51	9,471	44	12,886	3	1,286	23,643
2034	52	9,657	44	12,886	3	1,286	23,829
2035	53	9,843	45	13,179	3	1,286	24,307
2036	53	9,843	46	13,471	3	1,286	24,600
2037	53	9,843	46	13,471	4	1,714	25,029
2038	54	10,029	47	13,764	3	1,286	25,079
2039	54	10,029	47	13,764	4	1,714	25,507
2040	55	10,214	48	14,057	4	1,714	25,986
2041	56	10,400	48	14,057	4	1,714	26,171
2042	56	10,400	49	14,350	4	1,714	26,464
2043	57	10,586	49	14,350	4	1,714	26,650
2044	57	10,586	50	14,643	4	1,714	26,943
2045	58	10,771	51	14,936	4	1,714	27,421

Tabla 2.15 Demanda proyectada al 2045 de agua potable para la localidad Puertecitos.

2.4.3 Análisis de la Oferta.

La única fuente de abastecimiento para la región de Puertecitos se lleva a cabo a través de los pozos CNA-MP12 y PCEM-1 pertenecientes al acuífero Matomí-Puertecitos. (CONAGUA, 2015). La distancia de los pozos a la localidad de Puertecitos es de aproximadamente de 40 kilómetros; dicho transporte se lleva a cabo mediante pipas debido a que no existe red de agua potable, elevando así el costo del recurso. Según el Programa Integral del Municipio de Ensenada (PIME) para un gasto de 3 l/s el costo de operación es del orden de los 12,000 pesos mensuales, además se destaca que en el año 2010 la cobertura del recurso⁹ fue solamente del 60%, (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, 2010) dejando así a más de un tercio de la población sin el vital recurso.

2.5 SAN FELIPE, SAN FELIPE, MEXICALI.

2.5.1 Antecedentes de San Felipe.

San Felipe es la cabecera de la localidad de San Felipe, perteneciente al municipio de Mexicali, en el estado de Baja California, situada a 10 metros de altitud sobre el nivel del Mar, sus coordenadas geográficas son Longitud:31° 01' 39" , Latitud:-114° 50' 07'. (Foro-México, 2010). Además de ser un puerto, cubre las funciones de balneario turístico al estar bañado por las cálidas aguas del Golfo de California y por encontrarse a 200 Km de la frontera México-EE. UU. El turismo que arriba al puerto generalmente procede de los estados estadounidenses y de los municipios de Baja California. En la Figura 2.4 se muestra un mapa con la localización de la región de estudio.

- En San Felipe la temperatura media anual es de 21.8°C, siendo un clima templado.
- La precipitación media anual es de 72.2 mm. (Ruiz Corral & Díaz Padilla, 2006)
- La tasa de evaporación promedio anual para el municipio de San Felipe es de 2,435.6 mm (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, 2006)
- La población se divide en clase alta media y popular, con un 73.92% y 23.08% respectivamente.

⁹ Porcentaje del agua abastecida exclusivamente por el estado a la comunidad.

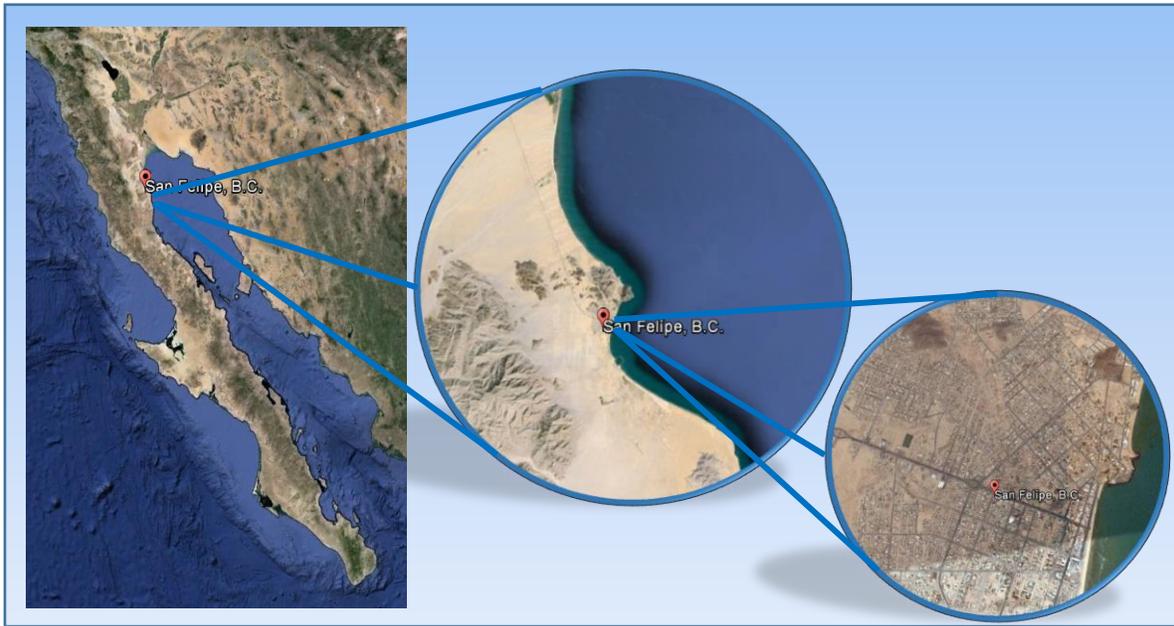


Figura 2.4 Ubicación de "San Felipe, Mexicali, BC"

Ubicado en el Valle de San Felipe, San Felipe cuenta con manifestaciones hidrotermales al igual que Puertecitos con temperaturas entre los 70°C a los 130°C (Arango Galván, et al., 2015), cumpliendo de igual forma los requerimientos térmicos para la instalación de la DMG.

2.5.2 Análisis de la Demanda San Felipe.

De la misma manera que se obtuvo la demanda para Campo Turístico la Joya y Puertecitos se calculará la correspondiente para la región de San Felipe. Comenzando por recopilar los datos históricos poblacionales del INEGI, reflejados en la Tabla 2.16 y el Gráfico 2.5.

Año	Habitantes
1930	28
1940	427
1950	995
1960	2,073
1980	6,197
1990	9,263
2000	13,123
2005	14,831
2010	16,702

Tabla 2.16 Evolución de la población de San Felipe de 1930 al 2010 (INEGI)

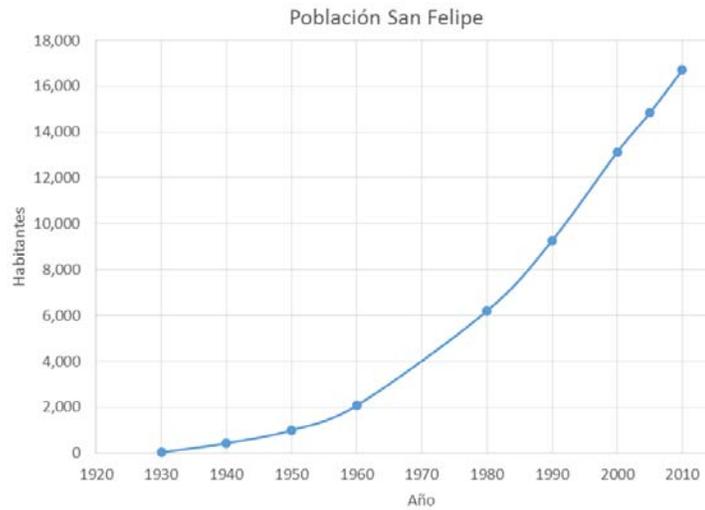


Gráfico 2.5 Evolución de la población de San Felipe de 1930 al 2010 (INEGI)

A continuación se muestra en la Tabla 2.17 y en el Gráfico 2.6 la proyección de la población para el año 2045, utilizando el método de la tasa de crecimiento.

Año	Tc (%)	Población proyectada
2015	5.47%	21,795
2020	5.47%	28,441
2025	5.47%	37,113
2030	5.47%	48,430
2035	5.47%	63,198
2040	5.47%	82,469
2045	5.47%	107,617

Tabla 2.17 Proyección de la población de San Felipe para el año 2045

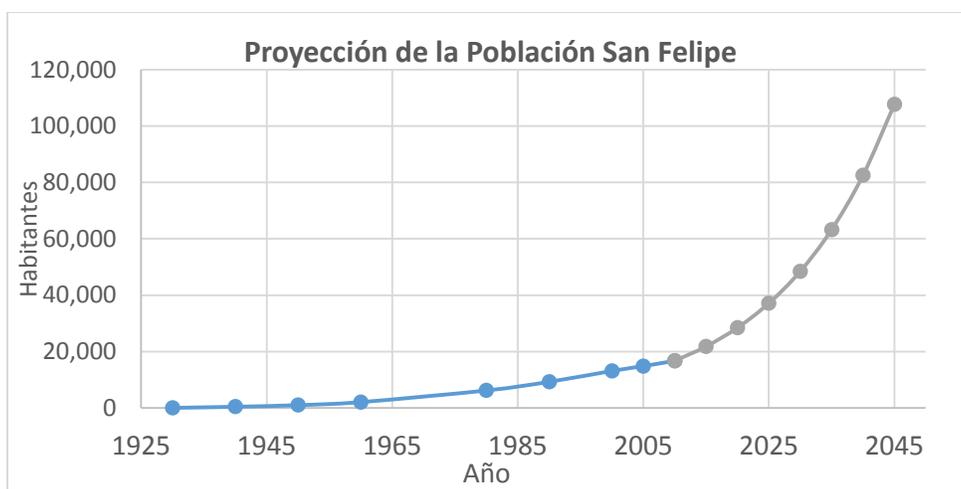


Gráfico 2.6 Proyección de la población de San Felipe al 2045

Continuando con la misma metodología obtenemos la Tabla 2.18 que muestra la proyección poblacional por año, obtenida de la ecuación: $y = 6E-43e^{0.0532x}$

Año	Población Proyectada	Año	Población Proyectada	Año	Población Proyectada
2016	22,738	2026	38,707	2036	65,893
2017	23,980	2027	40,822	2037	69,494
2018	25,290	2028	43,053	2038	73,291
2019	26,672	2029	45,406	2039	77,296
2020	28,130	2030	47,887	2040	81,519
2021	29,667	2031	50,503	2041	85,974
2022	31,288	2032	53,263	2042	90,671
2023	32,997	2033	56,173	2043	95,626
2024	34,800	2034	59,242	2044	100,851
2025	36,702	2035	62,479	2045	106,361

Tabla 2.18 Demanda proyectada al 2045 por año para la localidad San Felipe

Respecto a la segmentación por clases socioeconómicas, dotación y pérdidas, obtenemos el consumo poblacional anual proyectado, tal como se muestra en la Tabla 2.19.

Año	Clase popular	Demanda [l/día]	Clase media	Demanda [l/día]	Clase residencial	Demanda [l/día]	Demanda total [l/día]
2016	7,094	1,317,457	14,423	4,223,879	1,221	523,286	6,064,621
2017	7,482	1,389,514	15,211	4,454,650	1,287	551,571	6,395,736
2018	7,891	1,465,471	16,041	4,697,721	1,358	582,000	6,745,193
2019	8,322	1,545,514	16,918	4,954,557	1,432	613,714	7,113,786
2020	8,777	1,630,014	17,843	5,225,450	1,510	647,143	7,502,607
2021	9,256	1,718,971	18,818	5,510,986	1,593	682,714	7,912,671
2022	9,762	1,812,943	19,846	5,812,043	1,680	720,000	8,344,986
2023	10,295	1,911,929	20,930	6,129,500	1,772	759,429	8,800,857
2024	10,858	2,016,486	22,074	6,464,529	1,868	800,571	9,281,586
2025	11,451	2,126,614	23,280	6,817,714	1,971	844,714	9,789,043
2026	12,077	2,242,871	24,552	7,190,229	2,078	890,571	10,323,671
2027	12,737	2,365,443	25,893	7,582,950	2,192	939,429	10,887,821
2028	13,433	2,494,700	27,309	7,997,636	2,311	990,429	11,482,764
2029	14,167	2,631,014	28,801	8,434,579	2,438	1,044,857	12,110,450
2030	14,941	2,774,757	30,375	8,895,536	2,571	1,101,857	12,772,150
2031	15,757	2,926,300	32,034	9,381,386	2,712	1,162,286	13,469,971
2032	16,618	3,086,200	33,785	9,894,179	2,860	1,225,714	14,206,093
2033	17,526	3,254,829	35,631	10,434,793	3,016	1,292,571	14,982,193
2034	18,484	3,432,743	37,577	11,004,693	3,181	1,363,286	15,800,721
2035	19,494	3,620,314	39,630	11,605,929	3,355	1,437,857	16,664,100
2036	20,559	3,818,100	41,796	12,240,257	3,538	1,516,286	17,574,643
2037	21,682	4,026,657	44,080	12,909,143	3,732	1,599,429	18,535,229
2038	22,867	4,246,729	46,488	13,614,343	3,936	1,686,857	19,547,929
2039	24,116	4,478,686	49,029	14,358,493	4,151	1,779,000	20,616,179
2040	25,434	4,723,457	51,708	15,143,057	4,377	1,875,857	21,742,371
2041	26,824	4,981,600	54,533	15,970,379	4,617	1,978,714	22,930,693
2042	28,289	5,253,671	57,513	16,843,093	4,869	2,086,714	24,183,479
2043	29,835	5,540,786	60,656	17,763,543	5,135	2,200,714	25,505,043
2044	31,466	5,843,686	63,970	18,734,071	5,415	2,320,714	26,898,471
2045	33,185	6,162,929	67,465	19,757,607	5,711	2,447,571	28,368,107

Tabla 2.19 Demanda proyectada al 2045 de agua potable para la localidad San Felipe.

2.5.3 Análisis de la Oferta

La oferta en San Felipe se encierra en las aguas subterráneas de 2, 178,537 m³ anuales disponibles para ser administradas. (CONAGUA, 2015). Principalmente la extracción de agua se efectúa de los 6 pozos con que se cuenta, con una capacidad total de 180 l/s, ubicados en la parte sur del poblado. Además de un acueducto y ocho tanques de almacenamiento (El mexicano, 2014) Es por eso que los costos de obtener el recurso del acuífero se reflejan en la tarifa que se encuentra en \$51.65 de 0 a 5 m³ para uso doméstico, siendo una tarifa muy elevada en comparación con otros estados de la República. (CONAGUA, 2015)

Con la oferta actual no pueden sostener desarrollos agrícolas, mineros, industriales o urbanos de importancia y permanentes. Únicamente polos turísticos y puertos pesqueros menores. (Bohigas, 2007). Es por eso necesario encontrar nuevas fuentes de abastecimiento, toda vez que las existentes se encuentran al límite de su capacidad y ya resultan insuficientes para abastecer la demanda del puerto en periodos de alto consumo al corto plazo. De igual forma se destaca en el año 2010 la

cobertura del recurso¹⁰ fue solamente del 99.5%, (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, 2010) aunque es una cifra bastante elevada, al comparar con el tamaño de la población y el agua que se demanda en promedio, se estimaría un déficit de 10,915,791 litros anuales para el año 2016.

2.6 Comercialización

De acuerdo al estudio de mercado notamos que el desabasto de agua potable para las regiones analizadas reside en la escasez del recurso, ya sea debido a la sobre explotación de acuíferos, falta de infraestructura o sequías. Por lo que se propone presentar este proyecto a las autoridades gubernamentales correspondientes a cada región para negociar la venta de este proyecto, donde nosotros produciríamos el agua potable que demanda la población y que no cubre el estado. Mientras que el gobierno aportará la inversión para llevar a cabo el proyecto. Apoyando así al gobierno local a no incurrir en faltas al Artículo 4° de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos que menciona lo siguiente en el Título Primero, Capítulo I De los Derechos Humanos y sus Garantías: “Toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible. El estado garantizará este derecho y la ley definirá las bases, apoyos y modalidades para el acceso y uso equitativo y sustentable de los recursos hídricos, estableciendo la participación de la federación, las entidades federativas y los municipios, así como la participación de la ciudadanía para la consecución de dichos fines..” (Instituto de Investigaciones Jurídicas, 2016)

En los Capítulos siguientes se presentará un plan que muestre el cuándo y el cómo satisfacer las necesidades existentes en cada región en horizonte de 29 años. Además se mostrarán diversas alternativas de inversión que faciliten la implementación de este proyecto.

CONCLUSIONES

En este capítulo distinguimos las regiones de la República Mexicana donde es posible instalar la DMG, encontrando nueve puntos posibles e identificando las tres zonas factibles “Campo Turístico la Joya, Puertecitos y San Felipe”. Dentro del análisis de la demanda se logró calcular el consumo agua potable para cada región y al realizar la proyección correspondiente, observamos un pronóstico favorable al notar un mercado creciente.

Mediante el análisis de la oferta, notamos una capacidad insuficiente para cubrir las necesidades demandadas por cada región, ya sea debido a la sobre explotación de acuíferos, falta de infraestructura o sequías. Encontrando el porcentaje de demanda insatisfecha para cada zona.

¹⁰ Porcentaje del agua abastecida exclusivamente por el estado a la comunidad.

Finalmente se propone presentar este proyecto a las autoridades gubernamentales de cada región para negociar la venta con ellos la venta del agua, la cual no debe superar el precio de los 50 MXN/m³ para ser competitivos y facilitar las negociaciones correspondientes.

Capítulo III. Estudio Técnico de la DMG.

En este capítulo se expondrán las características operativas necesarias para el funcionamiento del sistema DMG, siendo de suma importancia ya que estas asentarán las bases técnicas con las cuales se planeará el tamaño de la planta adecuado para cada región, determinando con el número de módulos para satisfacer a la demanda de dichas regiones.

El estudio se realizará de acuerdo a un prototipo con tres cámaras de desalación y un proceso de postratamiento del agua desalada. Cabe mencionar que la DMG se encuentra en última etapa de desarrollo, y las modificaciones que se propongan estarán fundamentadas por estudio de mercado y el análisis económico.

Finalmente se expondrá la normatividad aplicable al proyecto, con el fin de evitar incurrir en faltas contra la ley y además conocer el procedimiento de concesiones y pagos de derechos en caso de existir.

3.1 Características operativas del sistema.

El diseño de este sistema se realizó tomando en cuenta los principios de desalación, termodinámica y transferencia de calor; para lo cual se consideraron diversos factores operativos de diseño, los cuales se describen a continuación:

- La DMG opera a una temperatura de 85°C para tres cámaras.
- Días de operación al año: 360¹¹.
- Agua de mar con una concentración menor de 35,000 [ppm].
- Caudal de entrada de agua de mar: 0.356 [l/s]
- El consumo eléctrico para tres cámaras 1.582 [kW/m³]
- Potencia eléctrica: 0.42 [kg/MJ].
- Caudal del recurso geotérmico de entrada: 0.56[l/s]
- Estado del recurso: Líquido saturado.
- Salmuera de salida: 0.287 [l/s]
- Calidad de salmuera a la salida: 52,000 [ppm] (Salmerón Vergara, 2012)

¹¹ Se prevén cinco días al año para el mantenimiento preventivo del equipo.

La producción de agua destilada de la DMG depende del número de cámaras de vacío con que cuente el sistema. En el Gráfico 3.1 podemos observar la cantidad de agua producto de la desalación, respecto al número de cámaras.

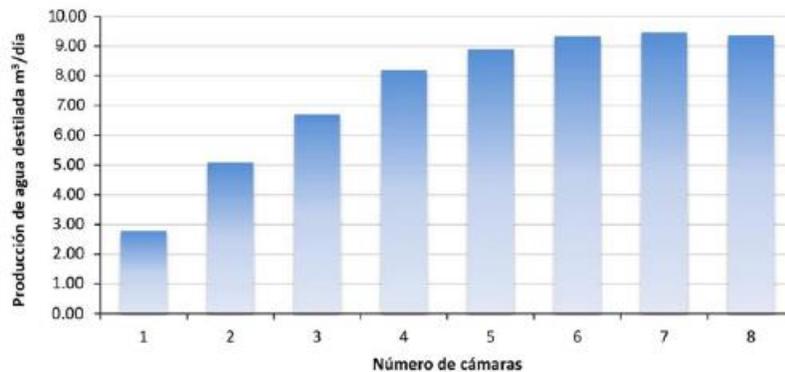


Gráfico 3.1 Producción de agua destilada Sistema DMG (Salmerón Vergara, 2012)

Como podemos observar en el Gráfico 3.1 notamos que la mayor eficiencia de agua desalada se alcanza con tres cámaras de vacío, es por eso que como se había mencionado anteriormente, el agua desalada por cada módulo será de 6,000 [l/día] aproximadamente.

3.2 Tratamiento de Salmuera.

La salmuera es un subproducto de cualquier proceso de desalación, dicha salmuera consta de grandes concentraciones de sales y puede contener contaminantes producto del proceso de desalación. Es por esto que la salmuera requiere una disposición final adecuada, debido a los daños que puede causar al ambiente.

De acuerdo a las especificaciones técnicas de la DMG, del caudal total de entrada solo el 19.47% se transformará en agua pura, mientras que el 80.53% restante será salmuera. Es decir, se producirá aproximadamente cuatro veces más salmuera que agua pura producida. De ahí la importancia de elegir alguno de los métodos de tratamiento para una correcta disposición de salmueras. Cada método de tratamiento tiene con diferentes costos y efectos al ambiente distintos. Dichos métodos son:

- Descarga a las aguas superficiales: En este caso la salmuera es descargada a cuerpos de agua superficiales como son ríos, lagos o reservorios. Este método tiene un costo bajo, sin embargo para utilizar este método se requiere de un pago de \$30,069.45 además de permisos legales y ambientales¹².

¹² Cantidad conforme al Anexo 19 de la Resolución Miscelánea Fiscal para 2016, publicado el miércoles 23 de diciembre de 2015, en el Diario Oficial de la Federación, por los servicios enunciados en el Artículo 194-H, fracciones II y III de la Ley Federal de Derechos.

- Inyección a pozos profundos: Aquí la salmuera es inyectada al subsuelo de roca porosa. Esta opción es costosa debido al gasto de la perforación y mantenimiento del pozo, además de los controles de inyección y monitoreo que se deben llevar a cabo.
- Descarga al drenaje: En este método la salmuera es vertida al sistema de drenaje sanitario, siempre y cuando se cumplan los requerimientos sanitarios de la región.
- Estanques de evaporación: La salmuera es acumulada de manera superficial teniendo contacto con la atmósfera y la radiación solar, lo cual favorece a la evaporación del agua y concentración de sales al fondo del estanque. Este método es el más aceptado por las autoridades ambientales hoy en día, sin embargo no es muy utilizado debido a la gran extensión de terreno necesario para instalar los estanques. (Desalitech, 2012)

En esta tesis se propone disponer de la salmuera mediante estanques de evaporación en caso de ser viable, ya que es el método con menor impacto ambiental y se puede dar uso a la sal obtenida. Además las condiciones ambientales de Baja California favorecen este método debido a la alta tasa de evaporación y poca precipitación anual, tal como se muestra en el Capítulo II. En caso contrario la salmuera será dispuesta a las aguas superficiales marinas.

Para calcular el área necesaria del estanque de evaporación se debe tomar la tasa de evaporación de cada región (E), la precipitación anual (R), el volumen de salmuera de salida (V_r) y proponer un factor de seguridad (f) que considere las fluctuaciones de las tasas de evaporación más altas o bajas que el promedio. Aplicando la siguiente fórmula podemos aproximar el área necesaria para el estanque de evaporación de cada región.

$$\text{Area del estanque} = \frac{V_r \left[\frac{m^3}{\text{día}} \right] * f}{E \left[\frac{m^2}{\text{día}} \right] - R \left[\frac{m^2}{\text{día}} \right]}$$

Al aplicar esta fórmula con los datos de cada región obtenidos en el capítulo II, tenemos los siguientes valores para cada zona estudio:

$$\text{Área aprox por módulo en Campo Turístico la Joya} = \frac{24.82 * 0.8}{0.0034772 - 0.00069096} = 7126.44m^2 = \mathbf{0.712 ha}$$

$$\text{Área aprox. por módulo en Puertecitos y San Felipe} = \frac{24.82 * 0.8}{0.00667288 - 0.0001972} = 3,066.24m^2 = \mathbf{0.306 ha}$$

La profundidad mínima del estanque se calcula multiplicando la tasa de evaporación por el factor de seguridad, sin embargo se recomiendan de 25 a 45 cm para maximizar la tasa de evaporación. (Mushtaque, et al., 2000)

En cuanto a los costos de construcción de los estanques de evaporación el autor Mickley propone una regla con la cual aproxima un costo de capital de aproximadamente 0.3 dólares/ft², esta cifra puede variar dependiendo los materiales a utilizar y costo de mano de obra, sin embargo esto nos ayudará a evaluar los costos de instalación de los estanque de evaporación. (Scott W, et al., 2007)

Tomando en cuenta los datos anteriores, sabemos que se pueden tratar 3.55 litros de salmuera por cada metro cuadrado del estanque de evaporación, de los cuales se obtendrían 0.18 kilogramos de sal por día.

Sabiendo que los precios de sal están entre los 70 dólares/Ton en promedio¹³, traduciéndose en escasos 94.68 MXN/m² de ingresos anuales¹⁴. Ahora al considerar los costos del terreno e infraestructura en 1,923 MXN/m²¹⁵ y 625 MXN/m² respectivamente, tenemos un gasto inicial total de 2,548 MXN/m² de costos mínimos de operación. Al comparar estos datos, resulta este tipo de tratamiento no económicamente viable.

3.4 Postratamiento del agua desalada.

El proceso de desalación es un proceso complejo en el cual hay que tener en cuenta diversos factores y detalles. Aunque la parte más importante del proceso se lleva en la DMG, el proceso no termina ahí. El agua producida necesita de un postratamiento, con el objeto de adaptar el agua al uso que se le va a dar. En el caso de este proyecto se trata de un uso doméstico, por lo cual en el postratamiento se adecuarán sus características químicas para que el agua sea potable, con el objetivo de cumplir las normativas correspondientes, las cuales se detallarán más adelante en esta tesis.

El agua desalada es un agua muy pura, es decir sin sales disueltas ni microorganismos, esto como consecuencia del destilado llevado a cabo dentro de las cámaras de vacío de la DMG, resultando así un agua que carece de los minerales benéficos para la salud, por estos motivos necesario su procesamiento (Abengoa Water, 2015). Además de carecer de sales disueltas el agua producto de la desalación contiene poca cantidad de iones de hidrógeno, lo cual provoca que el agua sea corrosiva y con baja alcalinidad, por lo cual se debe tratar hasta tener un pH de 6.7 a 7. Esto se logra mediante filtros mineralizadores cuya función es aumentar la dureza del agua y estabilizar el pH.

En el mercado existe una gran cantidad de filtros para uso doméstico, sin embargo para este proyecto se buscó un filtro que se adecuara al caudal de salida de agua de la DMG y el precio fuera accesible, encontrando como mejor opción el filtro “FC Cullwater 3078” con una capacidad máxima de mineralización de 7,000 litros/minuto.

Posteriormente, el agua producto de la mineralización se debe someter a un proceso de desinfección, el cual puede llevarse a cabo a través de medios físicos y químicos. Para este proyecto la desinfección se realizará por medio de la cloración, debido a que es el método que incurre en menos costos. El proceso de cloración debe contener 0.2 mg/l de cloro al final de todo el proceso, (Diario Oficial de la Federación, 1994) esto con el fin de eliminar los agentes patógenos del agua o bien mitigar el crecimiento de microorganismos durante la distribución. Para llevar a cabo el proceso

¹³ Según el catálogo de precios publicado por la propia Secretaría de Economía (SE, 2015)

¹⁴ Se toma en cuenta el precio de dólar a 18.80 MXN del día 7 Julio 2016

¹⁵ Basado en los precios promedio de las cotizaciones realizadas en terrenos cercanos a los puntos geotérmicos.

de cloración existen dos métodos principales los cuales son: a través de hipoclorito de sodio (cloro líquido) o mediante hipoclorito de calcio (cloro granulado) al 70%.

El procedimiento de desinfección se realizará mediante el hipoclorito de calcio ya que los costos en el mercado son menores y el manejo de cloro granulado es más sencillo en comparación a la presentación líquida.

El proceso de cloración comienza apartando 10% del agua a desinfectar en un recipiente y posteriormente añadir el cloro granulado (hipoclorito de calcio $\text{Ca}(\text{ClO})_2$) al recipiente de agua, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{Peso de cloro} = \frac{\text{Volumen de Agua} * \text{Dosis de cloro}}{\text{Concentración de cloro granulado} * 10} [\text{gr}]$$

Acto seguido se debe agitar a que el hipoclorito de calcio se disuelva y los residuos se asienten en la base del recipiente. Una vez concluido esta paso, se debe vaciar el contenido del recipiente al volumen total a desalar y finalmente esperar 30 minutos para que el cloro elimine las bacterias presentes. En la Figura 3.1 se muestra un diagrama de flujo que detalla paso a paso los procesos antes mencionados.

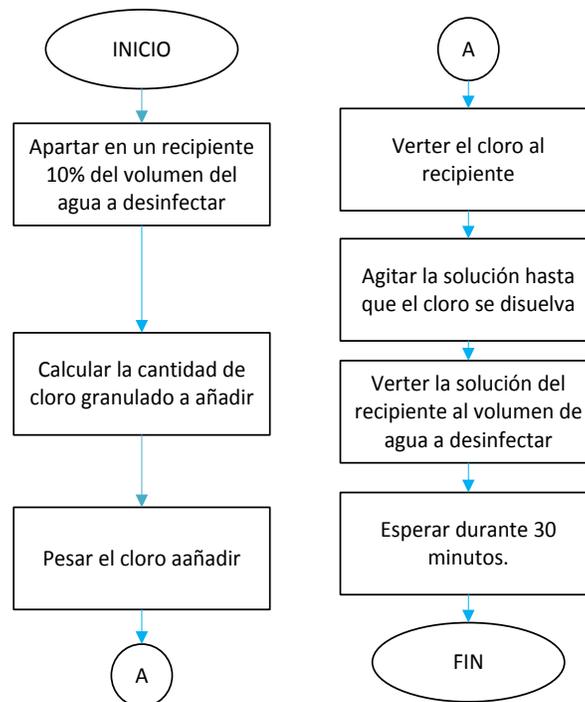


Figura 3.1 Proceso de desinfección del agua

Como podemos notar, el postratamiento de agua desalada es vital para la producción de agua dirigida al uso doméstico. El cual requiere como elementos principales el tanque de mineralización, calorificación y tanque de almacenamiento, cuyos costos se verán reflejados en el análisis económico.

3.4 Plan de Implementación (Tamaño de la Planta)

En cualquier proyecto la planeación es de suma importancia, debido a que planear nos ayuda a calcular el tiempo y los recursos necesarios para llevar el proyecto de una manera adecuada. Por lo que en este subcapítulo se plantea la base de la planificación al mostrar el número de módulos que se requiere en cada zona de estudio en un horizonte de veintiocho años, correspondientes a la vida útil de la DMG.

Cabe aclarar que esta planeación no se debe hacer solamente al inicio del proyecto, sino cada determinado tiempo ya que las variables del entorno y poblacionales son muy dinámicas.

De acuerdo a las características operativas y los datos obtenidos del estudio de mercado referente al análisis de la oferta y demanda, se calculó la cantidad de módulos necesarios para cubrir la demanda insatisfecha de cada zona mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Demanda Insatisfecha} = \text{Demanda Total}^{16} * (\% \text{ de Abandono})^{17}$$

$$N^{\circ} \text{ de módulos} = \frac{\text{Demanda Insatisfecha} * \% \text{ Alivio}^{18}}{\text{Capacidad de la Desaladora}}$$

Con el objetivo de presentar más de una opción a las autoridades para mitigar la carencia de agua, se plantea en esta tesis tres casos alternativos con distintos porcentajes de alivio.¹⁹

Caso 1: Se presenta cuando se desea cubrir al 100% la tasa de abandono, mitigando así a toda la demanda insatisfecha. Este caso será el primero en proponerse y siempre el ideal, obteniendo el mayor beneficio social. Además será con el que se trabajará en esta tesis.

Caso 2: Esta posibilidad se plantea cuando se decide cubrir solamente el 75% la tasa de abandono y se muestra como una alternativa a en el supuesto de que no se desee abarcar toda la demanda insatisfecha debido a la oferta no gubernamental existente, o bien cuando no se cuenta con el presupuesto para costear las inversiones del primer caso.

Caso 3: Esta posibilidad es la menos deseable pero se muestra como última alternativa de negociación para persuadir a las autoridades de llevar a cabo el proyecto y se presenta cuando el decidir 50%.

¹⁶ Demanda en litros de toda la población de la región

¹⁷ Complemento de la cobertura.

¹⁸ Capacidad de satisfacer el porcentaje de abandono

¹⁹ Los dichos porcentajes fueron propuestos por el autor de esta tesis como caso ilustrativo de tres de las muchas alternativas posibles, sin embargo estas pueden ser modificados en la hoja de Excel correspondiente

Sustituyendo los datos obtenidos anteriormente y aplicándolos a la fórmula anterior, se obtienen los Gráficos 3.2, 3.3 y 3.4, que muestran el número de módulos necesarios de acuerdo al aumento en la demanda anual en los tres diferentes casos dentro de un horizonte temporal de 29 años.

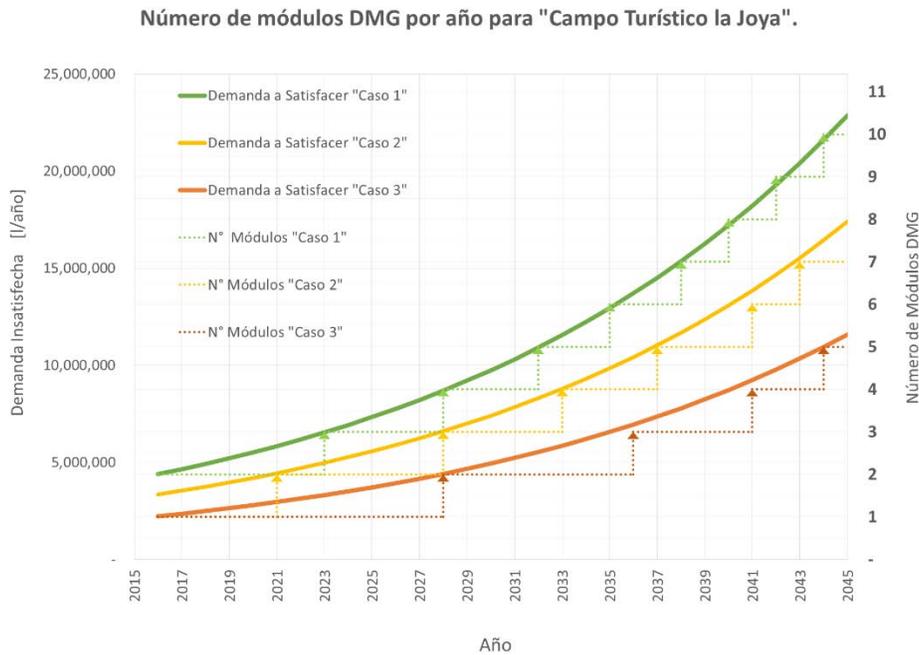


Gráfico 3.2 Horizonte Temporal para la instalación de módulos DMG para con distintos "Campo Turístico la Joya"

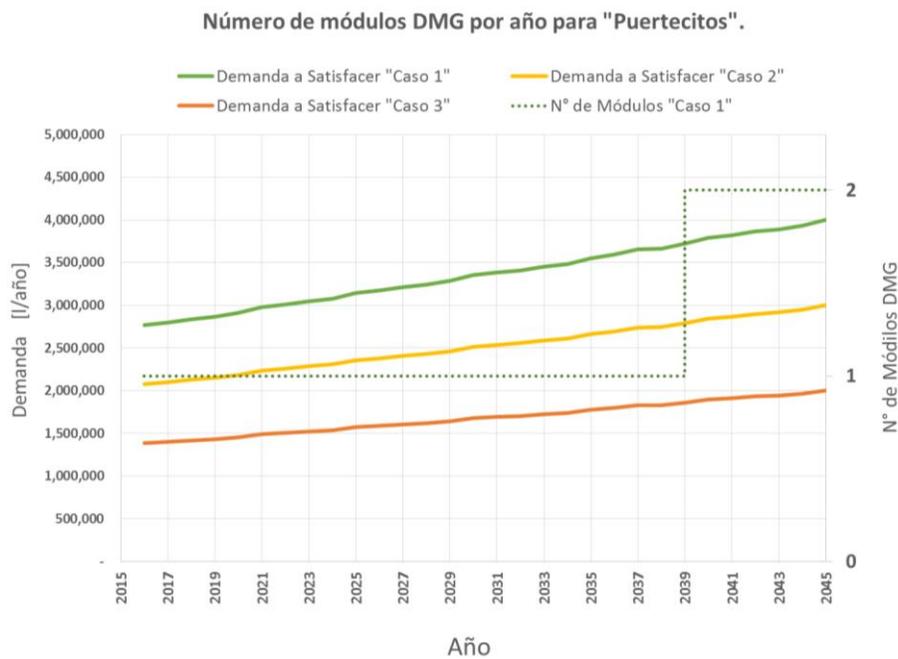


Gráfico 3.3 Horizonte Temporal para la instalación de módulos DMG para "Puertecitos".

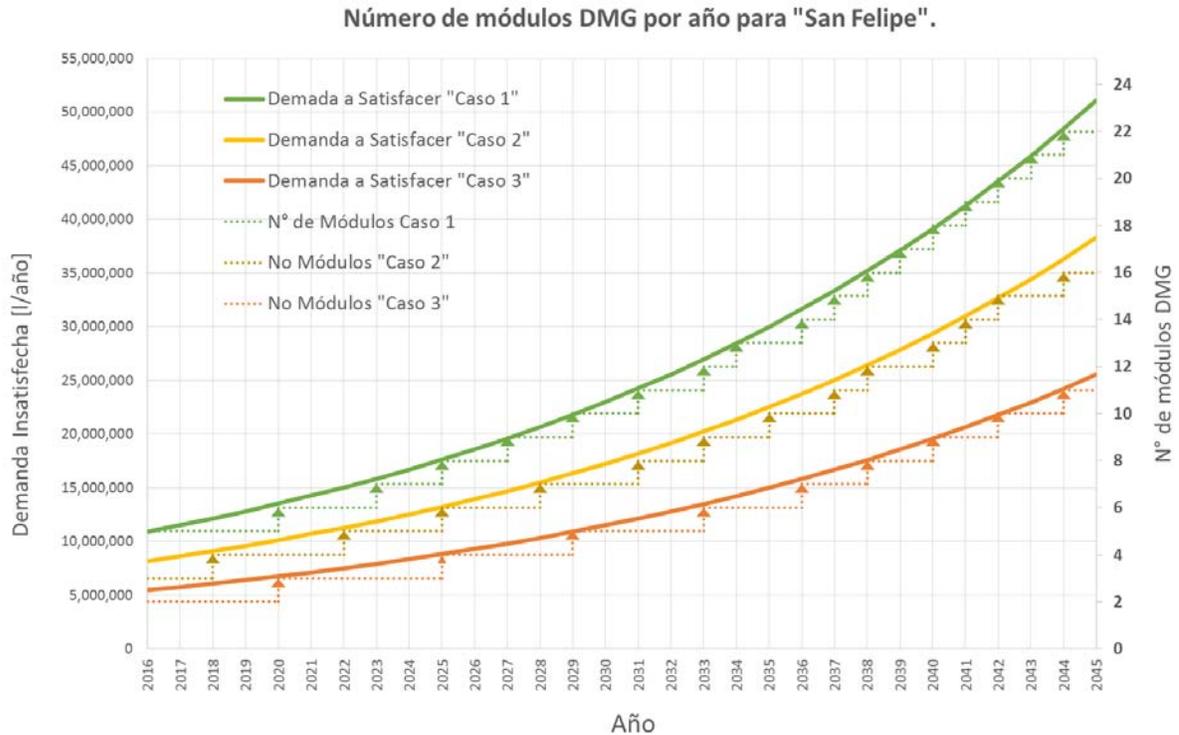


Gráfico 3.4 Horizonte Temporal para la instalación de módulos DMG para "San Felipe"

Una vez obtenidos todos los requerimientos para producir agua potable de uso doméstico, es posible calcular el terreno necesario para la instalación de nuestra planta de purificación, en la cual tomando en cuenta dimensiones de cada módulo, tanque de filtración, tanque de almacenamiento, resulta un espacio de 8x8 metros de terreno para cada módulo de la DMG

3.5 Políticas y Normatividad aplicable al proyecto

Para llevar a cabo este proyecto es necesario cumplir las leyes del país en cuanto a la extracción de agua de mar, el aprovechamiento de energía geotérmica y la descarga de las aguas residuales. Para lo cual tenemos que consultar la legislación y seguir las normas que atañen a este proyecto.

Cabe mencionar que el tema de desalación de agua de mar es relativamente nuevo en México, ya que la palabra “desalinización” fue mencionada por primera vez en la Ley de Aguas Nacionales en el año de 2004. A continuación se enuncian las normas y procedimientos que se deben seguir para la correcta implementación del proyecto.

3.5.1 Concesión de agua de mar.

En la República mexicana el agua es considerada como propiedad de la nación tal como lo marca el Artículo 27 de la Constitución, y que su uso y explotación es concedido por el Presidente de México, por medio de la CONAGUA.

Tratándose de la extracción de aguas marinas, esta es regulada por la Ley de Aguas Nacionales. Dictándose en el artículo 17 que: “No se requerirá concesión para la extracción de aguas marinas interiores y del mar territorial, para su explotación, uso o aprovechamiento, salvo aquellas que tengan como fin la desalinización, las cuales serán objeto de concesión. (Artículo reformado mediante Decreto publicado en el Diario Oficial de la Federación el 29 de abril de 2004)”. Así la desalación en México requiere de una concesión expedida por CONAGUA de un mínimo de cinco años y un máximo de treinta, tal como lo marca el Artículo 24 de dicha ley.

Sin embargo la Ley de Aguas Nacionales no enmarca si existe una cuota por la extracción de aguas marinas, no obstante la Ley Federal de Derechos del 2014 establece dentro del Artículo 224 fracción XI que si se extrae agua directamente del océano, no hay pago de derechos. No obstante se debe realizar un estudio ambiental para corroborar que no exista daño a la fauna marina. (Pineda Pablos, s.f.)

3.5.2 Concesión energía geotérmica

En cuanto al aprovechamiento de la energía geotérmica se encuentra actualmente normado por la Ley de Energía Geotérmica y su Reglamento, publicados en el Diario Oficial de la Federación el 11 de Agosto y 31 de Octubre del 2014 respectivamente. El objeto de estos ordenamientos es establecer los requisitos, procedimientos y demás actos que permitan la realización de las actividades de Reconocimiento, Exploración y Explotación de Recursos Geotérmicos, para el aprovechamiento de la energía térmica del subsuelo dentro de los límites del territorio nacional, con el fin de generar energía eléctrica o destinarla a usos diversos (directos).

Dado que esta Ley y su Reglamento se enfocan principalmente en el aprovechamiento de la energía geotérmica para la producción eléctrica y no profundizan en los usos diversos²⁰ de la misma, para un mejor entendimiento y comprensión de la Ley se presentó ante la SENER, por parte del grupo iiDEA del Instituto de Ingeniería de la UNAM, una solicitud de información detallada para la obtención de concesiones para la utilización del recurso térmico de baja temperatura en usos

²⁰ De acuerdo con la fracción VIII del artículo 2° del Reglamento de la Ley de Energía Geotérmica, por “Usos Diversos” debe entenderse: *Aquellos usos en los que se puede aprovechar la energía geotérmica diferente a la generación de energía eléctrica, entre los que se encuentran, la calefacción urbana o de invernaderos, elaboración de conservas, secado de productos agrícolas o industriales, deshielo, lavado de lana y tintes, refrigeración por absorción o por absorción con amoníaco, extracción de sustancias químicas, destilación de agua dulce, recuperación de metales, evaporación de soluciones concentradas, fabricación de pulpa de papel, los cuales deberán señalarse en el título de Concesión que al efecto otorgue la Secretaría.*

diversos o directos el día 19 de Marzo del 2015, recibíéndose como respuesta un documento con número de oficio DGEL/211/589/2015 emitido el día 30 de Marzo del mismo año con los puntos de interés explicados a detalle, el cual se presentan en el anexo número dos de esta tesis.

3.5.3 La disposición y descarga de aguas residuales

Esta actividad es regulada por la SEMARNAT la cual, antes de otorgar una concesión, tiene que hacer un estudio de impacto ambiental (EIP) y es responsable de la supervisión y monitoreo de la operación del proceso de desalinización así como de la disposición de las aguas residuales.

El proceso puede ser llevado a cabo de las siguientes maneras:

- a) Descargando las sales y aguas residuales en el mar. El permiso para esto depende del EIP e implicaría el pago de un derecho dependiendo lo establecido por la SEMARNAT.
- b) Disponiendo las sales y aguas residuales en tierra, por ejemplo en pozos. Este permiso depende también del EIP y también implicaría el pago de un derecho.
- c) Exportar o reciclar y reusar las sales. No requiere de EIP y no implica pago de derecho.

En lo que se refiere a la cantidad máxima de contaminantes la Ley Federal de Derechos (LFD) de 2015 se establece un procedimiento que implica determinar el método de muestreo y análisis (El procedimiento de muestreo está definido en la Norma Oficial Mexicana NOM-AA-003-109, publicada en el Diario Oficial de la Federación del 25 de marzo de 1980) y luego una certificación del resultado por un laboratorio autorizado por la CONAGUA.

3.5.4 Agua para uso doméstico.

Debido a que el fin destinado del agua desalada será el uso doméstico, el recurso deberá cumplir ciertos estándares de calidad para poder llevar a cabo su distribución dentro del territorio nacional, los cuales están establecidos en la Norma Oficial Mexicana "NOM 127-SSA1-1994, Salud Ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización". Dentro de esta norma se fijan los límites permisibles de constituyentes químicos, por los cuales no nos debemos ocupar, debido a que el proceso de desalación elimina aproximadamente el 99% de los sólidos suspendidos del agua (Salmerón Vergara, 2012). Sin embargo hay que tener en cuenta cumplir con los límites de salinidad de 100 a 1000 [ppm] y pH 6.5 a 8.5 ya que estos se ven disminuidos dramáticamente por el mismo proceso de desalación.

En cuanto a los requisitos sanitarios de abastecimiento de agua para uso y consumo humano se ven regidos por la norma NOM-230-SSA1-2002 "Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Requisitos sanitarios que deben cumplir con los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua. Procedimientos sanitarios para el muestreo", la cual establece los

requisitos sanitarios que deben cumplir los sistemas de abastecimiento de agua para uso y consumo humano públicos y privados para preservar su calidad.

Los puntos más importantes a destacar de la norma y que se aplican a nuestro proyecto serán:

- Las obras de captación, tanques de almacenamiento o regulación, plantas potabilizadoras y estaciones de bombeo, deben protegerse mediante cercas de malla de alambre o muros que impidan la introducción de desechos sólidos, líquidos o excretos y el paso de animales. La obra de captación debe mantenerse libre de malezas permanentemente.
- El acceso a las obras de captación, tanques de almacenamiento o regulación, plantas potabilizadoras y estaciones de bombeo, deben protegerse con bardas y puertas con cerraduras, candados o sistemas de seguridad y permitir la entrada únicamente a personal autorizado.
- Las tuberías que conducen agua en las distintas etapas del proceso o fluidos diferentes de ésta, se deben identificar de acuerdo con el código propio de la empresa. Cualquier forma y código de identificación debe ser visible para el personal.
- Debe existir un programa de limpieza que garantice la preservación de la calidad del agua. La limpieza debe incluir la extracción de sólidos sedimentados y remoción de materiales incrustados, en el caso de la DMG dicha limpieza se realizará dos veces por año.

Al cumplir los requerimientos legales se puede asegurar que el agua que produciremos será segura para el uso final que se le desee dar.

Conclusiones

En este capítulo se lograron detallar los requerimientos técnicos operacionales de la DMG, ayudando a calcular el número de cámaras necesarias para cada región a lo largo del tiempo de vida del sistema. De igual forma se tomaron en cuenta los pasos del proceso de potabilización del agua, identificando el equipo necesario para el postratamiento de agua desalada. Con esta información se propuso un plan de implementación necesario para la potabilización de agua de mar tomando en cuenta las características de los equipos y los procesos de tratamiento.

También se mencionaron los requerimientos legales para llevar a cabo la desalación mediante la DMG, con el fin de evitar el incurrir en ninguna falta legal, cumplir con normas de calidad del agua potable y conocer el proceso administrativo con el que se debe cumplir al hacer uso de la energía geotérmica, agua salada y descarga de aguas residuales.

Capítulo IV: Estudio Económico

Este capítulo tiene como objetivo conocer cuál es la suma de recursos económicos necesarios para una implementación económicamente viable del proyecto, presentándose las inversiones necesarias a realizar dependiendo del número de módulos que se desee instalar, de acuerdo al plan de implementación.

De igual manera se responderá a las siguientes preguntas ¿Qué inversión debe hacer el estado para adquirir el agua potable necesaria para satisfacer a toda la población desabastecida de agua?, ¿Con qué número de módulos y hasta qué año se satisfecerá al 100% de la población?, ¿Cuál es el precio mínimo al cual se puede vender el agua para no reportar pérdidas?, ¿Con cuántos módulos se recupera la inversión más pronto? Para responder estas preguntas se desplegarán diversas opciones de inversión que consideren distintos horizontes temporales.

Finalmente el proyecto se evaluará considerando el valor del dinero en el tiempo, el criterio que se utilizará para determinar la rentabilidad del proyecto será el de valor presente neto (VPN), sin embargo se realizará la estimación de la tasa interna de retorno (TIR) como factor de estudio y se calculará el tiempo de retorno de la inversión (Tr), así como la relación beneficio-costos (b/c).²¹

4.1 Datos Generales

Debido a la diferencia entre demandas de las distintas zonas de estudio, el análisis económico será diferente para cada región, ya que como se demostró anteriormente, el número de desoladoras difiere dependiendo de distintas variables como la demanda, el porcentaje de cobertura, niveles socioeconómicos y los costos relacionados con la obtención de agua potable. A pesar de esto, los costos unitarios directos se estandarizaron, ya que en Baja California los costos no difieren significativamente. Los datos se detallan a continuación.

INVERSIONES		
Concepto	Costo	Explicación
DMG	\$ 200,000.00	Este costo se basó en las cotizaciones realizadas por cada componente del sistema y costo de manufactura así como el costo de la tubería para alimentar al sistema de agua de mar y de recurso geotérmico.
Perforación pozo geotérmicos	\$ 100,000.00	Costo aproximado de pozo recomendable de 70 cm de diámetro y suponiendo que el recurso se encuentra a aproximadamente 26 metros. (Mora, 2016)
Filtro de mineralización	\$ 16,000.00	Costo del Filtro FC 3078 con una capacidad máxima de mineralización de 7,000 litros/minuto.

²¹ Este capítulo solamente se detallará el Caso 1 donde se planea cubrir al 100% la demanda insatisfecha

Tanque almacenamiento de agua	\$ 9,000.00	Costo de Tanque "Etemit" con capacidad de 6,000 litros.
Herramental	\$ 15,000.00	Costo de las herramientas utilizadas para puesta en marcha y mantenimiento del equipo.
Patente	\$ 20,000.00	Costo aproximado de la patente. (Esta cantidad puede ser variable y depende de la capacidad de negociación del comprador), además del costo, se debe considerar el pago del 3% de las utilidades brutas del proyecto
Estudio Impacto Ambiental	\$ 20,000.00	Costo estimado si el Grupo iiDEA realiza el estudio (Aviña Jimenez, 2016).
Pago de derechos por disposición de salmuera	\$ 30,069.45	Pago de derechos por disposición de salmuera (Tarifa establecida por la SEMARNAT conforme al Anexo 19 de la Resolución Miscelánea Fiscal para 2016) y presupuesto para realizar demás trámites correspondientes
Personal puesta en marcha	\$ 30,000.00	Estimando un tiempo de 2 meses para la instalación del equipo y capacitación del operario.
Infraestructura requerida	\$ 35,000.00	Se considera una cabina de panel para la operación del sistema. En este rubro se consideró un material resistente a las condiciones de cada sitio y las dimensiones estimadas son de 8mX8m, con una ventana y una puerta, que también están incluidos en el costo indicado. El valor corresponde a un promedio de diversas cotizaciones realizadas e incluye el costo de instalación en sitio.
Terreno por m ²	\$ 2,103.28	Para este costo se tomaron en cuenta los costos de diversos terrenos en a zonas de baja california cerca de la costa y se realizó un promedio (Se considera que para la instalación de cada desaladora se ocupará un terreno de 64m ² aproximadamente)

Tabla 4.1 Inversiones necesarias para el proyecto

COSTOS FIJOS POR DMG		
Concepto	Costos anuales	Explicación
Mantenimiento	\$ 10,000.00	Costo para dar mantenimiento preventivo a una DMG dos veces al año, aceitar constantemente las bombas de agua y añadir minerales al filtro.
Personal de Planta	\$ 60,000.00	Se considera una persona por DMG que se haga cargo del proceso de cloración y despache el agua.
Consumo eléctrico	\$ 3,591.00	Tomado en cuenta para el consumo total de la DMG y calculando un aumento anual del 5% según precios históricos

Tabla 4.2 Costos fijos por DMG

INGRESOS		
Concepto	Costo	Explicación
Venta de agua potable	0.05 MXN/litro	Estableciendo un costo competitivo por debajo de lo que ofrece el servicio de pipas y desaladoras paquete de Osmosis Inversa.

Tabla 4.3 . Ingresos por ventas

DEPRECIACIONES Y AMORTIZACIONES		
Concepto	Cantidad	Explicación
Tasa depreciación Infraestructura	5%	Ley ISR
Tasa de depreciación para maquinaria y equipo (sistemas de desalación, equipo y herramientas)	15%	
Patente DMG	15%	

Tabla 4.4 Tasas de Depreciaciones y Amortizaciones que intervienen en la evaluación

Aumento en Precios.		
Concepto	Porcentaje Anual	Justificación
Aumento en costos del agua	4.21%	Se obtuvo como el promedio en el aumento de los precios históricos del agua en Baja California de los últimos diez años (Comision Estatal de Aguas de Baja California , 2015)
Aumento en costos de la electricidad tarifa doméstica	4.71%	Se obtuvo como el promedio del aumento anual de los precios históricos de la electricidad de los últimos diez años (El Financiero, 2016)
Aumento en la Inflación	4.65%	Se obtuvo como el promedio del aumento anual de los precios históricos de la electricidad de los últimos diez años. (Centro de Estudios de Finanzas Públicas, 2016). Se considera que los equipos y cloro aumentarán de acuerdo al valor de la inflación.
Aumento en Salarios	3.52%	Se obtuvo como el promedio del aumento anual de los salarios mínimos en los últimos diez años en la Zona A. (Secretaría de Acienda y Crédito Público, 2016)

Tabla 4.5 Tasa de Aumento en los factores de evaluación del proyecto

IMPUESTOS		
Concepto	Cantidad	Justificación
ISR	30%	Ley ISR

Tabla 4.6 Impuestos que intervienen en el proyecto

Cabe mencionar que no se manejan costos variables ya que se contará con una producción determinada y fija a lo largo del proyecto.

Una vez obtenidos los datos necesarios para el estudio económico, se generan una serie de corridas financieras para conocer el valor de los indicadores del dinero en el tiempo, con el fin de mostrar la variedad de opciones existentes en cuanto al número de módulos a instalar en cada región de acuerdo a la demanda insatisfecha total

Se tomará en cuenta el VPN hasta el 2045; al igual que relación Beneficio Costo y la Tasa Interna de Retorno, indicadores que pueden influir de igual manera en la toma de decisión de las autoridades locales para determinar la mejor opción que convenga a las necesidades de la población.

4.2 Análisis Económico, Campo Turístico la Joya

Con el propósito de averiguar el número de módulos que podrían satisfacer de forma económicamente viable a la demanda insatisfecha a cualquier lapso de tiempo, se generó el Gráfico 4.1, el cual muestra el Valor Presente de cada año en función al número de módulos a instalarse; donde la región en color rojo indica cuando el proyecto no es viable, la curva en color negro refleja la demanda no cubierta por el estado y la zona sombreada representa una producción mayor a demandada.

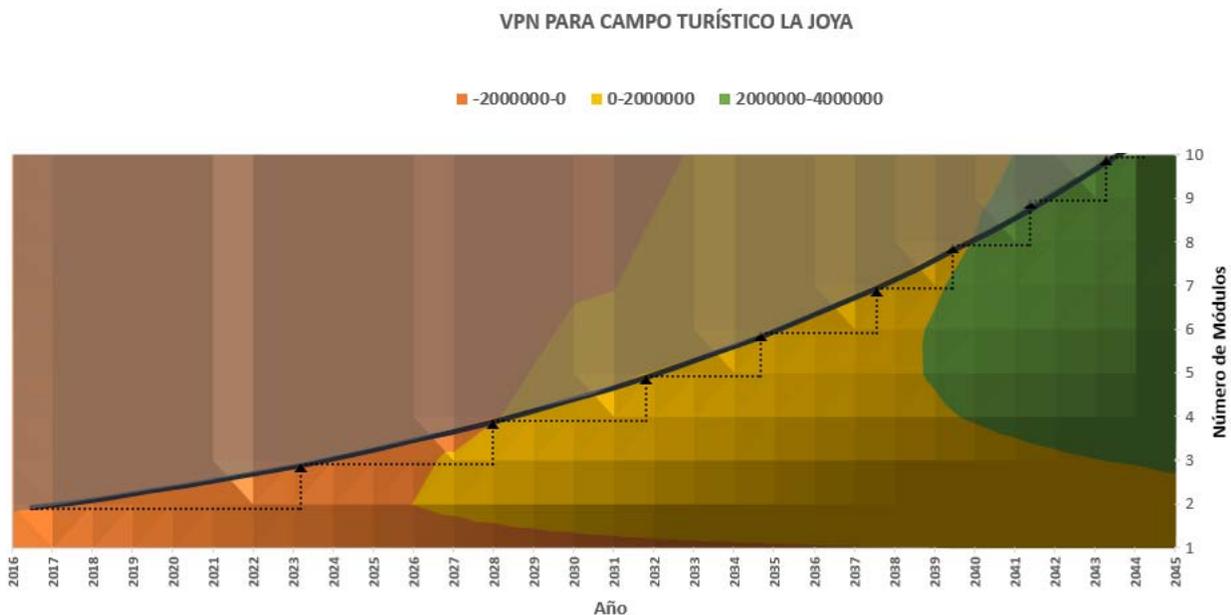


Gráfico 4.1 VPN para Campo Turístico la Joya en función del Número de Módulos

Con este gráfico podemos ubicar el rendimiento en términos del VPN, que se obtendrá de acuerdo un tiempo establecido, por ejemplo, si se desea llevarse a cabo este proyecto solamente para el

sexenio siguiente, el proyecto no será viable en el mediano plazo, ya que si se desea un lapso menor a diez años se observa un Valor Presente negativo.

También este gráfico nos da la posibilidad de ubicar el rendimiento en términos del VPN dependiendo del número de módulos que se deseen instalar, es decir, si las autoridades deciden únicamente invertir en cuatro módulos sabremos que estamos cubriendo la demanda únicamente para el año 2028 y que al año 2045 tendremos un VPN entre los dos millones y cuatro millones.

De igual manera notamos que en el caso de instalarse solamente un módulo, el proyecto es económicamente viable al 2045, aunque Valor Presente al final del proyecto sería relativamente bajo, la Tasa de Retorno lenta y no se están cubriendo las necesidades demandadas por la población. Pero se demuestra la factibilidad en el peor de los casos presentados.

Sin embargo lo que se busca es el bienestar de la toda la población que únicamente se detallará el caso en donde instalen los diez módulos correspondientes para tener la mayor cobertura hasta el 2045.

En seguida se presenta en el Gráfico 4.2 el comportamiento de las principales variables que intervienen en el flujo de efectivo y de la variación del VPN acumulado anual a lo largo del tiempo, con lo cual es posible visualizar que el tiempo de retorno corresponde al tiempo en el cual dicho VPN es igual a cero, los valores se pueden consultar en el Anexo 4, Tabla C

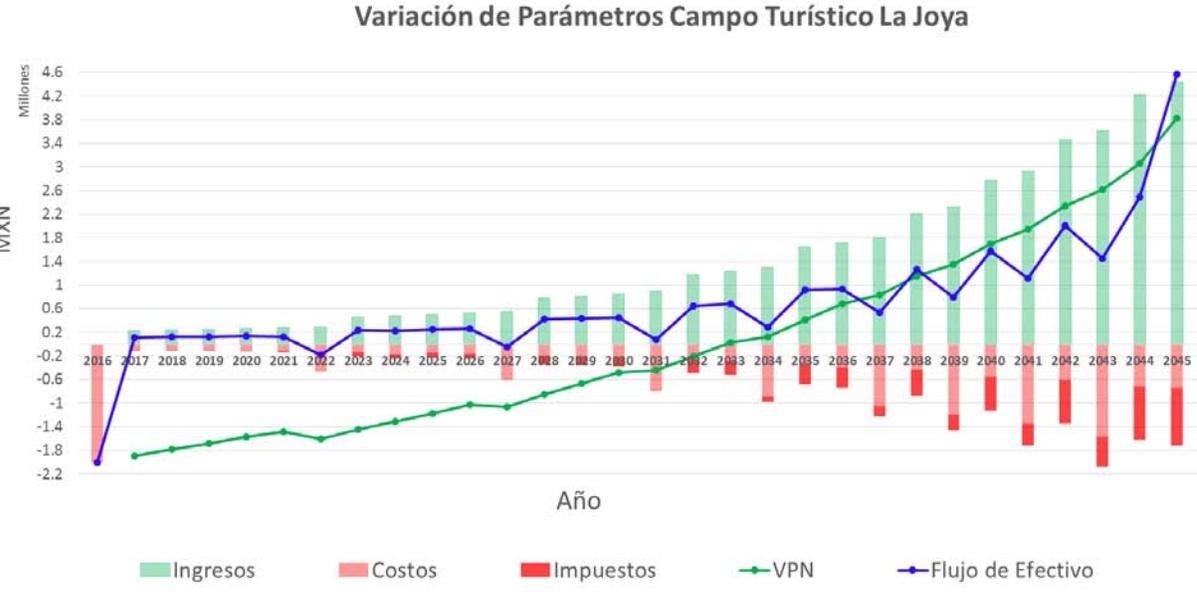


Gráfico 4.2 Flujos y Parámetros de Campo Turístico la Joya

Una vez obtenido el flujo de efectivo, es posible calcular los parámetros útiles para el análisis de la rentabilidad del proyecto, de lo cual se obtuvieron los siguientes resultados.

Inversión Inicial	
\$2,104,169	
Índice de Rentabilidad	Valor
TIR (Tasa interna de Retorno)	13%
VPN (Valor Presente Neto)	\$3,503,389.81
B/C (Beneficio Costo)	1.85
TR años (Tiempo de Retorno)	18

Tabla 4.7 Parámetros de Rentabilidad del proyecto para Campo Turístico la Joya

De lo anterior se puede concluir que de acuerdo con los resultados del modelo financiero y los cálculos realizados, el proyecto es rentable puesto que la TIR, el VPN y la relación Beneficio-Costo resultaron positivos. Por otro lado, en cuanto a la tasa de descuento calculada, al ser mayor a la tasa de descuento del 6.3604% (Calculada en el Anexo 3), se demuestra que la inversión es conveniente y se justifica con los parámetros de rentabilidad obtenidos.

4.2.1 Gráficas y Análisis de Sensibilidad, Campo Turístico la Joya.

En este subcapítulo se muestra un análisis de sensibilidad en donde se varían los factores de dependencia más importantes dentro del análisis de rentabilidad del proyecto. El objetivo es conocer el rango de valores de qué factores pueden tomar y así realizar las conclusiones correspondientes que permitan realizar una toma de decisiones adecuada.

En primer lugar se muestra en el Gráfico 4.3 la variación del precio de venta del agua potable sobre los parámetros de rentabilidad, donde en color verde se representan las zonas con un VPN positivo y en matiz rosado las regiones donde el proyecto no es viable.

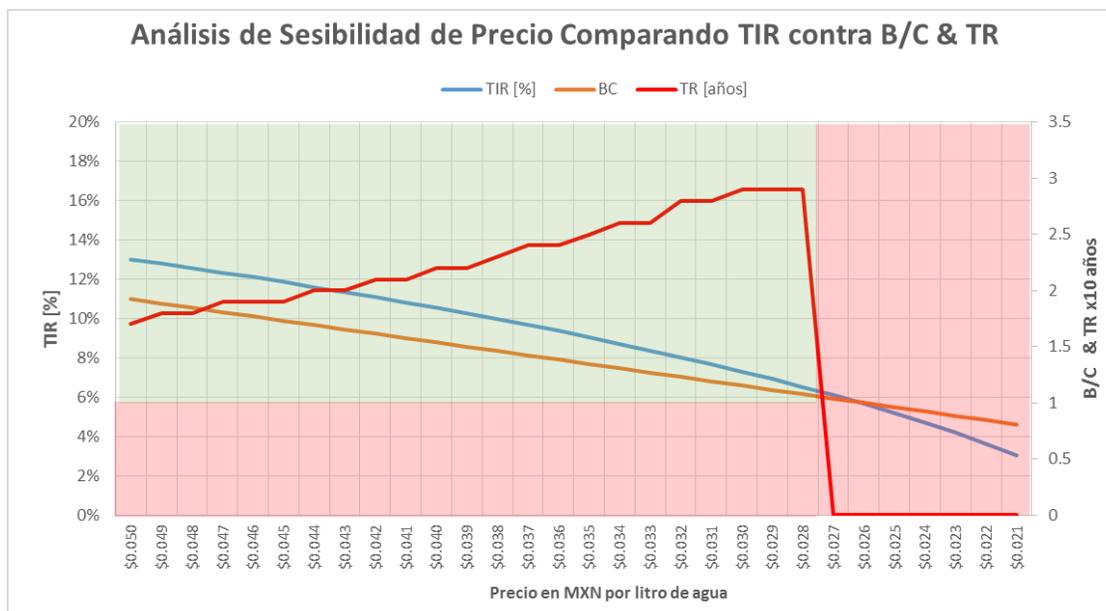


Gráfico 4.3 Dependencia de la rentabilidad con respecto al precio del agua en Campo Turístico la Joya

En el Gráfico se observa que el punto crítico se presenta para un precio de venta de **0.028 MXN/litro**, cualquier valor inferior a esta cifra genera una discontinuidad en TR debida a que el VPN se vuelve negativo. Por lo anterior se establece que el valor mínimo al que se puede ofrecer el litro de agua potable es de 0.028 pesos.

Por otro lado, existe un rango definido por la intersección de las curvas correspondientes a TR y a la relación B/C que permite conocer el intervalo ideal que presenta mejores rendimientos para el proyecto, el cual va de 0.05 a 0.048, por lo que se debe procurar que el precio del agua a negociar se encuentre dentro de este rango o la más cercano posible para obtener mejores beneficios.

Recordemos que el precio máximo de venta se encuentra definido por el precio obtenido en el estudio de mercado siendo de \$0.05 MXN/litro, por lo que para el proyecto en esta zona se cuenta un rango de precios amplio para negociar.

Por otro lado, tomando en cuenta la dependencia del proyecto con respecto al precio de la DMG, se presenta el Gráfico 4.4

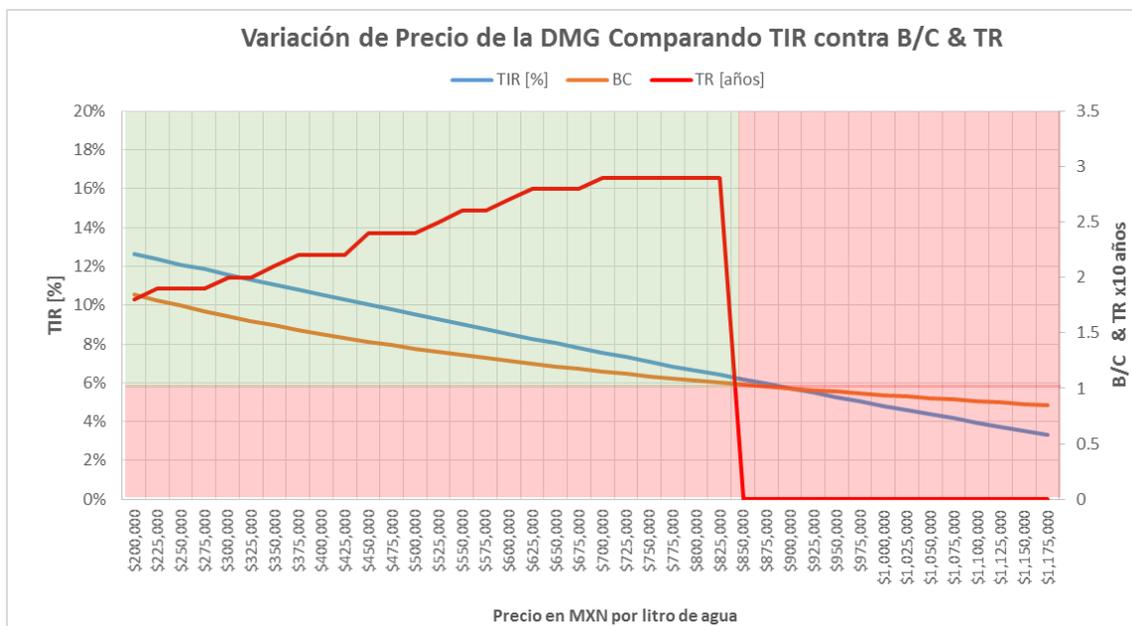


Gráfico 4.4 Dependencia de la rentabilidad con respecto al costo de la DMG en Campo Turístico la Joya

En el Gráfico 4.4 notamos una discontinuidad en la recta del TR en el precio de 780,858.24 MXN por lo que se puede concluir que el costo del equipo no puede rebasar esta cifra ya que el VPN será negativo para costos mayores a este; sin embargo si existe un rango que proporciona mejores beneficios al proyecto y se encuentra definido por el punto de intersección entre las curvas de la TIR y la relación B/C, cuyo límite superior se fija en aproximadamente \$225,000.0; cualquier monto por debajo de este valor genera un beneficio en todos los parámetros de rentabilidad.

Esta gráfica es útil para el caso en el cual se planeen modificaciones significativas en el sistema, ya que una vez evaluadas es posible conocer si resulta conveniente su realización o no dependiendo de los beneficios que ofrezcan las mismas.

Por último se muestran los valores límite de los costos que no debemos sobrepasar para tener un VPN positivo al final del proyecto. Dichos valores se muestran en la Tabla 4.8

Concepto	Costo Límite
Terreno	\$9,094.88 x m ²
Pozo	\$3,872,336.09
Infraestructura	\$619,470.31
Mantenimiento	\$57,424.05

Tabla 4.8 Costos límite para Campo Turístico la Joya

Comparando esta tabla con los datos que obtuvimos en el subcapítulo 4.1 notamos que tenemos un buen margen en cuanto a costos para realizar las adquisiciones necesarias para llevar a cabo el proyecto.

4.3 Análisis Económico, Puertecitos.

Como se pudo observar en el capítulo III, en este escenario la poca demanda esperada solo nos deja tres casos a evaluar, los cuales son: instalar un módulo desde el año cero, instalar los dos módulos desde el año cero, o bien instalar un módulo en el año cero e implementar el segundo en el año 2039 cuando este se vaya a ocupar al cien por ciento. Para saber que caso nos es más conveniente se realizó el Gráfico 4.5 que muestra el VPN dependiendo del número de módulos.

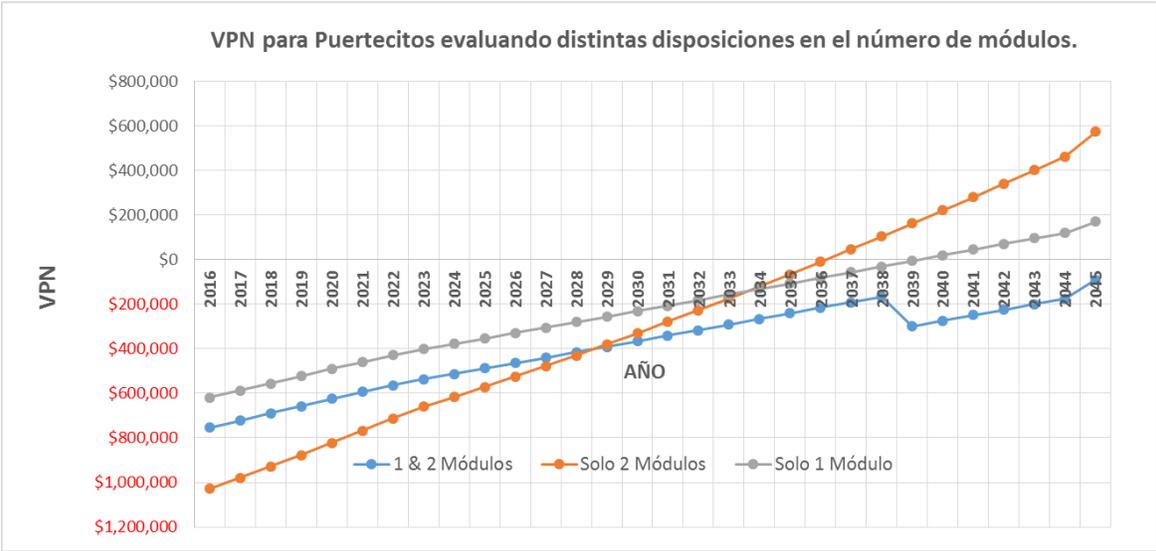


Gráfico 4.5 VPN para Puertecitos en función del número de módulos

En este gráfico podemos notar que la instalación de dos módulos desde el año cero es la mejor opción ya que obtenemos mayores rendimientos del VPN al final del proyecto y además se satisface toda demanda que no es cubierta por el estado. En el caso contrario de invertir en un solo módulo no cubriríamos dicha demanda y el tiempo de retorno sería menor. En el caso de implementar el segundo módulo cuando ese se pueda ocupar al cien por ciento en el año 2039 el proyecto ya no resulta viable.

Debido a la explicación anterior se trabajará con la disposición de dos módulos desde el inicio.

En seguida se presenta en el Gráfico 4.6 el comportamiento de las principales variables que intervienen en el flujo de efectivo y de la variación del VPN acumulado anual a lo largo del tiempo, con lo cual es posible visualizar que el tiempo de retorno corresponde al tiempo en el cual dicho VPN es igual a cero, los valores se pueden consultar en el Anexo 4, Tabla B.

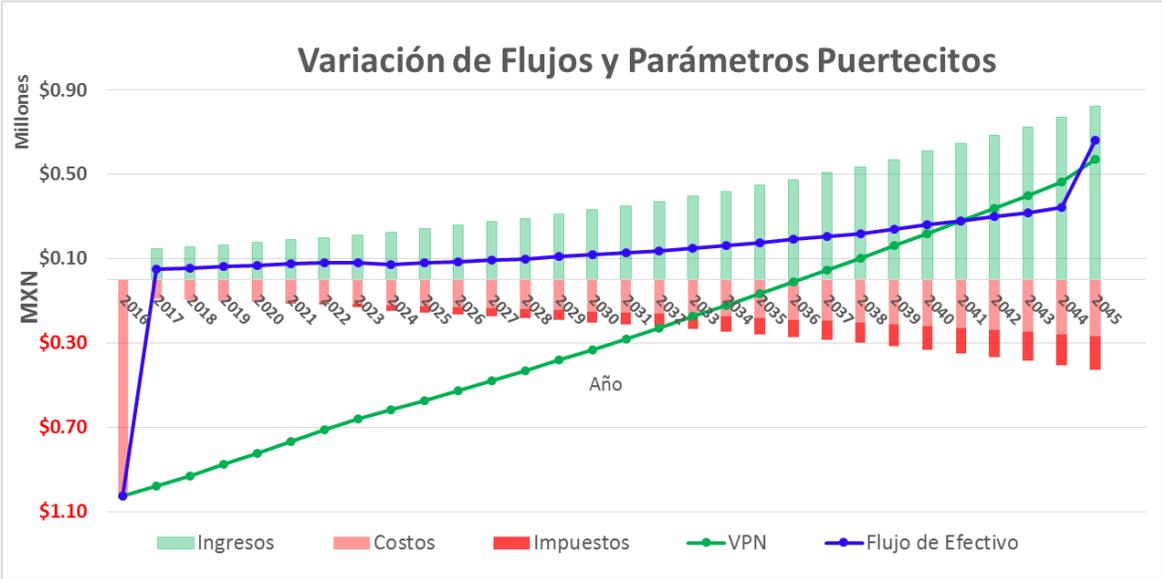


Gráfico 4.6 Flujos y Parámetros de Puertecitos

Una vez obtenido el flujo de efectivo, se calculan los parámetros útiles para el análisis de la rentabilidad del proyecto, en donde se obtuvieron los siguientes resultados, mostrados en la Tabla 4.9

Inversión Inicial	
\$1,616,259	
Índice de Rentabilidad	Valor
TIR (Tasa interna de Retorno)	10%
VPN (Valor Presente Neto)	\$538,572.90
B/C (Beneficio Costo)	1.32
TR años (Tiempo de Retorno)	22

Tabla 4.9 . Parámetros de Rentabilidad del proyecto para Puertecitos

Con los resultados anteriores podemos concluir que el proyecto resulta ser rentable puesto que la TIR, el VPN y la relación Beneficio-Costo son positivos. Además la tasa de descuento, es mayor a la tasa de descuento igual al 6.3604%, con lo cual concluimos que el proyecto en esta zona también resulta económicamente viable.

4.3.1 Gráficas y Análisis de Sensibilidad, Puertecitos.

Tal como en el análisis de sensibilidad para Campo Turístico la Joya, se evalúa la variación del precio de venta del agua potable sobre los parámetros de rentabilidad, donde en color verde se representan las zonas con un VPN positivo y en matiz rosado las regiones donde el proyecto no es viable.

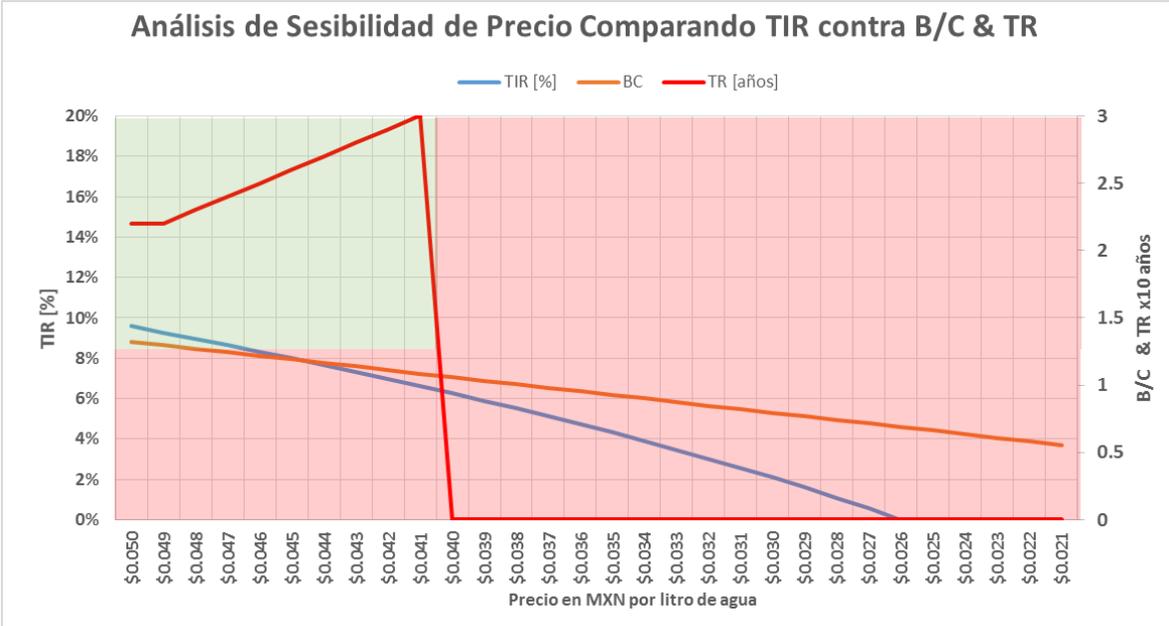


Gráfico 4.7 Dependencia de la rentabilidad con respecto al precio del agua en Puertecitos

En el Gráfico 4.7 podemos observar que el área de viabilidad representado con color verde es reducida, donde el precio límite de venta de 0.0402 MXN/litro, dándonos poco margen de variación del precio del recurso.

Al realizar el mismo análisis con respecto al costo del sistema DMG, se muestra el Gráfico 4.8

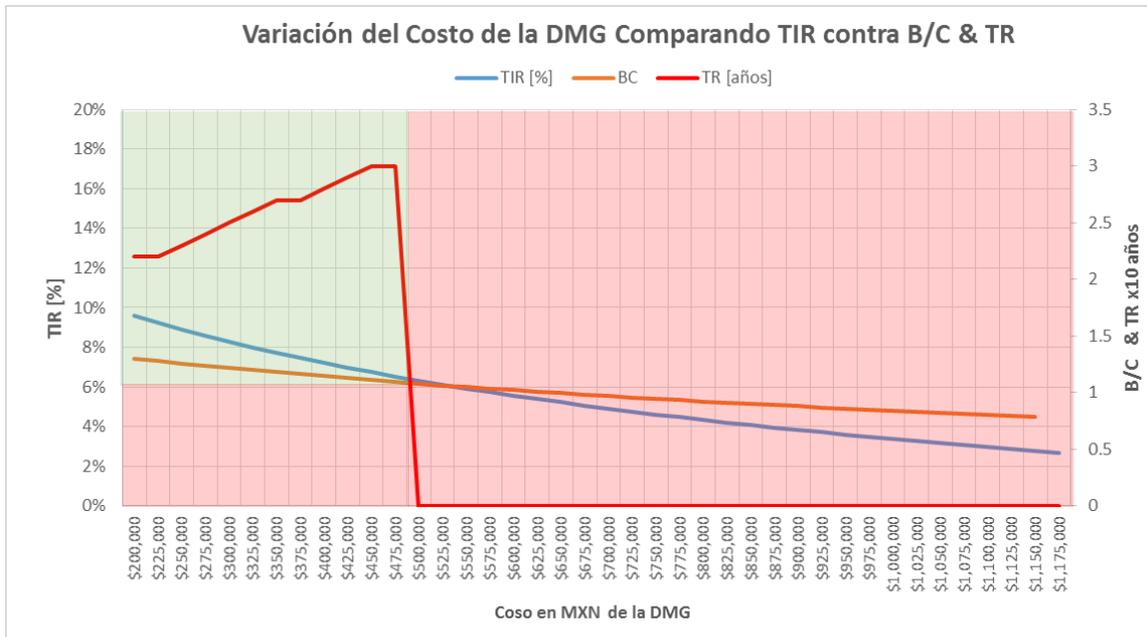


Gráfico 4.8 Dependencia de la rentabilidad con respecto al costo de la DMG en Puertecitos

En el Gráfico 4.8 encontramos la discontinuidad en la recta del TR en el precio de 494,485.10MXN por lo que cual el costo del equipo no puede tener un presupuesto mayor a esta cifra ya que el VPN será negativo. Con este Gráfico podemos saber si resulta conveniente la realización o no del proyecto en el caso de que se planeen modificaciones significativas en el sistema.

Por último se muestran los valores límite de los costos que no debemos sobrepasar para tener un VPN positivo al final del proyecto.

Concepto	Costo Límite
Terreno	\$7,477.34 m ²
Pozo	\$672,828.43
Infraestructura	\$335,189.90
Mantenimiento	\$26,284.89

Tabla 4.10 Costos límite para Puertecitos

Comparando esta tabla con los datos que obtuvimos en el subcapítulo 4.1 notamos que tenemos un buen margen en cuanto a costos para realizar las adquisiciones necesarias para llevar a cabo el proyecto.

4.4 Análisis Económico, San Felipe

Al igual que en el caso de Campo Turístico la Joya se elaboró el Gráfico 4.9 con el objetivo de conocer el VPN de cada año en fusión al número de módulos a instalarse. Aquí se resaltan los valores del VPN con distintos colores, mostrando cada uno la viabilidad del proyecto; la curva en color negro refleja la demanda no cubierta por el estado y la zona sombreada representa una producción mayor a demandada.

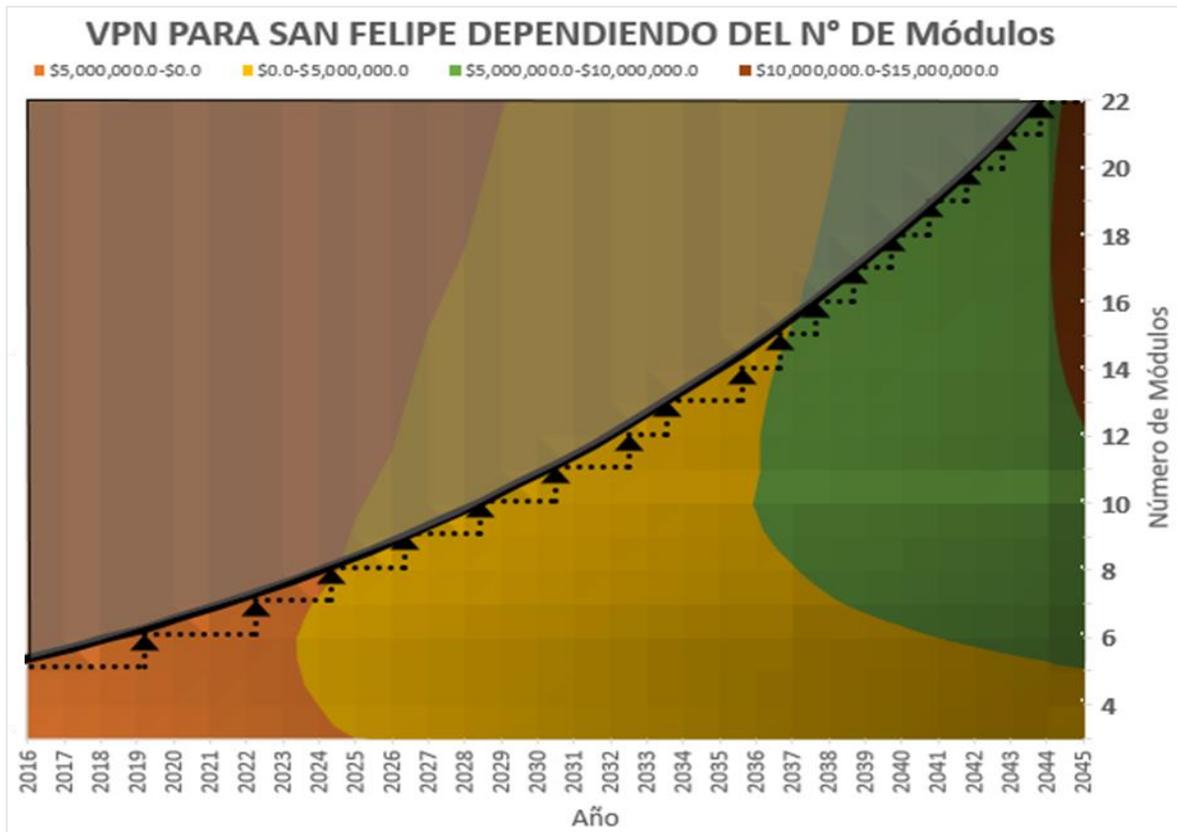


Gráfico 4.9 VPN para San Felipe en función del número de módulos

En este gráfico ubicamos que la rentabilidad en términos del VPN que se obtendrá en el año 2024 con siete módulos, satisfaciendo hasta ese año a toda la demanda insatisfecha, además el gráfico nos permite observar que los máximos rendimientos se obtienen al final del proyecto con la instalación de los veintidós módulos.

De igual manera en el gráfico se refleja que aun que se instale únicamente el mínimo número de módulos, en este caso cinco, el proyecto será económicamente viable al 2045, aunque VPN al final del proyecto sería relativamente bajo, la Tasa de Retorno lenta y se estarían cubriendo las necesidades demandadas por la población solo hasta el año 2019. Pero se demuestra la factibilidad en el peor de los casos.

Sin embargo, lo que se busca es el bienestar de la toda la población y los mayores rendimientos, es por eso que se detallará el caso en donde instalen los veintidós módulos correspondientes para tener la mayor cobertura hasta el 2045.

A continuación se presenta el Gráfico 4.10 donde se muestra el comportamiento de las principales variables que intervienen en el flujo de efectivo y de la variación del VPN acumulado anual a lo largo del tiempo, con lo cual es posible visualizar que el tiempo de retorno corresponde al tiempo en el cual dicho VPN es igual a cero, los valores se pueden consultar en el Anexo 4, Tabla C.

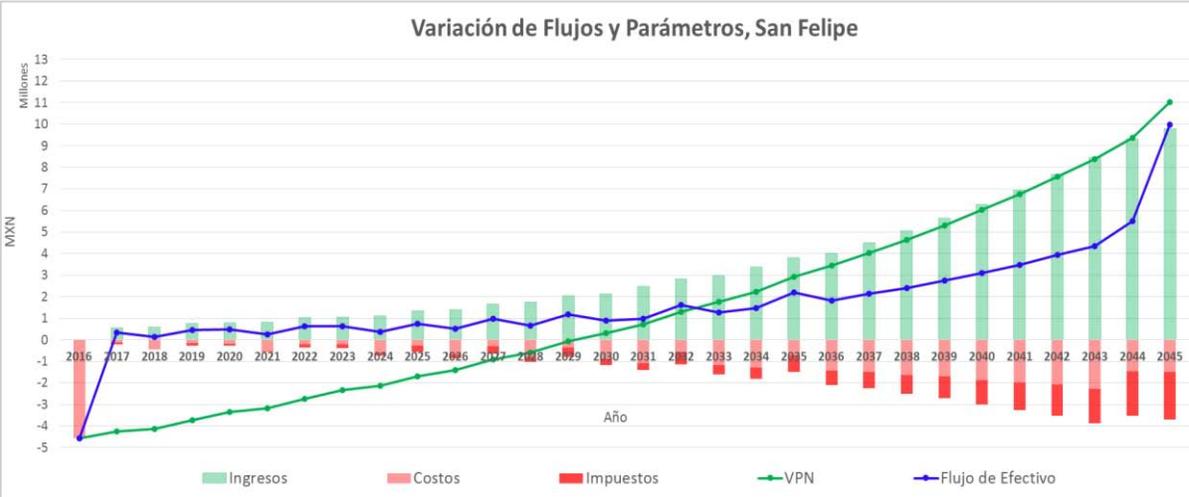


Gráfico 4.10 Flujos y Parámetros de San Felipe

Con el flujo de efectivo, es posible calcular los parámetros útiles para el análisis de la rentabilidad del proyecto, de lo cual se obtuvieron los siguientes resultados mostrados en la Tabla 4.11

Inversión Inicial	
\$4,573,478	
Índice de Rentabilidad	Valor
TIR (Tasa interna de Retorno)	15%
VPN (Valor Presente Neto)	\$11,031,058.88
B/C (Beneficio Costo)	2.2
TR años (Tiempo de Retorno)	15

Tabla 4.11 Parámetros de Rentabilidad del proyecto para San Felipe

De acuerdo con los datos del modelo financiero y los cálculos realizados, el proyecto resulta ser rentable puesto que la TIR, el VPN y la relación Beneficio-Costo resultaron positivos. También la tasa

de descuento calculada es mayor a la tasa de descuento (6.3604%), demostrándose así que la inversión es conveniente y se justifica con los parámetros de rentabilidad obtenidos.

Finalmente San Felipe notamos una economía de escala en cuanto a la producción de agua potable para uso doméstico ya que se ahorraría gran cantidad de dinero al diseñar una desaladora con mayor capacidad y así evitar los costos de instalación de cada módulo.

4.4.1 Gráficas y Análisis de Sensibilidad, San Felipe

En primer lugar se muestra en el Gráfico 4.11 la variación del precio de venta del agua potable sobre los parámetros de rentabilidad, donde en color verde se representan las zonas con un VPN positivo y en matiz rosado las regiones donde el proyecto no es viable.

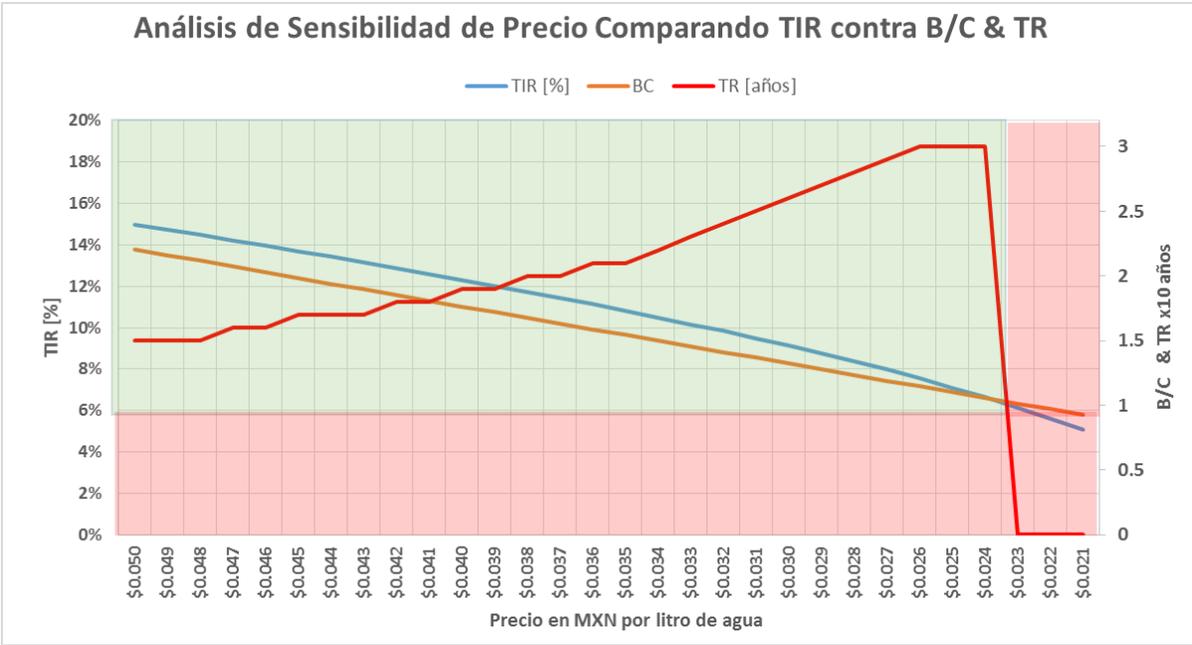


Gráfico 4.11 Dependencia de la rentabilidad con respecto al precio del agua.

En la gráfica se observa que el punto crítico se presenta para un precio de venta de **0.0234 MXN/litro**, cualquier valor cae en la zona rosa donde el VPN se vuelve negativo. Por lo anterior se establece que el valor mínimo al que se puede ofrecer el litro de agua potable es de 0.0234 pesos.

De igual forma notamos la existencia del rango definido por la intersección de las curvas correspondientes a TR y a la relación B/C que permite conocer el intervalo ideal que presenta mejores rendimientos para el proyecto, el cual va de 0.05 a 0.041, por lo que se debe procurar que el precio del agua a negociar se encuentre dentro de este rango o la más cercano posible para obtener mejores beneficios.

Debemos recordar que el precio de venta se encuentra definido por el precio obtenido por el estudio de mercado que asciende a los 0.05 MXN/litro, por lo que para el proyecto en esta zona se cuenta

con un rango amplio que ayuda a fijar costos competitivos y permite negociar obteniendo beneficios.

En cuanto a la dependencia del proyecto con respecto al precio del sistema de deshidratación con energía geotérmica, se presenta la siguiente gráfica.

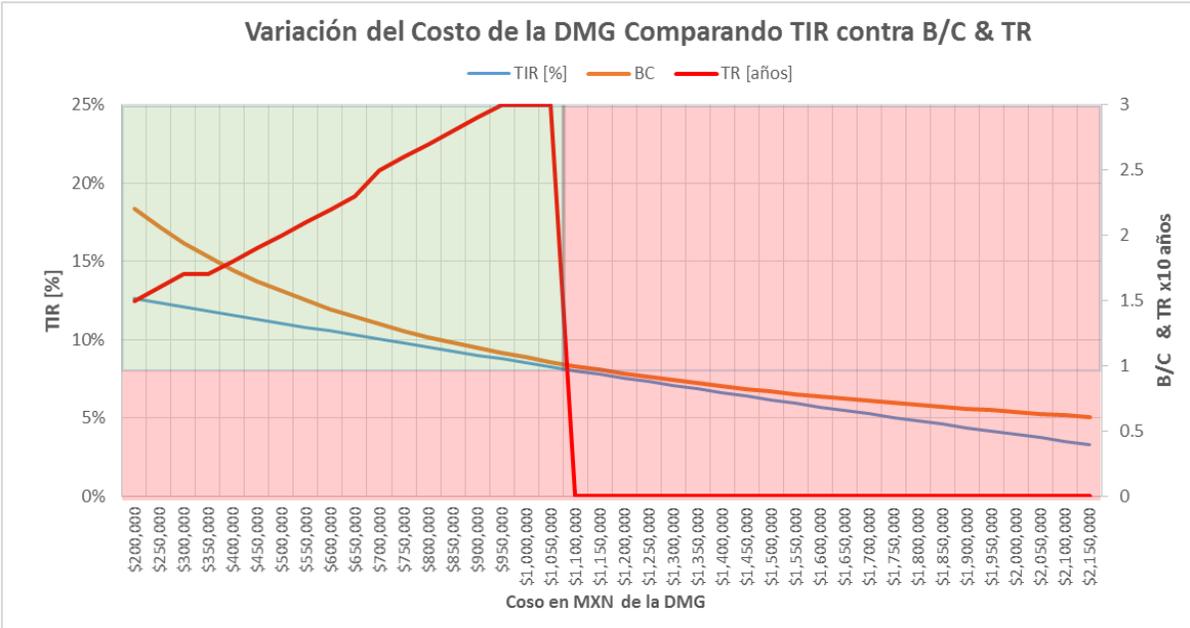


Gráfico 4.12 Dependencia de la rentabilidad con respecto al costo de la DMG en San Felipe

En el Gráfico 4.12 se observa una discontinuidad en la recta del TR en el precio de 1,077,345.49 MXN lo que significa que se tiene un gran margen de precios en cuanto a la elaboración del sistema ; sin embargo el rango donde se obtienen los mejores beneficios al proyecto y se encuentra definido por el punto de intersección entre las curvas de la TIR y la relación B/C, cuyo límite superior se fija en aproximadamente \$350,000.0; cualquier monto por debajo de este valor genera un beneficio en todos los parámetros de rentabilidad.

Como se mencionó anteriormente esta gráfica es útil para el caso en el cual se planeen modificaciones significativas en el sistema, ya que una vez evaluadas es posible conocer si resulta conveniente su realización o no dependiendo de los beneficios que ofrezcan las mismas.

Por último se muestran los valores límite de los costos que no debemos sobrepasar para tener un VPN positivo al final del proyecto.

Concepto	Costo Límite
Terreno	\$11,511.40
Pozo	\$11,360,355.38
Infraestructura	\$1,828,364.21
Mantenimiento	\$69,020.89

Tabla 4.12 Costos límite para San Felipe

4.5 Conclusiones.

En este capítulo se presentó la estimación de los costos en que influyen en la implementación de la desalación y potabilización de agua de mar, al igual que los factores que influyen en dichos costos a través del tiempo. Con base en estos datos se obtuvieron diversas formas de presentarse el proyecto frente a las autoridades locales, con el fin de tener diversas posibilidades de negociación, presentando el comportamiento del VPN del proyecto a través del tiempo.

En este Capítulo se detallaron los flujos de efectivo en el caso donde se satisface toda la demanda no cubierta por el estado, aquí es donde se demuestra el grado de factibilidad del proyecto para cada región de estudio, mediante parámetros de rentabilidad, resultando ser un proyecto viable en las tres zonas de estudio.

Además mediante un análisis de sensibilidad se determinó el precio del agua con el cual se puede negociar y evitar pérdidas, y de igual forma averiguamos el costo de la DMG que no debemos sobrepasar para que el proyecto fuera rentable para cada zona.

Capítulo V: Conclusiones y Trabajo a Futuro

En esta tesis se planteó la importancia del agua para satisfacer las necesidades básicas de cualquier población, la cual crece día con día y los métodos tradicionales para la obtención de este vital recurso no han sido suficientes para satisfacer la demanda existente, por lo que las tecnologías de desalación han ido creciendo a través de los años como se mencionó en el Capítulo I. Debido a esto la introducción del sistema DMG resulta ser una buena opción al tener un mayor rendimiento en comparación a las demás tecnologías de desalación convencionales, tal como se demostró en el primer Capítulo, siendo así una tecnología atractiva particularmente en México donde se cuenta con grandes extensiones costeras y un gran potencial geotérmico.

Dentro del gran potencial geotérmico del país se encontraron 657 zonas geotérmicas, de las cuales se determinaron las regiones donde fuese posible instalar la DMG, encontrando nueve puntos posibles e identificando las tres zonas factibles “Campo Turístico la Joya, Puertecitos y San Felipe, Baja California”. Posteriormente mediante el análisis de la oferta y la demanda se calculó el déficit de agua hasta el año 2045 de cada zona, por lo que se propone presentarse este proyecto a las autoridades correspondientes para negociar la comercialización del recurso y así ayudar al cumplimiento de sus obligaciones.

Con respecto al sistema, se realizó un estudio técnico donde se mencionaron las principales características operativas de la DMG, detallando los requerimientos técnicos y operacionales, así como el tratamiento de la salmuera y el postratamiento del agua desalada. Además se determinó el tamaño de la planta mediante un plan de implementación, donde se muestra el instante de tiempo cuando es necesario instalar otra DMG. De igual manera se mencionaron los requerimientos legales para cumplir con las normas en cuanto al uso de energía geotérmica, agua de mar y descarga de aguas residuales.

En cuanto a la evaluación económica, de acuerdo con los datos utilizados en el cálculo y los datos obtenidos, se determinó que el proyecto es rentable en un amplio rango de variación en cuanto al horizonte temporal al que se desee llevar a cabo como para el número de módulos que se esté dispuesto a invertir. Sin embargo se debe tomar en cuenta que el modelo detallado en esta tesis considera que se logre negociar la cobertura total de la demanda insatisfecha hasta el año 2045, ya que si no se cumple esta suposición, se ven disminuidos directamente los beneficios estimados, por lo que se recomienda que al momento de presentar el proyecto ante el gobierno se consulte el programa económico completo elaborado por el autor de esta tesis.

Los límites mínimos con que se puede negociar el precio del agua se muestra en la siguiente tabla, donde un menor limita los rendimientos obtenidos y se debe cuidar que si se establece un precio mayor, no sea lo suficientemente alto como para no poder competir con los productos existentes en el mercado, cuyo valor promedio se sitúa en los \$0.05 por cada litro.

Concepto	Campo Turístico la Joya	Puertecitos	San Felipe
Precio Agua [MXN/litro]	0.028	0.0402	0.0234
DMG [MXN]	780,858.24	494,485.10	350,000

A pesar de que se realicen modificaciones al sistema, el costo del equipo no debe sobrepasar los 350,000 MXN ya que un valor mayor afecta la rentabilidad del proyecto. En caso de que dichos cambios no incrementen la capacidad de producción se deberá evaluar la factibilidad de los mismos por medio de un análisis de beneficio-costos. Los únicos casos en que sería conveniente realizar mejoras serían aquellos que permitan el aumento de ingresos a través de una mayor capacidad de desalación.

Finalmente, como trabajo futuro se propone llevarse a cabo una caracterización de los puntos geotérmicos mediante pruebas en campo para determinar las tasas de extracción y reinyección para que el recurso geotérmico se ocupe de manera renovable.

También se deben elaborar con manuales de operación que involucren los aspectos técnicos, para la instalación de la DMG, temas de seguridad y sanidad durante la operación y que se realicen las pruebas correspondientes para un buen funcionamiento y calidad en el agua, con el objeto de cumplir las normas y evitar riesgos a los consumidores.

De igual forma se propone seguir con este estudio para continuar analizando las zonas posibles restantes ya identificadas con el fin de mitigar el desabasto de agua. Además se sugiere elaborar un diseño de la DMG con una mayor capacidad para aquellas zonas con grandes poblaciones como San Felipe o aquellas localidades con actividades económicas agropecuarias, para así reducir los costos del agua mediante una economía de escala.

Como conclusión final, se puede decir que se cumple el objetivo principal del trabajo, ya que realizando la evaluación técnico-económica se determinó que el proyecto es rentable y que los beneficios no solamente son financieros sino sociales también y se dan a distintos niveles, por lo que su inclusión al sector industrial resulta factible.

Bibliografía

Abengoa Water, 2015. *La energía del cambio*. [En línea]

Available at: <http://www.laenergíadelcambio.com/del-mar-a-tu-casa-el-post-tratamiento-del-agua-desalada>

[Último acceso: 06 Mayo 2016].

AGM, 2014. *geotermia.org.mx*. [En línea]

Available at: <http://www.geotermia.org.mx/geotermia/>

AGM, 2014. *Geotermia.org.mx*. [En línea]

Available at: <http://www.geotermia.org.mx/geotermia/>

[Último acceso: 17 Diciembre 2014].

Alvarado, S. G. & T., 2010. Escenario futuro de explotación de la energía geotérmica: hacia un desarrollo sustentable. *Revista Digital Universitaria*, 1 Octubre.11(10).

Anon., s.f. [En línea]

Available at: <http://revolucionrespuntocero.com/la-absurda-disparidad-de-lo-precios-del-agua-en-mexico/>

Arango Galván, C., Prol Ledesma, R. M. & Torres Vera, M. A., 2015. Geothermal prospects in the Baja California Peninsula. *Geothermics*, Volumen 55, p. 57.

Arellano Gómez, V. M. & Bazán Navarrete, G., 2011. *Energía en Debate*. [En línea]

Available at: <http://energiaadebate.com/las-bondades-de-la-geotermia/>

[Último acceso: 5 Septiembre 2015].

Arguin I., F. & Martín Domínguez, A., 2000. Desalinización de agua. *Ingeniería Hidráulica en México*, XV(1), p. 49.

Assael, H., 1999. *Comportamiento del Consumidor*. Sexta ed. s.l.:International Thomson Editores S.A.,.

Aviña Jimenez, H., 2016. *Consulta* [Entrevista] (14 Julio 2016).

Baca Urbina, G., 2001. *Evaluación de Proyectos*. Cuarta ed. Ciudad de México: McGraw-Hill.

Barrientos, J. E. P., 2009. *Tesis: "Desalación de agua de mar con agua caliente utilizando procesos térmicos"*, Ciudad de México: Dirección General de Bibliotecas UNAM.

Bohigas, J., 2007. [En línea]

Available at: <https://futurocostaensenada.files.wordpress.com/2008/09/phidraulicobc.pdf>

[Último acceso: 09 Marzo 2016].

Busby, D. J., 2015. *Gateway on Earth*. [En línea]
Available at: <http://www.bgs.ac.uk/research/energy/geothermal/>
[Último acceso: 01 08 2015].

Centro de Estudios de Finanzas Públicas, 2016. *CEFP*. [En línea]
Available at: <http://www.cefp.gob.mx/>
[Último acceso: 23 Junio 2016].

Centro Virtual de Información del Agua, 2010. *Centro Virtual de Información del Agua*. [En línea]
Available at:
http://www.agua.org.mx/h2o/index.php?option=com_content&view=section&id=6&Itemid=300004
[Último acceso: 06 Octubre 2015].

Climate-Data, 2016. *Climate-Data*. [En línea]
Available at: <http://es.climate-data.org/location/1321/>
[Último acceso: 10 Febrero 2016].

Comision Estatal de Aguas de Baja California , 2015. *CAEBC*. [En línea]
Available at: <http://www.ceabc.gob.mx/indicadores.html>
[Último acceso: 12 Febrero 2016].

Comisión Nacional del Agua, 2007. *Manual de Agua Potable*. Ciudad de México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

CONAGUA , 2007. *CONAGUA*. [En línea]
Available at: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/Situacion2.pdf>
[Último acceso: 09 Septiembre 2015].

CONAGUA, 2007. *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*, Ciudad de México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales .

CONAGUA, 2007. *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento..* 2007 ed. Ciudad de México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

CONAGUA, 2010. [En línea]
Available at:
http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/SINA/Capitulo_5.pdf
[Último acceso: 21 09 2015].

CONAGUA, 2012. [En línea]
Available at: <http://www.conagua.gob.mx/atlas/usosdelagua35.html>
[Último acceso: 20 09 2015].

CONAGUA, 2012. *CONAGUA*. [En línea]

Available at: <http://www.conagua.gob.mx/atlas/ciclo12.html>

[Último acceso: 13 Abril 2016].

CONAGUA, 2015. [En línea]

Available at: http://www.conagua.gob.mx/Conagua07/Aguasubterranea/pdf/DR_0222.pdf

[Último acceso: 09 Marzo 2016].

CONAGUA, 2015. *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Matomí-Puertecitos..* Ciudad de México: s.n.

CONAGUA, 2015. *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Meneadero*, s.l.: Diario Oficial de la Federación.

CONAGUA, 2015. *CONAGUA*. [En línea]

Available at: <http://www.conagua.gob.mx/Tarifas/Consultas.aspx>

[Último acceso: 12 Febrero 2016].

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, 2010. *Programa Integral de Agua del Municipio de Ensenada*, Ensenada: s.n.

Definición ABC, 2015. *Definición ABC*. [En línea]

Available at: <http://www.definicionabc.com/economia/mercado.php>

[Último acceso: 23 09 2015].

Desalitech, 2012. *Desalitech*. [En línea]

Available at: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:xiF0rX-fh9IJ:desalitech.com/7-ways-to-dispose-of-brine-waste/+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=mx>

[Último acceso: 7 Julio 2016].

Dévora Isiordia, G. & González Enriquez, R., 2012. Técnicas para desalinizar agua de mar y su desarrollo en México. *Ra Ximhai*, VII(2), p. 13.

Diario Oficial de la Federación, 1994. *Secretaría de Salud*. [En línea]

Available at: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/127ssa14.html>

[Último acceso: 06 Mayo 2016].

DME, 2009. *Workshop Thermal Desalination of Saline water*, Essen: s.n.

El Financiero, 2016. *El Financiero*. [En línea]

Available at: <http://www.elfinanciero.com.mx/economia/tarifa-de-luz-industrial-en-mexico-cae-frente-a-eu.html>

[Último acceso: 21 Julio 2016].

El mexicano, 2014. *El mexicano*. [En línea]

Available at: <http://www.el->

mexicano.com.mx/informacion/noticias/1/3/estatal/2014/04/11/744795/asegura-cespm-abasto-de-agua-en-san-felipe

[Último acceso: 01 Marzo 2016].

El Vigía, 2014. *El Vigía*. [En línea]

Available at: <http://www.elvigia.net/general/2014/8/7/inician-obras-para-desaladora-166056.html>

[Último acceso: 26 Abril 2016].

Eltawil, M. Z. Z. Y. L., 2009. *A review of renewable technologies integrated with desalination systems*. s.l.:s.n.

Fernando & Reyna, G., 2010. *Instituto Mexicano de Tecnología del Agua*. [En línea]

Available at:

http://www.cmic.org/comisiones/sectoriales/infraestructurahidraulica/Eventos/dialogos_accesoagua/presentaciones/mtro.%20fernando%20reyna.pdf

[Último acceso: 11 Abril 2016].

Fischer & Scholes, J. &., 1972. *The Capital Asset Pricing Model: Some Empirical Tests*. New York: Praeger Publishers.

Flores Alarcón, R., 2012. *Tesis: "Propuesta de diseño de un intercambiador de calor tubular para el aprovechamiento de recursos geotérmicos de baja entalpía"*. Ciudad de México: Dirección General de Bibliotecas UNAM.

Food and Agriculture Organization, 2002. *Agua y cultivos*. Roma, Italia.: Dirección de Información FAO.

Foro-México, 2010. *Foro-México*. [En línea]

Available at: <http://www.foro-mexico.com/baja-california/campo-turistico-la-joya/mensaje-351482.html>

[Último acceso: 3 Febrero 2016].

Foro-México, 2010. *Foro-México*. [En línea]

Available at: <http://www.foro-mexico.com/baja-california/san-felipe/mensaje-115644.html>

[Último acceso: 24 Febrero 2015].

García Martínez, F., 2014. *Tesis: "Comparativa energética de los sistemas térmicos de desalación con energía geotérmica de baja entalpía"*. Distrito Federal: Dirección General de Bibliotecas UNAM.

Gobierno de Baja California, 2014. Periódico Oficial del Estado de Baja California. *Periódico Oficial del Estado de Baja California*, 31 Diciembre, p. 152.

Goosen, M. & Mahmoudi, H., 2010. *Water Desalination Using Geothermal Energy*. Switzerland: Energies.

- Green Facts, 2009. *Facts of Health and the Enviroment*. [En línea]
Available at: <http://www.greenfacts.org/es/recursos-hidricos/recursos-hidricos-foldout.pdf>
- HOCHSTEIN, M., 1990. Classification and assessment of geothermal resources. En: M. a. Fanelli., ed. *Small Geothermal Resources: A Guide to Development and Utilization*. New York: UNITAR, pp. 31-57.
- INEGI, 2010. *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*.. [En línea]
Available at: <http://cuentame.inegi.org.mx/territorio/agua/usos.aspx?tema=T>
[Último acceso: 22 Septiembre 2015].
- INEGI, 2014. *Anuario estadístico y geográfico de Baja California Norte*. s.l.:s.n.
- Instituto de Investigaciones Jurídicas, 2016. *Instituto de Investigaciones Jurídicas*. [En línea]
Available at: <http://info4.juridicas.unam.mx/ijure/fed/9/5.htm?s=>
[Último acceso: 14 Agosto 2016].
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, 2006. *Estadísticas Climatológicas Básicas del Estado de Baja California*, Sonora: s.n.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía, 2008. *Manual de Geotermia*. Madrid: Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía..
- International Water Institute, 2007. *Annual Report 2007-2011*, Washington, DC.: Government Printing Office.
- Isiordia, G. E. D. & Enríquez, R. G., 2012. Técnicas para desalinizar agua de mar y su desarrollo en México.. *Ra Ximhai*, Mayo, 8(2), p. 68.
- Kröber, H. J., s.f. *Técnicas Innovativas de desalinización de aguas salobres y de mar.*, Ciudad de México: s.n.
- Llopis Trillo, G. & Angulo, R., 2011. *Guía de la Energía Geotérmica*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Maderey Rascón, L. E., 2005. *Principios de Hidrogeografía, Estudio del Ciclo Hidrológico*.. Primera ed. Ciudad de México: Geografía para el Siglo XXI.
- mng, hm. hm. En: th, ed. *hm*. th: th, pp. 19-25.
- Mora, L., 2016. *Consulta* [Entrevista] (18 Julio 2016).
- Mushtaque, A., Walid H, S., David, H. & Arun, M., 2000. Use of evaporation ponds for brine disposal in desalination plants. *ELSEVIER*, Issue 130, p. 14.
- Nava, C., 2006. Agua y Desalación en México: Del Engaño al Obscurantismo Jurídico.. *Desalación de Agua con Energías Renovables*, pp. 61-62.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación, 1992. Las políticas de recursos hídricos y la agricultura. En: Roma: Biblioteca David Lubin, pp. 251-252.

Panczer, W., 2007. *Minerals of Mexico*. Nueva York: s.n.

Pineda Pablos, N., s.f. [En línea]

Available at: <https://nicolaspineda.files.wordpress.com/2015/07/requerimientos-legales-en-mc3a9xico-para-la-desalinizacic3b3n-de-aguas-marinas.pdf>

[Último acceso: 29 Marzo 2016].

Real, P. M. d., 2016. *Cotización* [Entrevista] (12 Mayo 2016).

Ruiz Corral, J. A. & Díaz Padilla, G., 2006. *ESTADÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS BÁSICAS*. Primera ed. Ciudad de México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias..

Salmerón Vergara, J. A., 2012. *Tesis: "Análisis y Diseño de una Desaladora de Agua de Mar de Múltiple Efecto con Recurso Geotérmico de Baja Entalpía MED-LE"*. Distrito Federal: Dirección General de Bibliotecas UNAM.

Sanchez, K., 2014. Agregan "una gota" de agua a Baja California. *MILENIO*, p. 1.

Sanchez, K., 2014. *MILENIO*. [En línea]

Available at: http://www.milenio.com/bajacalifornia/Agregan-gota-agua-BC_0_265773522.html

[Último acceso: 12 Febrero 2016].

Scott W, T., A, J. & Katherine G, J., 2007. *Self-Sealing Evaporation Ponds*. Primera ed. Texas: Bureau of Economic Geology.

SE, 2015. *Secretaría de Economía*. [En línea]

Available at:

http://sil.gobernacion.gob.mx/Archivos/Documentos/2015/03/asun_3219173_20150324_1427216297.pdf

[Último acceso: 07 Julio 2016].

Secretaría de Hacienda y Crédito Público, 2016. *SAT*. [En línea]

Available at: www.sat.gob.mx/informacion_fiscal/tablas.../salarios_minimos_historico.xls

[Último acceso: 21 Junio 2016].

Secretaría de Hacienda y Crédito Público, 2014. *SCHP*. [En línea]

Available at: <http://www.gob.mx/shcp/documentos/tasa-social-de-descuento-tds>

[Último acceso: 03 Agosto 2016].

SEMARANART, 2011. [En línea]

Available at: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGP-1-11-EAM2011.PDF>

- SEMARNART, 2008. *Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales*. [En línea]
Available at:
http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/informacionambiental/Documents/05_serie/yelmedioambiente/yelmedioambiente_completo_v08.pdf
[Último acceso: 11 Septiembre 2015].
- Shiklomanov, I., 2010. World fresh water resources. En: P. H. Gleick, ed. s.l.:Oxford University.
- Sistema Nacional de Información del Agua, 2012. *CONAGUA*. [En línea]
Available at: <http://www.conagua.gob.mx/atlas/contexto08.html>
- Strategic Finance Group, 2011. *SFG Consulting*. [En línea]
Available at: http://www.ipart.nsw.gov.au/files/sharedassets/website/trimholdingbay/apd_-_sfg_-_cost_of_capital_parameters_for_sydney_desalination_plant_report_for_website_-_11_august_2011.pdf
[Último acceso: 03 Agosto 2016].
- Torres Alvarado, E. & Santoyo Gutiérrez, I., 2010. Escenario futuro de explotación de la energía geotérmica: Hacia un desarrollo sustentable.. *Revista Digital Universitaria*, 11(10), p. 26.
- UNAM, 2012. *Instituto de Ingeniería*. [En línea]
Available at: <http://www.iingen.unam.mx/es-mx/SitiosWeb/Proyectos/Impulsa4/Paginas/default.aspx>
[Último acceso: 13 Septiembre 2015].
- Universidad Autónoma de Zacatecas, s.f. *Universidad Autónoma de Zacatecas*. [En línea]
Available at:
<http://www.uaz.edu.mx/remexmar/Medio%20Ambiente%202006/AGUA,%20MEDIO%20pdf/14%20EL%20USO%20DEL%20AGUA%20158-185.pdf>
[Último acceso: 11 Abril 2016].
- Universidad Complutense de Madrid, 2010. *Universidad Complutense de Madrid*. [En línea]
Available at:
http://pendientedemigracion.ucm.es/info/diciex/proyectos/agua/el_ciclo_del_agua.html
[Último acceso: 7 Julio 2016].
- University of Groningen, 2012. *Direct Utilization of geothermal power*, Groningen: s.n.
- Valero, 2001. *La Desalinización como alternativa al plan hidrológico nacional*. s.l.:s.n.
- Vicente Marín, T., 2014. *Biologicamente Hablando*. [En línea]
Available at: <https://teresavicentemartin.wordpress.com/2014/01/31/energia-geotermica/>
[Último acceso: 9 Septiembre 2015].

Anexo 1

La población que habrá n años después del año i se calcula por la siguiente ecuación:

$$P_{i+n} = P_i(1 + Tc)^n$$

Donde:

P_i : Población que existe al iniciar el periodo de tiempo “ i ”

P_{i+n} : Población que habrá “ n ” periodos después de tiempo “ i ”

Tc : Tasa de crecimiento promedio entre cada par de periodos consecutivos.

n : Número de periodo que hay entre P_i y P_{i+n} . Es decir, el tiempo transcurrido entre la condición inicial y final, medido en ciclos homogéneos.

Debido a que durante el periodo esperamos diferentes tasas de crecimiento, aplicamos la fórmula anterior, pero de manera gradual, para periodos menores.

$$\begin{aligned} P_2 &= P_1(1 + Tc) \\ P_3 &= P_2(1 + Tc) \\ &\dots \dots \\ P_n &= P_{n+1}(1 + Tc) \end{aligned}$$

El ritmo de la tasa de crecimiento actual se determina aplicando la siguiente fórmula:

$$Tc = \left[\left(\frac{P_{i+n}}{P_n} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right] 100$$

En caso de no disponer de información, se puede considerar un valor comprendido entre el 40 % y el 60 % del volumen suministrado, que es el resultado del estudio de campo de 21 ciudades de la República Mexicana (Ref. 6)

De acuerdo con experiencias nacionales e internacionales, se estima que en localidades donde se tenga implementado un programa de detección y control de fugas, se puede aspirar a reducir el porcentaje de fugas entre el 1 % y el 2 % anualmente; razón por la que se puede esperar que en el mediano plazo (5 a 10 años) las fugas sean del orden de 30%.

En ciudades que desarrollan un programa de detección y control de fugas de manera eficaz y eficiente, las pérdidas pueden disminuirse en un 20 % (5 a 10 años), hasta reducirse a un nivel del 20%, que es el resultado obtenido en algunas ciudades europeas y nacionales. (CONAGUA, 2007)

Anexo 2

Con fundamento en lo dispuesto por el artículo 8 de la Constitución política de los Estados Unidos Mexicanos , los artículos 3,7. Fracción VI de la Ley de Energía Geotérmica, 3 del Reglamento de la Ley de Energía Geotérmica, los artículos 2° apartado C, fracción II y 25 fracción I del reglamento Interior de la Secretaría de Energía, se emite el presente oficio.

El pasado 19 de Marzo de 2015, se presentó ante esta Dirección General de Energías Limpias de la Subsecretaría de Planeación y Transición Energética de la SENER una solicitud de información detallada de los procedimientos y requisitos que se debe cumplir para el aprovechamiento de la energía geotérmica de baja temperatura para usos diversos, respecto de la cual se provee lo siguiente.

La Ley de Energía Geotérmica establece en su primer artículo que la misma es de interés y orden público, y tiene por objeto regular el reconocimiento, la exploración y la explotación de recursos geotérmicos para el aprovechamiento de la energía térmica del subsuelo dentro de los límites del territorio nacional, con el fin de generar energía eléctrica o destinarla a usos diversos.

Por lo anterior, debe exaltarse que la Ley de Energía Geotérmica y su reglamento, regulan la exploración y explotación de los recursos geotérmicos para usos diversos, tal como se procede a discurrir:

En términos de los artículos 2 fracción III y 28 de la Ley de Energía Geotérmica para solicitar el otorgamiento de un título de concesión para la explotación de los recursos geotérmicos de un área determinada, con el propósito de destinarlos a usos diversos, es requisito indispensable ser permisionario del área geotérmica de que se trate, por lo anterior para llevar a cabo un proyecto de aprovechamiento de recursos geotérmicos para usos diversos es requisito *sine qua non* ser permisionario.

En tal orden de ideas, como se describe por el artículo 13 de la Ley de Energía Geotérmica para el otorgamiento de permisos de exploración, el interesado deberá presentar su solicitud ante esta dependencia, la cual deberá acompañarse de los documentos que acrediten su capacidad jurídica, técnica y financiera para la realización de trabajos de exploración de un área determinada, y demostrar su experiencia en este ramo.

Asimismo, el interesado deberá expresar la viabilidad técnica de su proyecto y establecer un programa técnico de trabajo con metas calendarizadas, el cual deberá ser congruente con la extensión de terreno que se solicita, así como un esquema financiero que detalle la inversión que se realizará en cada etapa.

Los permisos de exploración de recursos geotérmicos para usos diversos deberán otorgarse en términos del numeral 17 de la Ley de Energía Geotérmica: tendrán una extensión de hasta 150 Km², una vigencia de tres años y podrán ser prorrogados por única vez, por tres años más.

Cabe aclarar que, dado que los usos diversos de los recursos geotérmicos pueden requerir una menor duración en la etapa de exploración, según se prescribe en el segundo párrafo del artículo 18 de la Ley de Energía Geotérmica una vez que el permisionario considere que los estudios e información obtenida en la etapa exploratoria son suficientes para determinar la existencia del recurso geotérmico que se pretenda explotar, podrá solicitar ante la Secretaría la concesión correspondiente, sin necesidad de completar el plazo de 3 años.

Agotada la etapa de exploración, habiendo cumplido con los requisitos aplicables a los permisionarios pueden solicitar una concesión de recursos geotérmicos, presentando a esta Secretaría evidencia documental y/o de campo que permita determinar que en los trabajos de explotación que se realizarán, no habrá interferencia con acuíferos adyacentes al yacimiento geotérmico.

Aclarado lo anterior, se realizará una enumeración de los requisitos señalados tanto por la Ley de Energía Geotérmica, como por su Reglamento para solicitar permisos y concesiones de recursos geotérmicos:

- a) Requisitos para otorgar permisos de exploración de recursos geotérmicos:
 - I. Se trate de personas físicas o morales constituidas conforme a las leyes mexicanas;
 - II. Indicar domicilio para oír y recibir notificaciones ;
 - III. Indicar clave del registro federal de contribuyentes, que incluya la homoclave correspondiente;
 - IV. Indicar el nombre de su representante legal, en su caso;
 - V. Señalar la ubicación del Área Geotérmica, en su caso;
 - VI. Señalar los datos del Registro, Permiso o Concesión, en su caso;
 - VII. Estar firmada por el promoviente o por su representante legal.

- VIII. Acompañarse de los documentos que acrediten su capacidad jurídica²², técnica²³ y financiera²⁴;
- IX. Expresar la viabilidad técnica de su proyecto y establecer un programa técnico de trabajo con metas calendarizadas, el cual deberá ser congruente con la extensión del terreno que se solicita, así como, un esquema financiero que detalle la inversión que se realizará en cada etapa;
- X. Señalar el Área Geotérmica solicitada en kilómetros cuadrados, señalando el Punto de Partida y las Coordenadas Geodésicas en un plano a escala 1:10,000, en formato digital guardado en un disco compacto,
- XI. Presentar la documentación que acredite que tienen derechos de uso, goce o disfrute sobre el área geotérmica que solicita;
- XII. Propuesta de programa técnico de trabajo con metas calendarizadas, el cual incluirá el número de Pozos Exploratorios Geotérmicos que pretende perforar, en su caso;
- XIII. Propuesta del esquema financiero que detalle la inversión que realizará, el cual deberá cumplir con lo siguiente:
 - i. Congruencia con las actividades de Exploración que se pretenden realizar
 - ii. La proyección de balance general y estado de resultados a tres años
 - iii. La proyección de flujo de efectivo y plan de liquidez a tres años, y
 - iv. La descripción de fuentes de financiamiento;

El solicitante deberá adjuntar la documentación que acredite los incisos de esta fracción;

- XIV. Los datos, en su caso, del Registro que la Secretaría le haya entregado sobre el Área Geotérmica Solicitada.

b) Requisitos para otorgar concesiones de explotación de recursos geotérmicos:

²² En términos del artículo 10 del Reglamento de la Ley de Energía Geotérmica los interesados en obtener un Registro, Permiso o Concesión deberán acreditar su capacidad jurídica para llevar a cabo las actividades de Reconocimiento, Exploración y Explotación conforme a lo siguiente:

- I. Las personas físicas deberán presentar copia certificada de su identificación oficial, y
- II. Las personas morales deberán presentar copia certificada de su escritura constitutiva y de la documentación que acredite que su constitución se realizó conforme a las leyes mexicanas y que su objeto social le permite realizar las actividades de Reconocimiento, exploración o Explotación que pretenda realizar, así como de sus estatutos sociales.

Los interesados en obtener una concesión también deberán acreditar su capacidad administrativa a través de la experiencia demostrada de su personal, y que están en posibilidades de planificar, organizar, dirigir y canalizar sus recursos al logro de los programas de trabajo y esquemas financieros.

²³ Según prevé el artículo 11 del reglamento de la Ley de Energía Geotérmica los interesados en obtener un Registro, Permiso o Concesión deberán acreditar su capacidad técnica para llevar a cabo las actividades de Reconocimiento, Exploración y Explotación conforme a lo siguiente:

- I. Presentar un lista de los países y proyectos donde el solicitante haya realizado actividades de Reconocimiento, Exploración o Explotación durante los último cinco años, según corresponda, y
- II. Contar con personal técnico a su servicio que cuente con experiencia para la realización de actividades de Reconocimiento, Exploración o Explotación, para lo cual se deberán incluir los currículos del personal con cargo de nivel mando.

²⁴ Como se señala en el numeral 12 del reglamento de la Ley de Energía Geotérmica los interesados en obtener un Registro, Permiso o Concesión deberán acreditar su capacidad financiera para llevar a cabo las actividades de Reconocimiento, Exploración y Explotación presentando la información que acredite su condición financiera, incluyendo sus estados financieros correspondientes a los dos ejercicios fiscales anteriores, la cual será evaluada de manera fundada y motivada por la Secretaría.

- I. Se trate de personas físicas o morales construidas conforme a las leyes mexicanas;
- II. Indicar domicilio para oír y recibir notificaciones;
- III. Indicar clave del registro federal de contribuyentes que incluya la homoclave correspondiente;
- IV. Indicar el nombre de su representante legal, en su caso;
- V. Señalar la ubicación del Área Geotérmica, en su caso;
- VI. Señalar los datos del Registro, Permiso o Concesión, en su caso;
- VII. Estar firmada por el promovente o por su representante legal;
- VIII. Señalar el nombre o denominación social del solicitante y copia certificada de sus estatutos sociales;
- IX. En el caso de personas morales, su objeto social se deberá referir a la exploración y explotación de recursos geotérmicos;
- X. Adjuntar planos de la localización del Área Geotérmica objeto de la solicitud de concesión, donde se especifique la superficie, medidas y colindancias;
- XI. Señalar el presupuesto detallado del proyecto;
- XII. Remitir documentación que acredite su capacidad jurídica, técnica, administrativa y financiera, para desarrollar, operar, mantener las instalaciones necesarias para la explotación de recursos geotérmicos;
- XIII. Adjuntar los cronogramas calendarizados de trabajo y financieros a realizar durante la etapa de explotación del área geotérmica, indicando un detalle cada una de las actividades por efectuar y los objetivos de las mismas;
- XIV. Haber obtenido y cumplido con los términos y condiciones del permiso de exploración;
- XV. Pago de derechos y aquellos establecidos en las disposiciones en materia ambiental;
- XVI. Señalar el Área Geotérmica solicitada en kilómetros cuadrados, señalando el Punto de Partida y Coordenadas Geodésicas en un plano a escala de 1:100,000, en formato digital guardado en un disco compacto;
- XVII. Presentar la documentación que acredite que tienen derechos de uso, goce o disfrute sobre el Área Geotérmica que se solicita;
- XVIII. Señalar el número de Permiso a que se refiere la solicitud de concesión;
- XIX. Presentar la evidencia documental y de campo que permita a la Secretaría constatar que los trabajos que se realizarán no interferirán con acuíferos adyacentes al Yacimiento Geotérmico;
- XX. Presentar el programa de inversión, el cual deberá cumplir con lo siguiente:
 - i. Congruencia con las actividades de Explotación que se pretenden realizar ;
 - ii. La proyección de balance general y estado de resultados a cinco años;
 - iii. La proyección de flujo de efectivo y plan de liquidez a cinco años, y
 - iv. La descripción de fuentes de financiamientos a las que se pretende acceder;
 El solicitante deberá adjuntar la documentación que acredite los incisos de esta fracción;
- XXI. Presentar la propuesta del programa de desarrollo de Explotación:

- i. Descripción de los pozos productores que se pretenden perforar, así como los métodos, técnicas y el equipo con el que se propone desarrollar el Área Geotérmica solicitada;
- ii. Pruebas de producción, las cuales deberán contener la medición que se realice de las toneladas de vapor por hora que se extraen de los pozos productores, en su caso;
- iii. Informe de evaluación del potencial geotérmico del Área Geotérmica solicitada y predicción del comportamiento del Yacimiento Geotérmico;
- iv. Información del estudio realizado en la etapa de exploración que determine la existencia del Recurso Geotérmico, y
- v. Cronograma de trabajo y financiero a realizar durante la etapa de Explotación del Área geotérmica.

XXII. Presentar la solicitud de Concesión de Agua Geotérmica, en su caso;

La Secretaría evaluará las solicitudes que hayan sido aceptadas y podrá requerir al solicitante, por única vez, las aclaraciones que estime pertinentes, así como señalar las irregularidades u omisiones que deban subsanarse.

Por todo lo expuesto, se considera que han sido aclarados los requisitos para llevar a cabo proyectos de aprovechamiento de Recursos Geotérmicos para usos diversos.

En caso de requerir cualquier información relacionada con esta Secretaría en términos del artículo 40 de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública Gubernamental remítase a la unidad de Enlace de esta Dependencia.

Anexo 3

Para calcular la tasa de descuento utilizamos el modelo del CAPM (Capital Asset Pricing Model), el cual simboliza el retorno esperado de los activos de un mercado determinado en función del riesgo y su relación con el retorno esperado. (Fischer & Scholes, 1972).

$$E_p = R_f + (EM - R_f)\beta_p$$

E_p = Rentabilidad del activo: **6.3604%**

R_f : Tasa libre de riesgo= Tasa de Rendimiento de los Certificados de la Tesorería (CETES): 3.26%

β_p : Coeficiente beta, define la cantidad del riesgo ante el movimiento de la rentabilidad del mercado²⁵: = 0.46 (Strategic Finance Group, 2011)

EM = Rendimiento del Mercado: Tasa de descuento social = 10%. (Secretaría de Hacienda y Crédito Público, 2014)

²⁵ Se supone que no se tiene deuda en su estructura de capital, por lo tanto no se incorpora el riesgo financiero.

Anexo 4

BALANCE	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15
Ingresos	\$0	\$226,800	\$238,140	\$250,047	\$262,549	\$275,677	\$289,461	\$455,901	\$478,696	\$502,630	\$527,762	\$554,150	\$775,810	\$814,600	\$855,330	\$898,097
Costos	\$2,104,169	\$91,825	\$96,103	\$100,581	\$105,267	\$110,171	\$468,730	\$139,765	\$169,302	\$153,096	\$160,230	\$606,729	\$199,495	\$208,794	\$218,527	\$783,065
Utilidad de operación	\$2,104,169	\$134,975	\$142,037	\$149,466	\$157,283	\$165,506	\$179,269	\$316,136	\$309,394	\$349,535	\$367,531	\$52,579	\$576,315	\$605,806	\$636,803	\$115,032
Depreciación	\$0	\$94,350	\$92,950	\$92,950	\$92,950	\$67,950	\$67,950	\$90,214	\$47,114	\$49,668	\$47,704	\$44,968	\$98,686	\$75,348	\$57,171	\$53,475
Patente	\$0	\$6,804	\$7,144	\$7,501	\$7,876	\$8,270	\$0	\$13,677	\$14,361	\$15,079	\$15,833	\$0	\$23,274	\$24,438	\$25,660	\$26,943
Utilidad antes de impuestos	\$2,104,169	\$33,821	\$41,942	\$49,015	\$56,456	\$89,285	\$247,219	\$212,245	\$247,919	\$284,788	\$303,994	\$97,547	\$454,355	\$506,020	\$553,972	\$34,615
Impuestos	\$0	\$10,146	\$12,583	\$14,704	\$16,937	\$26,786	\$0	\$63,673	\$74,376	\$85,436	\$91,198	\$0	\$136,306	\$151,806	\$166,192	\$10,384
Utilidad Después de Impuestos	\$2,104,169	\$23,675	\$29,360	\$34,310	\$39,519	\$62,500	\$247,219	\$148,571	\$173,543	\$199,352	\$212,796	\$97,547	\$318,048	\$354,214	\$387,780	\$24,230
Depreciación & Valor Rescate	\$0	\$94,350	\$92,950	\$92,950	\$92,950	\$67,950	\$67,950	\$90,214	\$47,114	\$49,668	\$47,704	\$44,968	\$98,686	\$75,348	\$57,171	\$53,475
Flujo de Efectivo	\$2,104,169	\$118,025	\$122,310	\$127,260	\$132,469	\$130,450	\$179,269	\$238,785	\$220,657	\$249,019	\$260,500	\$52,579	\$416,735	\$429,562	\$444,952	\$77,705

2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045
Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20	Año 21	Año 22	Año 23	Año 24	Año 25	Año 26	Año 27	Año 28	Año 29
\$1,178,752	\$1,237,690	\$1,299,574	\$1,637,464	\$1,719,337	\$1,805,304	\$2,211,497	\$2,322,072	\$2,786,486	\$2,925,811	\$3,456,114	\$3,628,920	\$4,233,739	\$4,445,426
\$268,160	\$280,662	\$889,770	\$340,451	\$396,069	\$1,052,819	\$428,184	\$1,190,522	\$558,195	\$1,345,045	\$604,687	\$1,572,994	\$712,188	\$745,411
\$910,593	\$957,028	\$409,804	\$1,297,012	\$1,323,268	\$752,484	\$1,783,313	\$1,131,550	\$2,228,291	\$1,580,765	\$2,851,427	\$2,055,926	\$3,521,551	\$3,700,015
\$116,286	\$116,286	\$99,343	\$138,810	\$138,810	\$141,865	\$202,867	\$159,132	\$246,426	\$229,484	\$279,563	\$275,662	\$359,682	\$303,839
\$35,363	\$37,131	\$38,987	\$49,124	\$51,580	\$54,159	\$66,345	\$69,662	\$83,595	\$87,774	\$103,683	\$108,868	\$127,012	\$133,363
\$758,944	\$803,610	\$271,474	\$1,109,079	\$1,132,878	\$556,461	\$1,514,101	\$902,756	\$1,898,271	\$1,263,507	\$2,468,180	\$1,671,396	\$3,034,857	\$3,262,814
\$227,683	\$241,083	\$81,442	\$332,724	\$339,864	\$166,938	\$454,230	\$270,827	\$569,481	\$379,052	\$740,454	\$501,419	\$910,457	\$978,844
\$531,261	\$562,527	\$190,032	\$776,355	\$793,015	\$389,522	\$1,059,871	\$631,929	\$1,328,789	\$884,455	\$1,727,726	\$1,169,977	\$2,124,400	\$2,283,970
\$116,286	\$116,286	\$99,343	\$138,810	\$138,810	\$141,865	\$202,867	\$159,132	\$246,426	\$229,484	\$279,563	\$275,662	\$359,682	\$2,288,367
\$647,547	\$678,814	\$289,375	\$915,165	\$931,824	\$531,387	\$1,262,738	\$791,061	\$1,575,215	\$1,113,939	\$2,007,289	\$1,445,640	\$2,484,082	\$4,572,336

Tabla M Balance para Campo Turístico la Joya

BALANCE	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14
Ingresos	\$0	\$146,785	\$156,481	\$165,874	\$176,767	\$190,064	\$201,384	\$214,461	\$227,187	\$243,966	\$258,373	\$274,948	\$291,130	\$309,718	\$332,121
Costos	\$1,616,259	\$91,149	\$94,695	\$98,382	\$102,215	\$106,200	\$110,343	\$114,651	\$119,131	\$123,789	\$128,632	\$133,669	\$138,906	\$144,353	\$150,017
Utilidad de operación	\$1,616,259	\$55,636	\$61,786	\$67,493	\$74,552	\$83,864	\$91,041	\$99,810	\$108,057	\$120,178	\$129,741	\$141,279	\$152,224	\$165,365	\$182,103
Depreciación	\$0	\$181,946	\$180,546	\$180,546	\$180,546	\$155,546	\$155,546	\$105,297	\$3,300	\$2,400	\$633	\$0	\$0	\$0	\$0
Pago de patente	\$0	\$4,404	\$4,694	\$4,976	\$5,303	\$5,702	\$6,042	\$6,434	\$6,816	\$7,319	\$7,751	\$8,248	\$8,734	\$9,292	\$9,964
Utilidad antes de impuestos	\$1,616,259	\$130,713	\$123,454	\$118,029	\$111,296	\$77,383	\$70,546	\$11,921	\$97,941	\$110,459	\$121,356	\$133,031	\$143,490	\$156,073	\$172,140
Impuestos	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$29,382	\$33,138	\$36,407	\$39,909	\$43,047	\$46,822	\$51,642
Utilidad Después de Impuestos	\$1,616,259	\$130,713	\$123,454	\$118,029	\$111,296	\$77,383	\$70,546	\$11,921	\$68,559	\$77,321	\$84,949	\$93,122	\$100,443	\$109,251	\$120,498
Depreciación & Valor Rescate	\$0	\$181,946	\$180,546	\$180,546	\$180,546	\$155,546	\$155,546	\$105,297	\$3,300	\$2,400	\$633	\$0	\$0	\$0	\$0
Flujo de Efectivo	\$1,616,259	\$51,233	\$57,092	\$62,517	\$69,249	\$78,162	\$84,999	\$93,376	\$71,859	\$79,721	\$85,583	\$93,122	\$100,443	\$109,251	\$120,498

2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045
Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20	Año 21	Año 22	Año 23	Año 24	Año 25	Año 26	Año 27	Año 28	Año 29
\$351,545	\$372,082	\$395,586	\$418,628	\$448,387	\$476,479	\$509,019	\$535,538	\$571,924	\$611,788	\$646,968	\$686,918	\$726,325	\$771,022	\$823,953
\$155,908	\$162,035	\$168,407	\$175,035	\$181,928	\$189,099	\$196,557	\$204,315	\$212,386	\$220,781	\$229,515	\$238,601	\$248,054	\$257,889	\$268,121
\$195,637	\$210,047	\$227,179	\$243,593	\$266,459	\$287,381	\$312,462	\$331,223	\$359,539	\$391,006	\$417,453	\$448,317	\$478,271	\$513,133	\$555,832
\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
\$10,546	\$11,162	\$11,868	\$12,559	\$13,452	\$14,294	\$15,271	\$16,066	\$17,158	\$18,354	\$19,409	\$20,608	\$21,790	\$23,131	\$24,719
\$185,091	\$198,884	\$215,311	\$231,034	\$253,007	\$273,086	\$297,192	\$315,156	\$342,381	\$372,653	\$398,044	\$427,709	\$456,481	\$490,003	\$531,113
\$55,527	\$59,665	\$64,593	\$69,310	\$75,902	\$81,926	\$89,157	\$94,547	\$102,714	\$111,796	\$119,413	\$128,313	\$136,944	\$147,001	\$159,334
\$129,563	\$139,219	\$150,718	\$161,724	\$177,105	\$191,160	\$208,034	\$220,610	\$239,667	\$260,857	\$278,631	\$299,396	\$319,537	\$343,002	\$371,779
\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$293,914
\$129,563	\$139,219	\$150,718	\$161,724	\$177,105	\$191,160	\$208,034	\$220,610	\$239,667	\$260,857	\$278,631	\$299,396	\$319,537	\$343,002	\$665,693

Tabla N. Balance para Puertecitos

BALANCE	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14
Ingresos	\$0	\$265,800	\$279,090	\$351,653	\$369,235	\$387,697	\$474,929	\$498,676	\$523,609	\$628,331	\$659,748	\$779,327	\$818,293	\$954,676	\$1,002,409
Costos	\$4,573,487	\$134,698	\$439,671	\$161,996	\$168,800	\$537,974	\$201,529	\$210,095	\$609,725	\$273,362	\$686,947	\$294,050	\$801,046	\$345,163	\$870,236
Utilidad de operación	\$4,573,487	\$131,102	\$160,582	\$189,657	\$200,436	\$150,277	\$273,400	\$288,581	\$86,116	\$354,970	\$27,199	\$485,277	\$17,247	\$609,512	\$132,173
Depreciación	\$0	\$197,700	\$196,600	\$232,853	\$232,853	\$207,853	\$252,419	\$195,069	\$85,560	\$115,087	\$95,811	\$146,094	\$144,211	\$164,689	\$166,673
Patente	\$0	\$7,974	\$0	\$10,550	\$11,077	\$0	\$14,248	\$14,960	\$0	\$18,850	\$0	\$23,380	\$24,549	\$28,640	\$30,072
Utilidad antes de impuestos	\$4,573,487	\$74,572	\$357,182	\$53,746	\$43,494	\$358,130	\$6,733	\$78,551	\$171,675	\$221,032	\$123,010	\$315,803	\$151,513	\$416,183	\$64,572
Impuestos	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$2,020	\$23,565	\$0	\$66,310	\$0	\$94,741	\$0	\$124,855	\$0
Utilidad Después de Impuestos	\$4,573,487	\$74,572	\$357,182	\$53,746	\$43,494	\$358,130	\$4,713	\$54,986	\$171,675	\$154,723	\$123,010	\$221,062	\$151,513	\$291,328	\$64,572
Depreciación & Valor Rescate	\$0	\$197,700	\$196,600	\$232,853	\$232,853	\$207,853	\$252,419	\$195,069	\$85,560	\$115,087	\$95,811	\$146,094	\$144,211	\$164,689	\$166,673
Flujo de Efectivo	\$4,573,487	\$123,128	\$160,582	\$179,107	\$189,359	\$150,277	\$257,133	\$250,055	\$86,116	\$269,810	\$27,199	\$367,156	\$7,302	\$456,017	\$102,101

2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045
Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20	Año 21	Año 22	Año 23	Año 24	Año 25	Año 26	Año 27	Año 28	Año 29
\$1,157,783	\$1,326,188	\$1,392,497	\$1,583,965	\$1,791,099	\$1,880,654	\$2,115,736	\$2,369,624	\$2,643,612	\$2,939,075	\$3,257,475	\$3,600,367	\$3,969,404	\$4,366,345	\$4,584,662
\$1,069,195	\$554,345	\$1,160,666	\$1,279,513	\$693,935	\$1,429,495	\$1,487,288	\$1,634,468	\$1,701,071	\$1,865,733	\$1,992,201	\$2,074,242	\$2,268,953	\$1,468,889	\$1,474,002
\$88,588	\$771,843	\$231,831	\$304,453	\$1,097,165	\$451,159	\$628,448	\$735,157	\$942,541	\$1,073,342	\$1,265,274	\$1,526,125	\$1,700,452	\$2,897,456	\$3,110,660
\$213,854	\$246,987	\$227,714	\$263,913	\$324,571	\$281,516	\$346,703	\$370,974	\$419,783	\$487,432	\$521,836	\$577,782	\$653,336	\$686,796	\$605,489
\$34,733	\$39,786	\$41,775	\$47,519	\$53,733	\$56,420	\$63,472	\$71,089	\$79,308	\$88,172	\$97,724	\$108,011	\$119,082	\$130,990	\$137,540
\$159,999	\$485,071	\$37,657	\$6,979	\$718,860	\$113,223	\$218,273	\$293,093	\$443,450	\$497,737	\$645,713	\$840,332	\$928,034	\$2,079,670	\$2,367,632
\$0	\$145,521	\$0	\$0	\$215,658	\$33,967	\$65,482	\$87,928	\$133,035	\$149,321	\$193,714	\$252,100	\$278,410	\$623,901	\$710,289
\$159,999	\$339,549	\$37,657	\$6,979	\$503,202	\$79,256	\$152,791	\$205,165	\$310,415	\$348,416	\$451,999	\$588,232	\$649,624	\$1,455,769	\$1,657,342
\$213,854	\$246,987	\$227,714	\$263,913	\$324,571	\$281,516	\$346,703	\$370,974	\$419,783	\$487,432	\$521,836	\$577,782	\$653,336	\$686,796	\$4,794,544
\$53,855	\$586,536	\$190,056	\$256,934	\$827,774	\$360,773	\$499,494	\$576,140	\$730,198	\$835,848	\$973,836	\$1,166,014	\$1,302,959	\$2,142,565	\$6,451,886

Tabla O. Balance para San Felipe