



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN A NIVEL
PERFIL DE PROYECTOS PARA LA POTABILIZACIÓN
Y DESALINIZACIÓN DEL AGUA**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

INGENIERA QUÍMICA

P R E S E N T A N:

DIANA GARCÍA TICANTE

ANA LUZ PÉREZ PALACIOS



MÉXICO DF

NOVIEMBRE, 2010



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.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: **Profesor: José Antonio Ortiz Ramírez**

VOCAL: **Profesor: Humberto Rangel Dávalos**

SECRETARIO: **Profesor: Alfonso Duran Moreno**

1er. SUPLENTE: **Profesor: Dulce Merari Cid León**

2° SUPLENTE: **Profesor: José Agustín García Reynoso**

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA: TORRE DE INGENIERÍA, UNAM

ASESOR DEL TEMA:

SUPERVISOR TÉCNICO:

Dr. Alfonso Durán Moreno

M. en I. Dulce Merari Cid León

SUSTENTANTE (S):

Ana Luz Pérez Palacios

Diana García Ticante



AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a Dios, por sus innumerables bendiciones hacia mí, por permitirme llegar hasta este momento tan importante en mi vida.

Agradezco profundamente hoy y siempre a mi familia, a mis padres: Mario y Emilia, por su sacrificio y amor incondicional, por enseñarme que con esfuerzo y dedicación se puede alcanzar cualquier meta. A mis hermanos: Mario Enrique y Silvia, porque han estado a mi lado en todo momento.

A la Facultad de Química, a mi querida Universidad y a mis profesores, por sus invaluable enseñanzas, su disposición y su ayuda.

Al Dr. Alfonso Durán y a la Mtra. Dulce Cid, por permitirme compartir con ellos un año de trabajo y esfuerzo, por su confianza, su gran apoyo y por los valiosos conocimientos que compartieron conmigo durante el desarrollo de esta tesis.

A mi querida siamesa, por acompañarme en los mejores momentos dentro de la universidad, porque logramos formar un buen equipo de trabajo y porque siempre ha sido una gran amiga para mí.

A Carlos, por su maravillosa compañía, por motivarme y apoyarme siempre, por enriquecer mi vida con su cariño. Gracias por formar parte de mi vida.

DIANA.



AGRADECIMIENTOS

Para el logro de esta tesis quiero expresar mi agradecimiento para:

Mi familia: Mi papá, mi hermana y mi cuñado Ricardo, por darme siempre su confianza, ayuda y apoyo incondicional, porque sin ellos no hubiera sido posible desarrollar todos mis estudios. Por darme su tiempo y compartir conmigo los momentos mas importantes de mi vida. Les dedico este trabajo con todo mi amor y agradecimiento...

Mi escuela: Me siento orgullosa de pertenecer a la comunidad de la UNAM y profundamente agradecida por la oportunidad de la educación universitaria.

A mis maestros: Por compartir sus conocimientos.

A mis asesores de tesis: Doctor Alfonso Durán y Dulce Cid por darme la oportunidad de trabajar con ellos y por toda la ayuda que me proporcionaron durante el desarrollo de esta tesis.

Mi siamesa: Porque junto con ella aprendí, curse y termine mi carrera universitaria, porque es una gran persona y amiga y porque fue elemental para realizar esta tesis.

ANA LUZ



ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	10
OBJETIVO GENERAL	13
Objetivos Particulares.....	13
1 ANTECEDENTES	14
1.1 Disponibilidad de los recursos hídricos en México	14
1.2 Calidad del agua en México.....	19
1.2.1 Calidad del agua superficial	20
1.2.2 Calidad del agua subterránea.....	21
1.2.3 Calidad del agua en playas	22
1.3 Situación actual de la potabilización y desalinización en México	22
1.3.1 Programas Nacionales Hídricos	23
1.3.2 Aspectos normativos.....	27
1.3.3 Infraestructura para la potabilización y desalinización del agua en México.....	32
1.3.4 Proyectos en marcha.....	33
2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS	36
2.1 Definición de proyecto de inversión	36
2.2 Ciclo de vida de un proyecto	36
2.2.1 Estado de preinversión.....	37
2.2.2 Estado de inversión.....	39
2.2.3 Estado de operación	39
2.3 Metodologías para la evaluación de proyectos.....	39
2.3.1 Enfoque del Marco Lógico (EML)	39
2.3.2 Metodología Costo-Beneficio	45
2.4 Tecnologías para la potabilización del agua.....	50
2.4.1 Procesos de potabilización del agua	54
2.5 Tecnologías para la desalinización del agua.....	64
2.5.1 Procesos de desalinización del agua	67
3 METODOLOGÍA.....	82
4 RESULTADOS.....	85
4.1 Revisión y análisis de metodologías utilizadas.....	85



4.2	Revisión y análisis de información documental	86
4.3	Formulación de la Metodología a nivel perfil	91
4.4	Guía para la evaluación de proyectos de Plantas Potabilizadoras y/o Desalinizadoras de Agua a nivel perfil	93
4.4.1	Identificación de la idea (problemática).....	93
4.4.2	Identificación de alternativas.....	97
4.4.3	Evaluación de alternativas	102
4.4.4	Datos de la alternativa seleccionada	113
4.4.5	Conclusiones del estudio	114
4.4.6	Plan de ejecución.....	115
4.5	Aplicación a un caso práctico.....	115
4.5.1	Identificación de la idea (problemática).....	115
4.5.2	Identificación de alternativas.....	118
4.5.3	Evaluación de alternativas	122
4.5.4	Datos de la alternativa seleccionada	128
4.5.5	Conclusiones del caso de estudio	129
4.5.6	Plan de ejecución.....	129
5	CONCLUSIONES	130
6	ANEXO 1 CÁLCULO DE INDICADORES	133
7	BIBLIOGRAFÍA.....	134



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Regiones Hidrológico-Administrativas y sus sedes	15
Figura 1.2	Contraste regional entre el desarrollo y la disponibilidad del agua	17
Figura 1.3	Sitios de monitoreo con la clasificación fuertemente contaminada para DBO5, DQO y/o SST, 2008.....	21
Figura 1.4	Número de Plantas potabilizadoras municipales en operación por proceso empleado	34
Figura 2.1	Diagrama causa-efecto.....	37
Figura 2.2	Preparación del proyecto utilizando el EML (4)	42
Figura 2.3	Árbol de problemas.....	43
Figura 2.4	Mapa tecnológico de potabilización para agua superficial. Adaptado del proyecto: "Revisión y propuesta de mejora para el proceso de planeación, evaluación y ejecución de proyectos de inversión con recursos del fondo nacional de infraestructura y formulación de tabuladores de retornos socioeconómicos para proyectos de medio ambiente"	52
Figura 2.5	Mapa tecnológico de potabilización para agua subterránea. Adaptado del proyecto: "Revisión y propuesta de mejora para el proceso de planeación, evaluación y ejecución de proyectos de inversión con recursos del fondo nacional de infraestructura y formulación de tabuladores de retornos socioeconómicos para proyectos de medio ambiente"	53
Figura 2.6	Mapa tecnológico de desalinización. Adaptado del proyecto: "Revisión y propuesta de mejora para el proceso de planeación, evaluación y ejecución de proyectos de inversión con recursos del fondo nacional de infraestructura y formulación de tabuladores de retornos socioeconómicos para proyectos de medio ambiente"	66
Figura 3.1	Metodología empleada	84
Figura 4.1	Metodología del marco lógico	86
Figura 4.2	Pasos de la metodología para la evaluación a nivel perfil.....	92
Figura 4.3	Esquema de selección de tipología de proyecto (3)	100
Figura 4.4	Clasificación del consumo del agua por tipo de usuario (50).....	100
Figura 4.5	Proyección de la Oferta – Demanda de Cabo San Lucas, B.C.S (61)	121



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Clasificación del agua subterránea de acuerdo a SST	21
Tabla 1.2	Resultados del programa de monitoreo de la calidad del agua en playas, serie anual de 2003 a 2008	22
Tabla 1.3	Límites permisibles de características microbiológicas	29
Tabla 1.4	Límites permisibles de características físicas y organolépticas	29
Tabla 1.5	Límites permisibles de características químicas	30
Tabla 1.6	Límites permisibles de características radiactivas	31
Tabla 1.7	Límites máximos permisibles para metales pesados en biosólidos	31
Tabla 1.8	Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos y biosólidos	31
Tabla 1.9	Aprovechamiento de biosólidos	32
Tabla 1.10	Resumen del inventario nacional de plantas municipales de potabilización en operación (1)	32
Tabla 4.1	Condiciones para la correcta definición de la idea (79)	85
Tabla 4.2	Proyectos revisados dentro del marco del PROMAGUA	88
Tabla 4.3	Datos requeridos para estimar la demanda total de agua potable, en base a los consumos por tipo de usuario y a las pérdidas del sistema (3)	101
Tabla 4.4	Proyección de la oferta en un proyecto de agua potable (3)	101
Tabla 4.5	Proyección de la oferta-demanda de Agua Potable(3)	102
Tabla 4.6	Matriz de Leopold para la calificación de los impactos ambientales (81)	111
Tabla 4.7	Comparación de costos entre alternativas propuestas para proyectos de Agua Potable	113
Tabla 4.8	Acceso a servicios en la Zona de Estudio al 2005 (56)	119
Tabla 4.9	Volumen producido en las fuentes de abastecimiento (l/s) para cada localidad (61)	120
Tabla 4.10	Proyección de oferta y demanda de Cabo San Lucas(61)	121
Tabla 4.11	Eficiencia de remoción de un proceso OI	122
Tabla 4.12	Producto interno bruto según gran división de actividad económica (miles de pesos) (82)	125
Tabla 4.13	Costos de Inversión para la Alternativa 1	126



Tabla 4.14	Costos de Inversión para la Alternativa 2	127
Tabla 4.15	Comparativa de los Costos de Inversión	127
Tabla 4.16	Esquema tarifario	128



INTRODUCCIÓN

El 70% de la superficie de la Tierra está cubierto por agua, del cual el 97.5% es agua salada y sólo el 2.5% es dulce, lo que ocasiona que la disponibilidad de agua para consumo humano sea escasa. Actualmente es crítica la situación del abasto de agua potable para el consumo humano. El Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI (2004), reporta que dos de cada diez personas en el mundo-más de mil millones de personas- carecen de fuentes de agua potable, lo que ocasiona que por día, 3 mil 900 niños mueran por este problema, mientras que más de 2.6 mil millones no cuentan con saneamiento básico.

En 2010, la disponibilidad natural media de agua per cápita en el país es de 4,210 metros cúbicos por habitante, sin embargo, existen importantes diferencias regionales: 56.9% de la población (61.6 millones) reside en regiones hidrológico-administrativas con disponibilidad natural de agua menor de 2,000 metros cúbicos por persona, el cual es un nivel muy bajo en el ámbito internacional, y 12.2% (13.3 millones) vive en regiones con disponibilidad per cápita baja (entre 2 000 y 5 000 metros cúbicos). En contraste, 24.8% (26.8 millones) habita en regiones con disponibilidad media (entre 5 000 y 10 000 metros cúbicos) y sólo 6.1% (6.6 millones) se asienta en la única región (Frontera Sur) con muy alta disponibilidad natural del recurso hídrico, mayor a 20 000 metros cúbicos por habitante.

Otro grave problema que enfrenta nuestra sociedad actual, es la pérdida de la calidad original de agua, lo que hace necesario su tratamiento antes de llegar al consumo humano.

México ha enfocado esfuerzos en atender esta necesidad. En el Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012, ha establecido como meta sectorial aumentar la cobertura global de agua potable al 92%, y en específico, en el Plan Nacional Hídrico (PNH) 2007-2012, en los números 2 y 6, se establece como objetivos el “Incrementar el acceso y calidad de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento” así como “Prevenir los riesgos derivados de fenómenos meteorológicos e hidrometeorológicos y atender sus efectos”. Para lograrlo, es necesaria la formulación y evaluación de proyectos de inversión que garanticen el abastecimiento de agua a las poblaciones con disponibilidades bajas y que a su vez, cumpla con los parámetros de calidad requeridos para el agua de consumo humano indicados en la norma correspondiente.



Actualmente, la infraestructura para la potabilización del agua en México, está constituida por 604 plantas potabilizadoras con un caudal de 87,310 L/s. La implementación de tecnologías para la desalinización del agua se ha considerado una buena opción para solucionar el problema de la escasez. Al año 2007 en México, se registraron 320 sitios donde están instaladas 435 plantas desaladoras. El estado con el mayor número de desaladoras es Quintana Roo, con 124 unidades; le sigue Baja California Sur, con 71. Este último cuenta con la planta municipal más grande del país, en los Cabos, que produce 200 L/s de agua potable (17,280 m³/d) y abastece a una parte de Cabo San Lucas.

En la formulación de este tipo de proyectos de inversión, es necesario realizar estudios serios y profundos del ambiente en donde desenvolverá sus actividades económicas, con el fin de trazar un cuadro realista de lo que sucederá con su implementación. De no proceder de esta forma, es muy posible que el proyecto fracase o no se obtengan los resultados esperados. Estos estudios deben estar debidamente planificados y coordinados desde la concepción del proyecto, es decir, inicialmente, se debe realizar una evaluación a nivel perfil para que con base en sus resultados, se determine si es necesaria la elaboración de estudios más profundos y costosos como son los estudios topográficos, geotécnicos geológicos, socioeconómicos, de materiales, etc., o es mejor pensar en otro proyecto posible. En lo que respecta al sector público, destaca la elaboración de estudios socioeconómicos y ambientales, debido a que los proyectos gubernamentales se analizan desde el punto de vista del impacto social o de los beneficios que puedan brindar a la población. La calidad de la investigación en torno al ambiente depende de la profundidad con que se realicen los estudios, a modo de reducir la incertidumbre y que la toma de decisiones sea más racional y fundamentada.

Los estudios mencionados tienen un costo que varía según la calidad y profundidad de la investigación, por lo cual, es importante definir los niveles de estudios en los proyectos, así como sus etapas principales y el momento en que deben ser realizados, pues en muchos casos, proyectos que a simple vista parecen factibles, al final se desechan por causas que pudieron ser detectadas en estudios simples previos y ahorrar mucho dinero.

La principal fuente de fracaso en los proyectos de inversión es la falta de definición y de planeación de los mismos, además, en nuestro país, no existe una guía que defina los elementos que se deben considerar dentro de una primera evaluación de proyectos, por lo



que la intención de esta tesis es contribuir con una herramienta que facilite la evaluación preliminar y la selección de la alternativa que de solución a una determinada problemática planteada. Esto se alcanzará mediante el desarrollo de una metodología que determine, defina y agrupe los criterios técnicos, ambientales y financieros mínimos necesarios para la evaluación de un proyecto a nivel perfil. El objetivo de dicha metodología es crear un procedimiento de juicio tal, que al final de su implementación permita al ejecutor de un proyecto, tomar la mejor decisión, respecto al proyecto que habrá de implementar.



OBJETIVO GENERAL

Proponer una metodología a nivel perfil que contenga los aspectos mínimos necesarios que permitan evaluar la viabilidad técnica, económica y ambiental de un proyecto para la potabilización y desalinización del agua, con la finalidad de determinar la mejor alternativa tecnológica y la conveniencia de su implementación.

Objetivos Particulares

- a) Proponer una estrategia para la evaluación de criterios técnicos, económicos y ambientales que permita de forma rápida y sencilla, elegir de entre varias alternativas tecnológicas a la mejor opción para potabilizar y/o desalinizar agua.
- b) Identificar los aspectos técnicos que proporcionen la información mínima necesaria para la definición de la tecnología apropiada para la potabilización y/o desalinización del agua.
- c) Identificar los principales impactos ambientales asociados a la construcción y operación de una planta potabilizadora y/ desalinizadora.
- d) Proponer los aspectos mínimos necesarios para evaluar financieramente una serie de alternativas propuestas, y así, poder determinar cual representará el menor costo.
- e) Desarrollar una guía para la evaluación de la viabilidad técnica, económica y ambiental de proyectos para la potabilización y desalinización del agua que explique paso a paso la aplicación de la metodología propuesta.



1 ANTECEDENTES

1.1 Disponibilidad de los recursos hídricos en México

Poco más del 97% del volumen de agua existente en nuestro planeta es agua salada y está contenida en océanos y mares; mientras que apenas algo menos del 3% es agua dulce o de baja salinidad.

Del volumen total de agua dulce, estimado en unos 38 millones de kilómetros cúbicos, poco más del 75% está concentrado en casquetes polares, nieves eternas y glaciares; el 21% está almacenado en el subsuelo, y el 4% restante corresponde a los cuerpos y cursos de agua superficial (lagos y ríos).

El agua dulce almacenada en el subsuelo es muy superior a la existente en las corrientes superficiales; pero sólo es aprovechable en parte, debido a limitaciones físicas y económicas. Gran parte del agua dulce aprovechable transita y se almacena en los primeros 1,000 m a partir de la superficie del terreno, donde se alojan los acuíferos de mayor permeabilidad, de renovación más activa, económicamente accesibles y con agua de buena calidad.

La superficie de México comprende una extensión territorial de 1, 959, 248 km².y la longitud de la línea de costa es de 11,122 km. En 2008 contaba con una población de 107.1 millones de habitantes de lo cuales, el 77.1% (82.63 millones de habitantes) es urbana y el 22.9% (24.48 millones de habitantes) es rural. Aproximadamente el 10% de la población rural se encuentra dispersa en pequeñas localidades de menos de 100 habitantes, a las cuales es muy costoso dotar de los servicios de agua potable y alcantarillado.

El país se ha dividido en 13 Regiones Hidrológico-Administrativas debido a que las cuencas son las unidades básicas de gestión de los recursos hídricos, esto con el fin de organizar la administración y preservación de las aguas nacionales. Las Regiones Hidrológico-Administrativas están formadas por agrupaciones de cuencas, respetando los límites municipales para facilitar la integración de la información socioeconómica. Estas regiones y la ubicación de sus sedes correspondientes son:

I. Península de Baja California (Mexicali, Baja California)

II. Noroeste (Hermosillo, Sonora)

- III. Pacífico Norte (Culiacán, Sinaloa)
 - IV. Balsas (Cuernavaca, Morelos)
 - V. Pacífico Sur (Oaxaca, Oaxaca)
 - VI. Río Bravo (Monterrey, Nuevo León)
 - VII. Cuencas Centrales del Norte (Torreón, Coahuila)
 - VIII. Lerma Santiago Pacífico (Guadalajara, Jalisco)
 - IX. Golfo Norte (Ciudad Victoria, Tamaulipas)
 - X. Golfo Centro (Xalapa, Veracruz).
 - XI. Frontera Sur (Tuxtla Gutiérrez, Chiapas)
 - XII. Península de Yucatán (Mérida, Yucatán)
 - XIII. Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala (México, Distrito Federal)
- Los estados que abarcan cada una de ellas se muestran en la Figura 1.1.



Figura 1.1 Regiones Hidrológico-Administrativas y sus sedes



Anualmente México recibe del orden de 1, 489 miles de millones de metros cúbicos de agua en forma de precipitación. La precipitación acumulada ocurrida en la República Mexicana del 1° de enero al 31 de diciembre del año 2008 alcanzó una lámina de 869 mm, lo cual fue 14% superior a la normal del periodo de 1971 a 2000 (760 mm). De esta agua, se estima que el 73.2% (1090 Km³/año) se evapotranspira y regresa a la atmósfera, el 22.1% (329 Km³/año) escurre por los ríos o arroyos, y el 4.7% (70 Km³/año) restante se infiltra al subsuelo de forma natural y recarga los acuíferos. Tomando en cuenta las exportaciones (0.43 Km³/año a Estados Unidos) e importaciones de agua con los países vecinos (50 Km³/año de Guatemala y Estados Unidos), así como la recarga incidental¹, anualmente el país cuenta con 459 mil millones de metros cúbicos de agua dulce renovable, a lo que se le denomina disponibilidad natural media.

Por las características del relieve del país, existe una gran variedad de climas. Dos terceras partes del territorio nacional se consideran áridas o semiáridas, mientras que el sureste es húmedo, con precipitaciones promedio que llegan a los 2000 milímetros por año en algunas entidades federativas. Se observa por ejemplo que en Tabasco, la entidad que recibe mayor cantidad de lluvia, la precipitación durante el periodo de 1971-2000 fue 13 veces mayor que en Baja California Sur, la entidad más seca. Con base en ello, México se puede dividir en dos grandes zonas: la zona norte, centro y noroeste, donde se concentra el 77% de la población, se genera el 87% del Producto Interno Bruto (PIB), pero únicamente ocurre el 31% del agua renovable (la precipitación pluvial es similar a las de los países del Medio Oriente); y la zona sur y sureste donde es innegable que la disponibilidad es muy alta, pues habita el 23% de la población, se genera el 13% del PIB y ocurre el 69% del agua renovable. Para la adecuada administración de los recursos naturales y de los ecosistemas en función de las características antes mencionadas, se requiere la construcción de obras de captación, tratamiento y almacenamiento que garanticen el abastecimiento de agua a las poblaciones con mayor déficit. La Figura 1.2 ilustra la disparidad entre esas dos zonas en cuanto a su disponibilidad per cápita con datos del 2007.

¹ Aquella que es consecuencia de alguna actividad humana y que no cuenta con la infraestructura específica para la recarga artificial.

Es importante señalar que la distribución mensual de la precipitación acentúa los problemas relacionados con la disponibilidad del recurso, debido a que el 68% de la precipitación normal mensual ocurre entre los meses de junio y septiembre.

Un aspecto muy importante a considerar en los escenarios futuros de México en materia de disponibilidad de agua es el incremento de la población y la concentración de la población en zonas urbanas. De acuerdo con las estimaciones del Consejo Nacional de Población (CONAPO), entre 2007 y 2030 la población del país se incrementará en casi 14.9 millones de personas. Además, aproximadamente el 82% de la población total se asentará en localidades urbanas.

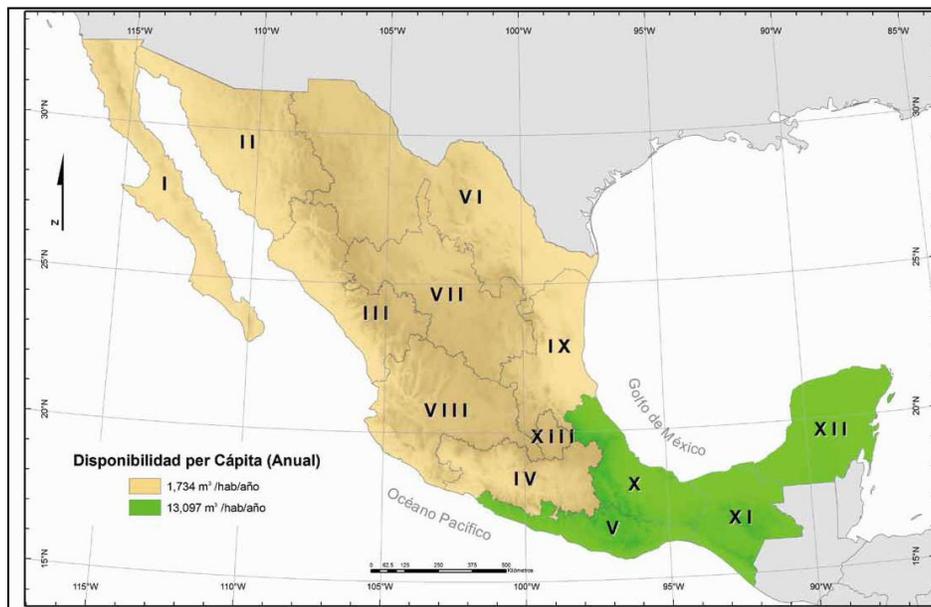


Figura 1.2 Contraste regional entre el desarrollo y la disponibilidad del agua

La cantidad de agua dulce renovable anual dividida por el número de habitantes en la región o país da como resultado el agua renovable per cápita. Se considera que un país o región vive en estado de estrés hídrico si su agua renovable es de $1700 \text{ m}^3/\text{hab}/\text{año}$ o menos y puede variar dependiendo de la dinámica propia del ciclo hidrológico. En el caso de México, este valor ha disminuido de $18,035 \text{ m}^3/\text{hab}/\text{año}$ en 1950 a tan sólo $4,312$ en el 2007, volumen que nos ubica a nivel mundial como país con baja disponibilidad media.



Aunado a ello, y debido al contraste en la disponibilidad de agua del país descrita anteriormente, la disponibilidad per cápita a nivel federal puede dar una falsa idea en cuanto a las posibilidades de uso y aprovechamiento del agua, ya que la distribución no es homogénea en todo el territorio. Para el 2008, el menor valor registrado fue de 165 m³/hab/año para la Región Hidrológico Administrativa XIII “Aguas del Valle de México”, y el valor más grande fue de 24,043 para la Región XI “Frontera Sur”.

El incremento de población hará que la disponibilidad natural media per cápita de agua por habitante a nivel nacional disminuya de 4,312 m³/hab/año en el año 2007 a 3,783 en el 2030 y en algunas de las Regiones Hidrológico-Administrativas del país, alcanzará niveles cercanos o incluso inferiores a los 1,000 m³/hab/año, es decir, una condición calificada como una condición grave de escasez, Lo anterior implicará para el país serias restricciones para la producción de alimentos, el desarrollo económico y la protección de los ecosistemas.

Los ríos y arroyos del país constituyen una red hidrográfica de 633 mil kilómetros, en la que destacan cincuenta ríos principales por los que fluye el 87% del escurrimiento superficial del país y cuyas cuencas cubren el 65% de la superficie territorial continental del país. Dos terceras partes del escurrimiento superficial pertenece a siete ríos: Grijalva-Usumacinta, Papaloapan, Coatzacoalcos, Balsas, Pánuco, Santiago y Tonalá. La superficie de sus cuencas representa el 22% de la del país. Los ríos Balsas y Santiago pertenecen a la vertiente del Pacífico y los otros cinco a la vertiente del Golfo de México. Por la superficie que abarcan, destacan las cuencas de los ríos Bravo y Balsas, y por su longitud, destacan los ríos Bravo y Grijalva-Usumacinta. Los ríos Lerma, Nazas y Aguanaval pertenecen a la vertiente interior.

La importancia del agua subterránea queda de manifiesto por la magnitud del volumen utilizado por los principales usuarios; cerca del 37% (29.5 miles de millones de m³/año al 2008) del volumen total concesionado para usos consuntivos, es de origen subterráneo. Para fines de administración del agua subterránea, el país se ha dividido en 653 acuíferos, de los cuales, a partir de la década de los setentas, ha aumentado sustancialmente el número de acuíferos sobreexplotados. En el año 1975 eran 32 acuíferos, 80 en 1985, y 101 acuíferos sobreexplotados al 31 de diciembre de 2008. De los acuíferos sobreexplotados se extrae el 58% del agua subterránea para todos los usos.



Para 2008 se presenta intrusión marina en 16 acuíferos a nivel nacional ubicados en los estados de Baja California, Baja California Sur, sonora y Veracruz de Ignacio de la Llave. Asimismo, se han identificado 32 acuíferos con presencia de suelos salinos y agua salobre, localizados principalmente en la Península de Baja California y en el altiplano mexicano, donde convergen condiciones de poca precipitación pluvial, altos índices de radiación solar y por tanto de evaporación, así como presencia de aguas congénitas y de minerales evaporíticos de fácil disolución.

1.2 Calidad del agua en México

La calidad del agua se refiere a las características físicas, químicas y biológicas de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos. Estas características afectan la capacidad del agua para sustentar tanto a las comunidades humanas como la vida vegetal y animal.

En la atmósfera durante la condensación y precipitación, la lluvia o la nieve absorben cantidades variables de dióxido de carbono y otros gases, así como pequeñas cantidades de material orgánico e inorgánico. Además, la precipitación arrastra sustancias radiactivas a la superficie de la Tierra.

El agua del mar contiene, además de grandes cantidades de cloruro de sodio (sal), muchos otros compuestos disueltos, debido a que los océanos reciben las impurezas procedentes de ríos y arroyos. El agua pura se evapora continuamente y el porcentaje de impurezas aumenta, lo que proporciona al océano su carácter salino.

La evaluación de la calidad del agua se lleva a cabo utilizando tres aspectos: la Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días (DBO5), la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los Sólidos Suspendidos Totales (SST). La DBO5 y la DQO se utilizan para determinar la cantidad de materia orgánica presente en los cuerpos de agua provenientes principalmente de las descargas de aguas residuales de origen municipal y no municipal. La primera determina la cantidad de materia orgánica biodegradable y la segunda mide la cantidad total de materia orgánica. El incremento de la concentración de estos parámetros incide en la disminución del contenido de oxígeno disuelto en los cuerpos de agua con la consecuente afectación a los ecosistemas acuáticos. Por otro lado, el aumento de la DQO indica presencia de sustancias provenientes de descargas no municipales. Los SST tienen su



origen en las aguas residuales y la erosión del suelo. El incremento de los niveles de SST hace que un cuerpo de agua pierda la capacidad de soportar la diversidad de la vida acuática.

Estos parámetros permiten reconocer gradientes que van desde una condición relativamente natural o sin influencia de la actividad humana hasta agua que muestra indicios o aportaciones importantes de descargas de aguas residuales municipales y no municipales, así como áreas con deforestación severa. Es por ello que los sitios con monitoreo de calidad del agua están ubicados en zonas con un alta influencia antropogénica.

1.2.1 Calidad del agua superficial

Se realizó una evaluación de la calidad del agua al año 2008 y se determinaron los tres aspectos de calidad descritos anteriormente en distintos sitios de monitoreo de la república. Como resultado se obtuvo que del total nacional, diecinueve cuencas están clasificadas como fuertemente contaminada en algún aspecto, en dos de ellos o en todos, y se encuentran distribuidos de acuerdo al la Figura 1.3

De los 518 sitios de monitoreo analizados para DBO5 se encontró que el 40.6% contiene agua de calidad excelente ($DBO5 \leq 3$ mg/l) y el 4.1% agua fuertemente contaminada ($DBO5 > 120$ mg/l)

De los 532 sitios de monitoreo analizados para DQO se determinó que el 23.3% son de calidad excelente ($DQO \leq 10$ mg/l) y el 7.9% están fuertemente contaminados ($DQO > 200$ mg/l)

Para SST se encontró que el 42.3% de los 586 sitios de monitoreo analizados contienen agua de calidad excelente ($SST \leq 25$ mg/l) y el 2.3% se encuentran fuertemente contaminadas ($SST > 400$ mg/l)

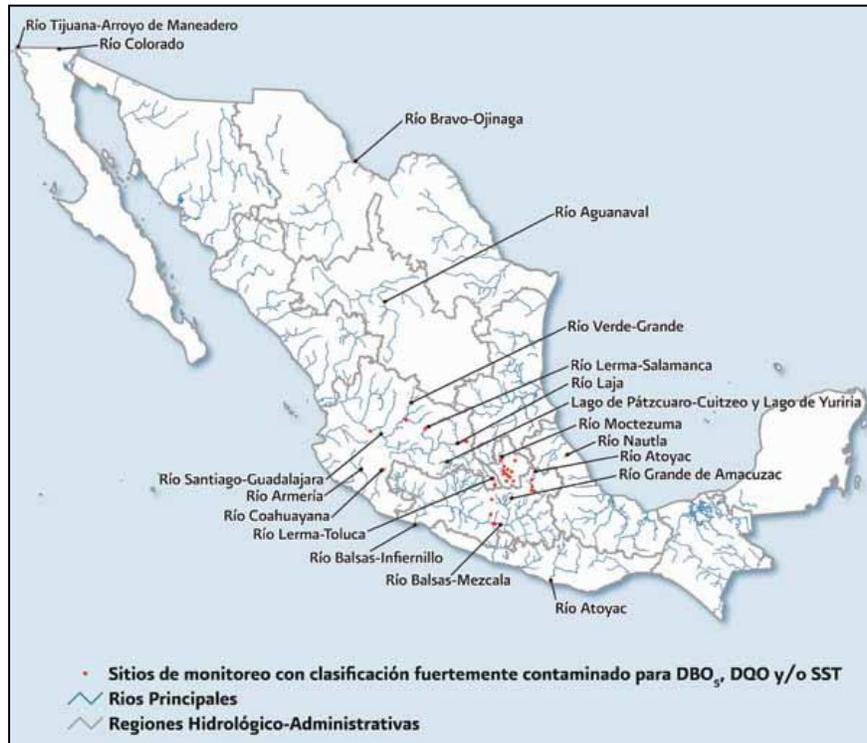


Figura 1.3 Sitios de monitoreo con la clasificación fuertemente contaminada para DBO₅, DQO y/o SST, 2008

1.2.2 Calidad del agua subterránea

Uno de los parámetros que permite evaluar la salinización de aguas subterráneas, son los sólidos totales. De acuerdo a su concentración las aguas subterráneas se clasifican como se muestra en la Tabla 1.1:

Tabla 1.1 Clasificación del agua subterránea de acuerdo a SST

Tipo	Concentración SST (mg/l)
Dulces	<1 000
Ligeramente salobres	1 000-2 000
Salobres	2 000- 10 000
Salinas	>10 000



El límite entre el agua dulce y la ligeramente salobre coincide con la concentración máxima señalada por la modificación de la norma oficial mexicana NOM-127-SSA1-1994, que “establece los límites máximos permisibles que debe cumplir el agua para consumo humano y tratamiento en materia de calidad del agua para consumo humano”, por lo que es necesario el tratamiento previo a la entrega de éstas a la población.

1.2.3 Calidad del agua en playas

Conforme a lo reportado por el Sistema de Monitoreo de la calidad bacteriológico en las Playas, realizado por la Secretaría de Salud a través de su representación estatal y publicado en la página de Internet de la Comisión Federal para la Protección contra riesgos sanitarios (COFEPRIS) se tiene que en los años de 2003 a 2009, la calidad del agua en las playas ha mejorado, como se muestra en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2 Resultados del programa de monitoreo de la calidad del agua en playas, serie anual de 2003 a 2008

Año	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Número de destinos turísticos	35	37	44	45	46	50
Número de playas	226	209	259	274	276	242
Número de estados costeros	17	17	17	17	17	17
Muestras que cumplen con los criterios de calidad (%)	93.7	94.5	96.5	96.2	98.4	97.5

1.3 Situación actual de la potabilización y desalinización en México

La Ley de Aguas Nacionales (LAN) establece que la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales se realizará mediante títulos de concesión o asignación otorgados por el Ejecutivo Federal a través de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) por medio de los Organismos de Cuenca, o directamente por ésta cuando así le competa, de acuerdo con las reglas y condiciones que dispone la LAN y su reglamento. A partir de la expedición de la



LAN (1992), los títulos de concesión, asignación y permisos de descarga se inscriben en el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA).

La CONAGUA es el órgano administrativo, normativo, técnico y consultivo encargado de la gestión del agua en México, y se encarga de administrar y preservar las aguas nacionales y sus bienes inherentes para lograr su uso sustentable, con la corresponsabilidad de los tres órdenes de gobierno y la sociedad en general, y desempeña sus funciones a través de 13 Organismos de Cuenca (antes conocidos como Gerencias Regionales), cuyo ámbito de competencia son las 13 Regiones Hidrológico-Administrativas mencionadas anteriormente.

Los proyectos en materia de agua potable se encuentran dentro de los rubros:

- ❖ Agua potable y saneamiento a ciudades
- ❖ Agua potable y saneamiento a comunidades rurales

1.3.1 Programas Nacionales Hídricos

Con el fin de obtener una adecuada aplicación y aprovechamiento de los recursos hídricos del país, se han creado distintos programas de desarrollo de infraestructura hidráulica. Con ellos, se busca elevar la preservación, eficiencia y sustentabilidad en el uso del recurso impulsando el fortalecimiento de los servicios de abasto y saneamiento en zonas urbanas y rurales de la población. Su correcta aplicación se refleja en la atención de la creciente demanda de los distintos usuarios manteniendo así la calidad de vida de la población y en general de todas las actividades económicas del país.

Los programas más relevantes a nivel nacional en materia de agua potable se mencionan a continuación:

❖ ***Plan Nacional de Desarrollo (PND) y Plan Nacional Hídrico (PNH) 2007-2012***

El PND 2007-2012 asume como premisa básica la búsqueda del Desarrollo Humano Sustentable, es decir, que todos los mexicanos tengamos una vida digna sin comprometer el patrimonio de las generaciones futuras. En este contexto, el adecuado manejo y preservación del agua cobra un papel fundamental, dada su importancia en el bienestar social, el desarrollo económico y la preservación de la riqueza ecológica de nuestro país.



Cuando vinculamos al agua con el bienestar social, básicamente nos referimos al suministro de los servicios de agua potable y alcantarillado a la población, así como al tratamiento de las aguas residuales. En lo relativo al desarrollo económico, valoramos su importancia como insumo en las actividades productivas; por ejemplo, en la agricultura, la generación de energía eléctrica, el turismo o la industria. Asimismo se espera que se favorezca la preservación de la extraordinaria flora y fauna del país, única en el mundo.

Del PND se deriva el PNH 2007-2012. El PNH incorpora los objetivos y estrategias asociados con el manejo y preservación del agua, y se formuló de manera participativa a partir de los siguientes elementos:

- 1 Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012.
- 2 Programa Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2007-2012.
- 3 Programas Nacionales Hidráulicos realizados en administraciones anteriores.
- 4 Programas hídricos a nivel regional.
- 5 Participación pública a través de talleres y consultas vía Internet.

Los objetivos que se establecen en el PNH son los siguientes:

- 1 Mejorar la productividad del agua en el sector agrícola.
- 2 Incrementar el acceso y calidad de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento.
- 3 Promover el manejo integrado y sustentable del agua en cuencas y acuíferos.
- 4 Mejorar el desarrollo técnico, administrativo y financiero del sector hidráulico.
- 5 Consolidar la participación de los usuarios y la sociedad organizada en el manejo del agua y promover la cultura de su buen uso.
- 6 Prevenir los riesgos derivados de fenómenos meteorológicos e hidrometeorológicos y atender sus efectos.
- 7 Evaluar los efectos del cambio climático en el ciclo hidrológico.
- 8 Crear una cultura contributiva y de cumplimiento a la Ley de Aguas Nacionales en materia administrativa.

Para alcanzar los objetivos del PNH se han establecido 65 estrategias y 115 metas (una meta para cada aspecto). Adicionalmente, en el PNH se incluyen las



organizaciones e instituciones que tienen mayor relevancia para el logro de cada objetivo, así como los retos a superar para alcanzar las metas previstas.

❖ ***Programa de Agua Limpia (PAL)***

El Programa Agua Limpia se enmarca en el segundo objetivo rector del PNH: Incrementar el acceso y calidad de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Su objetivo es apoyar acciones que permitan generar agua de calidad apta para el consumo humano y que evite enfermedades de origen hídrico, de acuerdo a lo establecido en las normas NOM-127-SSA1-1994 y NOM-179-SSA1-1998. Subsanan los rezagos y mejorar la gestión del sector será esencial para elevar los niveles de bienestar de los mexicanos y reducir las desigualdades de acceso a estos servicios básicos. La ampliación del saneamiento contribuirá también a detener la contaminación del agua, así como a proteger y conservar los ecosistemas.

❖ ***Programa para la Modernización de Organismos Operadores de Agua (PROMAGUA)***

Los Organismos Operadores son los encargados de abastecer a la población del agua potable necesaria para satisfacer sus necesidades básicas y permitir su desarrollo urbano e industrial. Sin embargo, estos no cuentan con los recursos suficientes para llevar a cabo los estudios y proyectos necesarios para su elaboración. Es por esta razón que se creó el PROMAGUA, financiado por el Fondo Nacional de Infraestructura (FNI), teniendo como una de sus funciones el financiamiento parcial de los Programas y Proyectos de Infraestructura en Materia de Agua Potable.

El PROMAGUA, tiene como fin apoyar a los prestadores de servicios en la atención a la población, en materia de cobertura y calidad de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento.

Para lo anterior, promueve la participación de capital privado como complemento a los recursos no recuperables que el Programa brinda, y para ello, implica un cambio estructural que fomente la consolidación de los organismos operadores de agua, facilite el acceso a



tecnología de punta, impulse la autosuficiencia, y promueva el cuidado del medio ambiente con proyectos de saneamiento, preferentemente ligados al aprovechamiento de las aguas residuales.

Para participar en el PROMAGUA se requiere prestar los servicios de agua potable y saneamiento a localidades de más de 50 mil habitantes.

❖ ***Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento en Zonas Urbanas (APAZU)***

Este programa surge a partir de 1990, con el fin de hacer frente a la creciente demanda de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento. El programa tiene cobertura a nivel nacional y está dirigido a localidades con población mayor a 2,500 habitantes, consistiendo su objetivo primordial en apoyar el incremento de la cobertura de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento, mediante la rehabilitación y construcción de infraestructura hidráulica, promover el tratamiento de aguas residuales y apoyar acciones para el desarrollo institucional de los ejecutores.

❖ ***Programa para la Sostenibilidad de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento en Zonas Rurales (PROSSAPYS)***

Este programa surge a partir de 1999, derivado de un crédito externo contratado por el gobierno mexicano con el Banco Interamericano de Desarrollo, mismo que fue renovado en 2005. La ejecución se lleva a cabo a nivel nacional y está dirigido a comunidades rurales con población menor o igual a 2,500 habitantes, consistiendo su objetivo primordial en apoyar el incremento de la cobertura de los servicios de agua potable y saneamiento, mediante la construcción de infraestructura con la participación de la población beneficiada, a fin de inducir la sostenibilidad de esos servicios.

La inversión anual en cada uno de los estados participantes se integra con una mezcla de recursos de hasta el 50% de recursos federales y el resto de aportación local, en donde se puede incluir, en su caso, la de los municipios y de las comunidades rurales participantes.

❖ ***Programa de Devolución de Derechos (PRODDER)***



El PRODDER tiene como objetivo coadyuvar a la realización de acciones de mejoramiento de eficiencia y de infraestructura de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales en municipios, mediante la asignación a los prestadores de los servicios de agua potable y saneamiento de los ingresos federales que se obtengan por la recaudación de los derechos por la explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales.

Son sujetos o candidatos al Programa, todos aquellos prestadores del servicio, que habiendo cubierto los derechos federales por el uso o aprovechamiento de aguas nacionales, por servicio público urbano, con poblaciones mayores a 2,500 habitantes, soliciten su adhesión, presentando para ello un Programa de Acciones, donde se comprometan a invertir junto con los recursos federales asignados, al menos otra cantidad igual.

1.3.2 Aspectos normativos

❖ **Constitución Mexicana**

En el párrafo tercero del artículo 27 constitucional señala el derecho del Estado para imponer las modalidades a la propiedad privada que dicte el interés público y de regular, en beneficio social, el aprovechamiento de los elementos naturales susceptibles de apropiación, con objeto de hacer una distribución equitativa de la riqueza pública, cuidar su conservación, lograr el desarrollo equilibrado del país y el mejoramiento de las condiciones de vida de la población rural y urbana.

Los artículos 73, 115 y 122 de la constitución, establecen las facultades legislativas del Congreso de la Unión en materia de Aguas, las facultades de los Municipios en materia de aguas y las facultades de la asamblea Legislativa del Distrito Federal en materia de agua, respectivamente.

❖ **Ley de Aguas Nacionales (LAN)**

La LAN es una ley reglamentaria del artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en materia de aguas nacionales. Tiene como finalidad regular el uso, aprovechamiento o explotación de dichas aguas así como su distribución, uso y la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral sustentable. También



tiene como mandato el apoyar y acreditar la participación y organización de los usuarios para mejorar la gestión del agua.

Asimismo, establece que el agua es un bien de dominio público federal, vital, vulnerable y finito, con valor social, económico y ambiental y que la responsabilidad de su preservación en cantidad y calidad recae tanto en el Estado como en la sociedad.

❖ ***Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)***

Esta ley y tienen por objeto propiciar el desarrollo sustentable y establecer las bases para el aprovechamiento sustentable, la preservación y, en su caso, la restauración del suelo, el agua y los demás recursos naturales, de manera que sean compatibles la obtención de beneficios económicos y las actividades de la sociedad con la preservación de los ecosistemas, así como para la prevención y el control de la contaminación del aire, agua y suelo;

Dentro de su Artículo 7, confiere a los Estados la facultad de regular el aprovechamiento sustentable y la prevención y control de la contaminación de las aguas de jurisdicción estatal, así como de las aguas nacionales que tengan asignadas.

Dentro del Artículo 12 establece que los convenios o acuerdos de coordinación que suscriban la Federación con el Distrito Federal y los Estados con los Municipios deben ser congruentes con las Disposiciones del PND y con la política ambiental nacional.

❖ ***NOM-127-SSA-1994***

El abastecimiento de agua para uso y consumo humano con calidad adecuada es fundamental para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades gastrointestinales. Para ello se requiere establecer límites permisibles en cuanto a sus características microbiológicas, físicas, organolépticas, químicas y radioactivas.

En nuestro país, la norma aplicable para calidad de agua potable es la NOM-127-SSA-1994, la cual establece los límites permisibles de calidad y los tratamientos de potabilización del agua para uso y consumo humano, que deben cumplir los sistemas de abastecimiento

públicos y privados o cualquier persona física o moral que la distribuya, en todo el territorio nacional.

Los valores de los parámetros que regula se muestran a continuación:

a) Límites permisibles de características bacteriológicas

El contenido de organismos resultante del examen de una muestra simple de agua, debe ajustarse a lo establecido en la Tabla 1.3.

Tabla 1.3 Límites permisibles de características microbiológicas

Característica	Limite permisible
Organismos Coliformes Totales	2 NMP/100 mL 2 UFC/100 mL
E. coli	No detectable NMP/ 100 mL Cero UFC/100 mL

Nota: NMP: Número más probable

UFC: Unidades formadoras de colonias

Los resultados de los exámenes bacteriológicos se deben reportar en unidades de NMP/100 ml (número más probable por 100 ml), si se utiliza la técnica del número más probable o UFC/100 ml (unidades formadoras de colonias por 100 ml), si se utiliza la técnica de filtración por membrana

b) Límites permisibles de características físicas y organolépticas

Las características físicas y organolépticas deberán ajustarse a lo establecido en la Tabla 1.4

Tabla 1.4 Límites permisibles de características físicas y organolépticas

Característica	Limite permisible
Color	20 unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto
Olor y sabor	Agradable (se aceptaran aquellos que sean tolerables para la mayoría de los consumidores, siempre que no sean resultado de condiciones objetables desde el punto de vista biológico o químico)
Turbiedad	5 unidades de turbiedad nefelométricas (UTN) o su equivalente en otro medio

c) Límites permisibles de características químicas



El contenido de constituyentes químicos deberá ajustarse a lo establecido en la Tabla 1.5. Los límites se expresan en mg/l, excepto cuando se indique otra unidad.

Tabla 1.5 Límites permisibles de características químicas

Característica	Limite permisible
Aluminio	0.20
Arsénico	0.01
Bario	0.70
Cadmio	0.005
Cianuros (como CN ⁻)	0.07
Cloro residual libre	0.2-1
Cloruros (como Cl ⁻)	250
Cobre	2
Cromo total	0.05
Dureza total (como CaCO ₃)	500
Fenoles o compuestos fenólicos	0.001
Fierro	0.30
Fluoruros (como F ⁻)	1.50
Manganeso	0.15
Mercurio	0.001
Nitratos (como N)	10
Nitritos (como N)	0.05
Nitrógeno amoniacal (como N)	0.5
pH (potencial de hidrogeno) en unidades de pH	6.5-8.5
Plaguicidas en microgramos/l	
Aldrín y dieldrín separados o combinados	0.03
Clordano (total de isómeros)	0.20
DDT (total de isómeros)	1
Gamma-HCH (lindano)	2
Hexaclorobenceno	1
Heptacloro y epóxido de heptacloro	0.03
Metoxicloro	20
2,4-D	30
Plomo	0.01
Sodio	200
Sólidos disueltos totales	1000
Sulfatos (como SO ₄ ⁼)	400
Substancias activas al azul del metileno (SAAM)	0.50
Trihalometanos totales	0.20
Zinc	5

La Tabla 1.5 indica que los límites permisibles de metales se refieren a su concentración total en el agua, la cual incluye los suspendidos y los disueltos.

d) Límites permisibles de características radiactivas

El contenido de constituyentes radiactivos deberá ajustarse a lo establecido en la Tabla 1.6. Los límites se expresan en Bq/l (Becquerel por litro).

Tabla 1.6 Límites permisibles de características radiactivas

Característica	Límite permisible (Bq/l)
Radiactividad alfa global	0.1
Radiactividad beta global	1

❖ **NOM-004-SEMARNAT-2002**

Los límites máximos permisibles de metales pesados se establecen en la Tabla 1.7.

Tabla 1.7 Límites máximos permisibles para metales pesados en biosólidos

CONTAMINANTE (determinados en forma total)	EXCELENTES mg/kg en base seca	BUENOS mg/kg en base seca
Arsénico	41	75
Cadmio	39	85
Cromo	1200	3000
Cobre	1500	4300
Plomo	300	840
Mercurio	17	57
Níquel	420	420
Zinc	2800	7500

Los límites máximos permisibles de patógenos y parásitos en los lodos y biosólidos se establecen en la Tabla 1.8

Tabla 1.8 Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos y biosólidos

Clase	Indicador bacteriológico de contaminación	Patógenos	Parásitos
	Coliformes fecales NMP/en base seca	Salmonella spp.	Huevos de helmintos viables/g en base seca
A	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 1 (a)
B	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 10
C	Menor de 2 000 000	Menor de 300	Menor de 35

(a) Huevos de helmintos viables

El aprovechamiento de los biosólidos, se establece en función del tipo y clase, como se especifica en la Tabla 1.9 y su contenido de humedad hasta el 85%.

Tabla 1.9 Aprovechamiento de biosólidos

TIPO	CLASE	APROVECHAMIENTO
Excelente	A	Usos urbanos con contacto público directo durante su aplicación * Los establecidos para clase B y C
Excelente o bueno	B	Usos urbanos sin contacto público directo durante su aplicación * Los establecidos para clase C
Excelente o bueno	C	* Usos forestales * Mejoramiento de suelos * Usos agrícolas

1.3.3 Infraestructura para la potabilización y desalinización del agua en México

Al cierre de 2008, el registro de plantas en operación se incrementó a 604 unidades, con capacidad instalada en conjunto de 130 877.8 l/s y caudal potabilizado de 87 310.0 l/s. (1)
En la Tabla 1.10 se muestra el número de plantas instaladas por estado y el caudal instalado y potabilizado para el año 2008.

Tabla 1.10 Resumen del inventario nacional de plantas municipales de potabilización en operación (1)

Estado	No. Plantas	Capacidad instalada	Caudal potabilizado
Aguascalientes	3.0	44.0	26.0
Baja california	26.0	10698.5	5311.4
Baja california sur	15.0	215.1	215.1
Campeche	2.0	25.0	23.0
Coahuila de zaragoza	18.0	2 132.2	1 707.2
Colima	33.0	10.7	4.7
Chiapas	4.0	4 500.0	2 510.0
Chihuahua	4.0	650.0	380.0
Distrito federal	36.0	4 617.0	3 644.0
Durango	30.0	29.7	21.8
Guanajuato	27.0	374.8	312.5
Guerrero	11.0	3 278.0	2 973.0



Estado	No. Plantas	Capacidad instalada	Caudal potabilizado
Hidalgo	2.0	130.0	130.0
Jalisco	24.0	6 197.0	1 9 490.0
México	11.0	22 164.0	16 739.0
Michoacán de ocampo	6.0	2 945.0	2 495.0
Morelos	0.0	0.0	0.0
Nayarit	0.0	0.0	0.0
Nuevo león	8.0	14 404.0	7 085.0
Oaxaca	6.0	1 291.3	771.3
Puebla	4.0	715.0	545.0
Querétaro de arteaga	6.0	269.0	212.0
Quintana roo	0.0	0.0	0.0
San luis potosí	14.0	1 315.0	957.1
Sinaloa	142.0	9 067.0	7 223.6
Sonora	24.0	4 130.0	2 098.3
Tabasco	37.0	10 411.0	6 596.0
Tamaulipas	54.0	14 345.0	11 438.0
Tlaxcala	0.0	0.0	0.0
Veracruz-llave	13.0	6 912.0	4 393.7
Yucatán	0.0	0.0	0.0
Zacatecas	44.0	7.5	7.2
Total Nacional	604.0	130 877.8	87 310.0

En la Figura 1.4 se muestran los principales procesos empleados para la potabilización del agua en el país y el número de plantas que lo han implementado dentro su tren de tratamiento.

En infraestructura para desalinización del agua, actualmente existen en México unas 300 desaladoras, muchas de ellas hoteleras y algunas pequeñas. La más grande de ellas está en Los Cabos y trata 200 litros por segundo.

1.3.4 Proyectos en marcha

A continuación se describen los proyectos de infraestructura de agua potable que se encuentran registrados en la cartera de proyectos de inversión de la Unidad de Inversiones de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (UI-SHCP) y que están próximos a implementarse dentro del país.

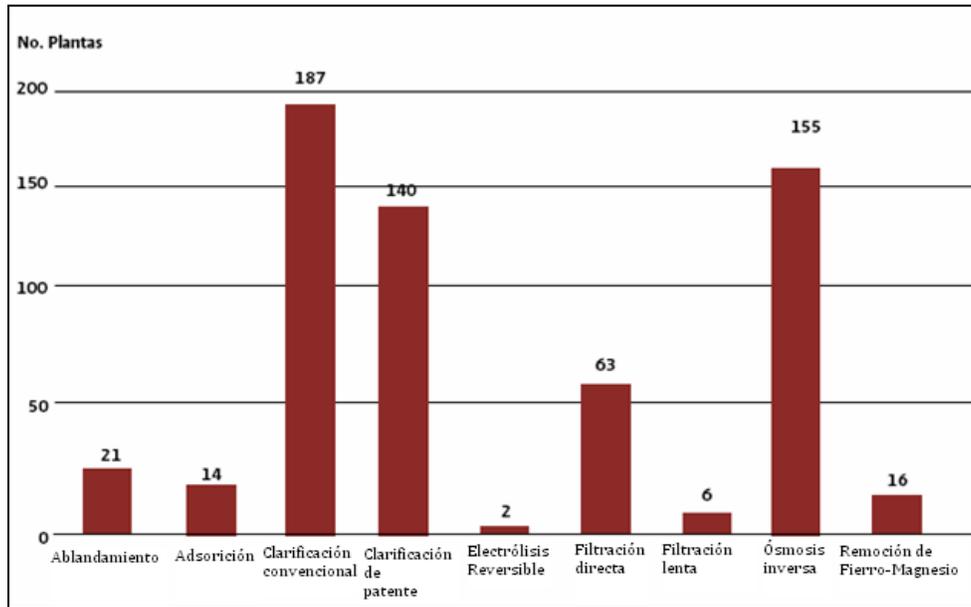


Figura 1.4 Número de Plantas potabilizadoras municipales en operación por proceso empleado

❖ **Acueducto el Realito**

El Realito es una obra integral, diseñada para recuperar los acuíferos de la ciudad de San Luis Potosí, de los cuales se está extrayendo agua a una profundidad de casi 500 metros. Incluye la construcción de una presa con capacidad de 50 millones de metros cúbicos; dos acueductos con capacidad de un metro cúbico por segundo para la ciudad de San Luis Potosí y también un metro cúbico por segundo para la ciudad de Celaya; plantas potabilizadoras y plantas de bombeo. Comprende además un programa completo de incremento de eficiencias y mejora de la operación del sistema de agua potable de la ciudad de San Luis Potosí.

❖ **Proyecto de Infraestructura Hidráulica para el Saneamiento Ambiental y Suministro de Agua Potable en el Estado de Baja California**

Este proyecto consiste en la construcción de redes de agua potable; reforzamiento de líneas de conducción, rehabilitación y/o construcción de Plantas Potabilizadoras de Agua. Construcción de redes de alcantarillado sanitario; construcción y/o reposición de subcolectores, colectores; construcción y/o rehabilitación de estacione.



❖ ***Proyecto de abastecimiento de agua potable Acueducto II, para la zona conurbada de la Ciudad de Querétaro***

Construcción de presa, rebombes, línea de conducción y planta potabilizadora para suministro de 1500 lps con recursos del Fondo de Inversión en Infraestructura (FINFRA).

❖ ***Sobreelevación de La Presa de Almacenamiento Santiago Bayacora, Dgo***

Consiste en la construcción de planta potabilizadora; modernización del canal principal y canal secundario; construcción de los conductos de entrada a la potabilizadora y salida a la planta de bombeo y; prolongación de canales principal, secundarios, caminos y drenes.

❖ ***Atender las emergencias en los Municipios de Ecatepec de Morelos y Nezahualcóyotl, por la ocurrencia de lluvia severa el día 3 de febrero de 2010, así como al Municipio de Valle de Chalco Solidaridad del Estado de México, por la ocurrencia de lluvia severa los días 3 y 4 de febrero de 2010***

Consiste en la adquisición de maquinaria, plantas potabilizadoras de agua, equipos de bombeo y desazolve; formulación de estudios técnicos, construcción y rehabilitación de la infraestructura hidráulica federal y; adquisición de materiales y suministros.

❖ ***Proyecto de abastecimiento de agua en bloque mediante desalación de agua de mar para la ciudad de Cabo San Lucas, B.C.S.***

El proyecto estará compuesto por: Obra de captación de agua de mar, planta desalinizadora modular, planta de bombeo, acueducto de 3 km de longitud y 21 de diámetro, tanque de regulación, líneas de conducción y redes de distribución, para las colonias Cangrejo y Mesa Colorada.

❖ ***Ampliación de la Planta Desaladora de Los Cabos, Baja California Sur, México.***

El proyecto consiste en la construcción de un módulo adicional de 200 l/s de la Planta Desaladora de Los Cabos situada en la ciudad de Cabo San Lucas.



2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Definición de proyecto de inversión

Un proyecto se define como un conjunto de actividades realizadas con sus respectivos recursos asignados, en un periodo determinado, para lograr ciertos objetivos. Entonces, un proyecto debe tener como mínimo: objetivos, actividades, recursos y un periodo establecido para realizarlo. En este contexto, **un proyecto de inversión**, además de lo anteriormente mencionado, genera beneficios en el transcurso del tiempo.(1)

El proyecto se lleva a cabo en una sucesión de etapas que siguen una secuencia definida, a saber(2):

- a) Identificación de la idea cuya realización se considera interesante y que pasa a constituir el objetivo del proyecto. Se realiza en esta etapa un primer análisis de la idea, para establecer en forma preliminar su factibilidad técnica y económica
- b) Preparación de un anteproyecto preliminar en el cual se estudia la idea con suficiente profundidad para confirmar su factibilidad técnica así como su interés económico y/o social, según sea la naturaleza del proyecto
- c) Preparación de un anteproyecto definitivo que permita definir entre otros, los aspectos de mercado, alternativas de proceso, tamaño, obra física, localización, calendario y organización, rentabilidad, financiamiento y evaluación
- d) Diseño final de ingeniería que representaría con todos los antecedentes anteriores, el proyecto definitivo
- e) Ejecución del proyecto y puesta en marcha del mismo
- f) Operación normal y análisis de los resultados del proyecto

2.2 Ciclo de vida de un proyecto

Todo proyecto que se materializa debe seguir una trayectoria que va desde el proceso de transformación de las ideas de inversión hasta su materialización y operación. Este proceso es conocido como ciclo de vida de los proyectos y está compuesto por los siguientes estados(3):

- ❖ Preinversión

- ❖ Inversión
- ❖ Operación

2.2.1 Estado de preinversión

En este estado se prepara y evalúa el proyecto de manera de obtener de él, el máximo excedente económico a lo largo de su vida útil. Para asignar eficientemente los recursos de inversión es necesario seleccionar los mejores proyectos de inversión; esto se realiza durante la etapa de preinversión, siguiendo los siguientes estados secuenciales:

❖ **Generación y análisis de la idea de proyecto**

Comienza con la elaboración de un diagnóstico, de modo que la generación de una idea de proyecto de inversión surja como consecuencia clara de necesidades insatisfechas, de políticas generales, de la existencia de otros proyectos en estudio o en ejecución que requieran complementación mediante acciones en campos distintos. En términos generales existen tres apartados dentro del proceso de planeación:

1. Identificación de problemas
2. Generación de objetivos
3. Alternativas posibles

Para dicho proceso, es muy conveniente realizar un diagrama causa-efecto, del cual se muestra un ejemplo en la Figura 2.1.

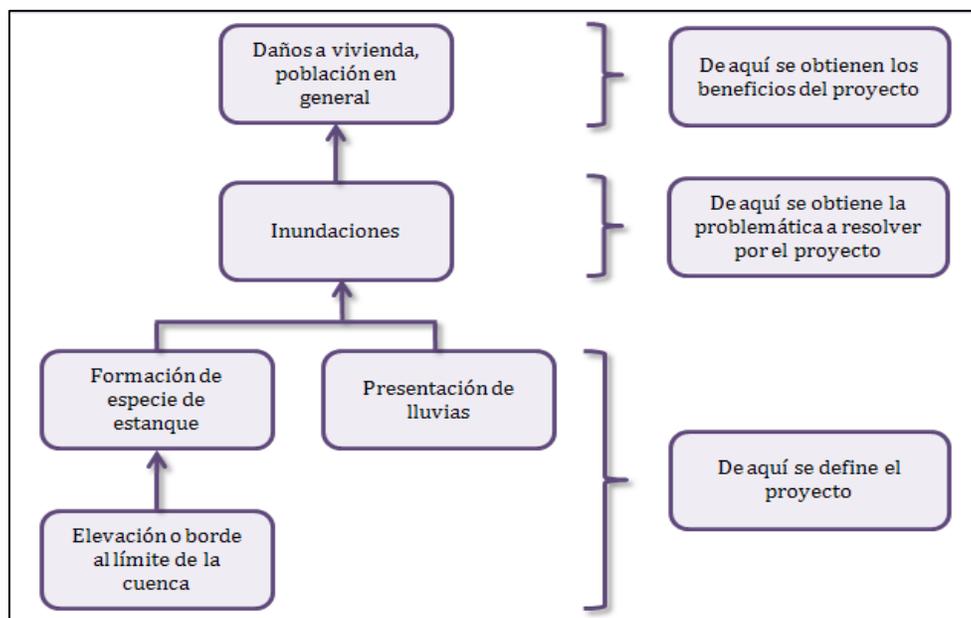


Figura 2.1 Diagrama causa-efecto



❖ **Estudio de viabilidad**

Dentro de este estudio se deben analizar todos los antecedentes que permitan al inversor formarse un juicio respecto de la conveniencia y viabilidad técnico-económica de llevar a cabo la idea de proyecto. El énfasis está en identificar los beneficios y costos pertinentes, utilizando pocos recursos financieros y humanos para medirlos y valorarlos. En esta etapa se usan los datos disponibles y eventualmente se generan otros a partir de estudios preliminares, incluyendo la experiencia derivada de proyectos realizados con anterioridad y el criterio profesional de los evaluadores, pero en general, no se incurre en mayores costos en crear o generar información. También se puede utilizar información proveniente de revistas especializadas, libros en la materia, artículos, estudios similares, estadísticas e información histórica, así como experiencias de otros países y gobiernos. Para este tipo de evaluación, la información a utilizar, para efectos de la cuantificación y valoración de los costos y beneficios, puede no ser muy precisa; sin embargo, debe permitir el cálculo de aspectos de rentabilidad.

❖ **Estudio de prefactibilidad**

Se examinan con más detalle, desde el punto de vista técnico, económico y social, las alternativas viables que fueron determinadas, en general a nivel perfil, además, se efectúan las optimizaciones por tamaño, aspectos técnicos localización y otras, eligiéndose de todas las alternativa de proyecto, la opción óptima. El énfasis radica en medir los beneficios y costos identificados en la etapa de perfil, lo cual implica el uso de un nivel de recursos humanos y materiales significativamente superiores al utilizado en el estudio de perfil. La información utilizada para este tipo de evaluación debe ser más detallada y precisa, especialmente por lo que se refiere a la cuantificación y valoración de los costos y beneficios.

❖ **Estudio de factibilidad**

El estudio de factibilidad debe enfocarse hacia el examen detallado y preciso de la alternativa óptima definida en la etapa anterior; colocando el énfasis en el mejoramiento de la valoración de beneficios y costos, lo que conlleva un incremento significativo de los recursos humanos y materiales utilizados en la etapa de prefactibilidad.



❖ **Etapa de diseño**

En la etapa de diseño se requiere elaborar la configuración de las características de arquitectura e ingeniería y ajustar detalles finales previos a la ejecución, tales como la disponibilidad y características del terreno.

2.2.2 Estado de inversión

En este estado se realizan todas las acciones tendientes a ejecutar físicamente el proyecto tal como fue especificado en la preinversión, es decir que en esta etapa se construye el activo definido en el estudio del proyecto.

2.2.3 Estado de operación

Consiste en poner en funcionamiento los proyectos y concretar los beneficios netos estimados en el estado de preinversión.

2.3 Metodologías para la evaluación de proyectos

2.3.1 Enfoque del Marco Lógico (EML)

El EML es una metodología efectiva para la planificación y gestión de proyectos de inversión que ayuda a clarificar el propósito de un proyecto, analiza su puesta en marcha, permite darle seguimiento y ayuda a medir sus éxitos. También, es una manera de pensar y es conveniente aplicarlo participativamente para diseñar un proyecto. (1)

Se trata de un método de planificación por objetivos y constituye el procedimiento predominantemente utilizado por las principales agencias nacionales y organismos internacionales de cooperación al desarrollo.(4)

Una de las aportaciones más características del EML es precisamente el dotar a la planificación de proyectos de un procedimiento sistemático para ir avanzando, a lo largo de las etapas de identificación y de diseño, en la configuración del futuro proyecto mediante la participación de los colectivos implicados y la búsqueda de consenso entre los mismos.

El método está centrado en el impacto o cambio que se desea lograr y no en las actividades que se deber realizar, por lo que toma como aspecto más importante del proyecto a los



objetivos, el impacto o lo que se quiere cambiar en las personas que van a ser beneficiadas por el proyecto y no en las actividades a que se tienen que hacer. (5)

Este método fue elaborado originalmente como respuesta a tres problemas comunes de los proyectos:(5)

- ❖ Planificación de proyectos carente de precisión, con objetivos múltiples que nos están claramente relacionados con las actividades del proyecto
 - ❖ Proyectos que no se ejecutan exitosamente, y el alcance de la responsabilidad del gerente del proyecto no está claramente definido
 - ❖ No hay una imagen clara de cómo luciría el proyecto si tuviese éxito, y los evaluadores no tienen una base objetiva para comparar lo que se planeo con lo que sucedió en la realidad
- El método encara estos problemas y provee además de una cantidad de ventajas sobre de otros enfoques menos estructurados:
- ❖ Aporta un formato para llegar a acuerdos precisos acerca de los objetivos metas y riesgos del proyecto que comparten al financiador, el prestatario y el ejecutor
 - ❖ Suministra un temario analítico común que puede utilizar el prestatario, los consultores y el equipo de proyecto para elaborar tanto el proyecto como el informe del proyecto
 - ❖ Enfoca el trabajo técnico en los aspectos críticos y puede acortar documentos de proyecto en forma considerable
 - ❖ Suministra información necesaria para la ejecución, monitores y evaluación del proyecto
 - ❖ Proporciona una estructura para expresar en un solo cuadro la información más importante sobre un proyecto

Emplear el EML adecuadamente implica recorrer los distintos pasos de la identificación y del diseño así como elaborar los proyectos en equipo con la participación de los principales implicados y, de manera especial, con los colectivos beneficiarios, permitiendo así un diseño que satisface tres requerimientos fundamentales de calidad en un proyecto de desarrollo: coherencia, viabilidad y “evaluabilidad”. Su creciente popularidad entre los oficiales de proyectos se debe al no menos importante hecho de constituir la principal técnica no cuantitativa de análisis científico en el campo de la política del desarrollo. El marco lógico logra, sin mayor necesidad de sofisticados métodos matemáticos introducir rigor científico en la formulación de proyectos sociales.(6)



La identificación de proyectos de acuerdo al EML se realiza generalmente a través de talleres en el terreno en los que participan los principales colectivos e instituciones concernidas por el futuro proyecto de desarrollo, siendo de especial relevancia la presencia de representantes de los grupos beneficiarios. En dichos talleres, con la ayuda de un facilitador que conozca el método en profundidad, se va avanzando mediante los siguientes pasos del método que resultan sobradamente conocidos:

- ❖ Análisis de participación (o análisis de implicados)
- ❖ Análisis de problemas
- ❖ Análisis de objetivos
- ❖ Análisis de alternativas (o análisis de estrategias)
- ❖ Matriz de planificación

Los cuatro primeros pasos conforman la fase de identificación y el último de ellos, resultado de los anteriores, configura y sintetiza la mayor parte de los elementos centrales de la fase de diseño.(4)

Estos pasos han de complementarse con otras herramientas de gestión que forman parte integrante del diseño de los proyectos, como la programación de actividades (calendario y asignación de responsabilidades operativas), la programación de recursos (presupuesto, plan de tesorería, entre otros) y los análisis de viabilidad o sostenibilidad del proyecto. En la Figura 2.2 se muestra un esquema del proceso general de preparación de un proyecto utilizando el EML. A continuación se explican las fases de esta metodología:

❖ **Análisis de participación (o análisis de implicados)(4)**

Dado que un proyecto de desarrollo se dirige básicamente a resolver los problemas de unos determinados colectivos es necesario precisar de manera detallada sus características sociales y económicas, sus principales intereses y prioridades, así como los criterios que se han utilizado para la selección de los mismos como futuros beneficiarios.

Asimismo, es preciso analizar los intereses, funciones y competencias de los demás colectivos presentes en el área de influencia del proyecto, y las relaciones de éstos con los beneficiarios, con objeto de analizar y prever convergencias de intereses o posibles alianzas, o en su caso situaciones potenciales de conflicto que puedan influir de manera positiva o negativa en la ejecución del proyecto.

Por ello, además de los destinatarios de la intervención, hay que referirse a los llamados beneficiarios indirectos, a los excluidos y a aquellos que pueden verse perjudicados por el proyecto (y que, por tanto, podrían llegar a constituirse en posibles oponentes al mismo).

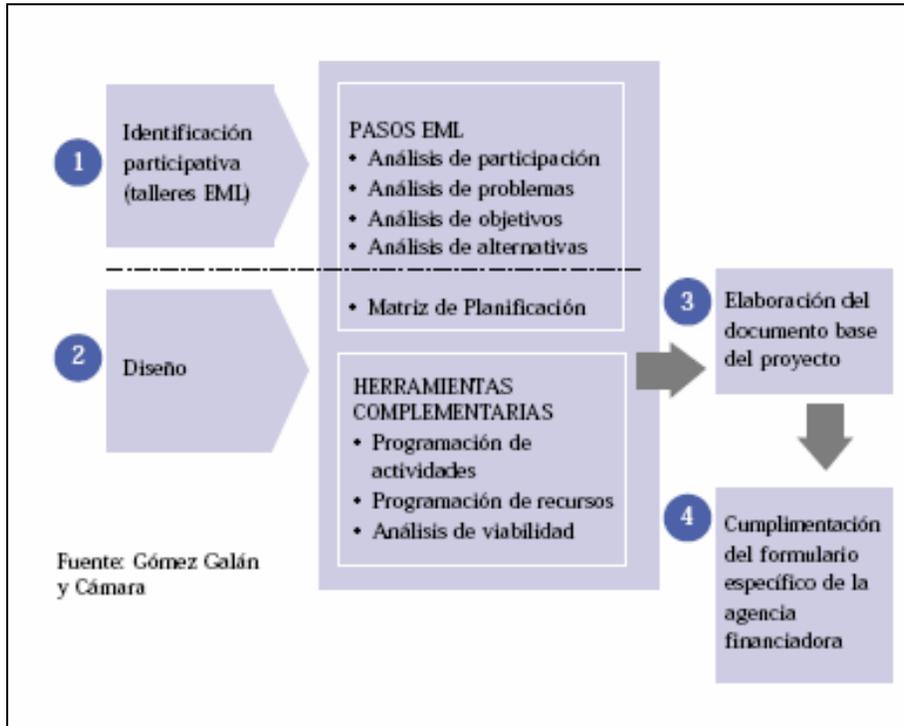


Figura 2.2 Preparación del proyecto utilizando el EML (4)

❖ Análisis de problemas

Con el fin de diseñar un proyecto para atender una situación que obstaculiza el desarrollo es conveniente realizar el análisis de problemas, cuyo propósito es identificar las principales dificultades de dicha situación y establecer las relaciones de causalidad entre ellas, para darles atención en el diseño de proyectos (1). Sólo una definición precisa de problemas permite una selección adecuada de objetivos en el paso posterior.

Desde una perspectiva metodológica, el análisis de problemas se lleva a cabo mediante la elaboración del árbol de problemas, el cual, es un diagrama de flujo que presenta una visión general e integrada de los principales problemas de la situación en cuestión, con relaciones de causa y efecto establecidas entre ellos. Para desarrollarlo, se identifica un solo problema central, el cual es el que generalmente más causas y efectos inmediatos tiene. Seguidamente debajo del problema se muestran sus causas inmediatas, arriba de él se

encuentran sus efectos inmediatos, a lo que se le llama respectivamente, causas y efectos primarios.

Para construir el árbol de problemas ha de seguirse la regla de que las causas de un problema (los “por qué”), se sitúan siempre en las tarjetas inferiores, mientras que los efectos (“las consecuencias”) deben colocarse en los niveles superiores, como queda reflejado en la Figura 2.3.

Los problemas deben, en la medida de lo posible, ser definidos como tales, evitando su formulación como ausencia de soluciones (“falta de presupuesto”, “no hay ordenadores”, entre otros). Esta práctica, bastante frecuente, revela que se están saltando etapas, pensando antes en los medios para resolver los problemas que en la definición de éstos y predeterminando las soluciones a los problemas, antes de conocer adecuadamente su naturaleza.

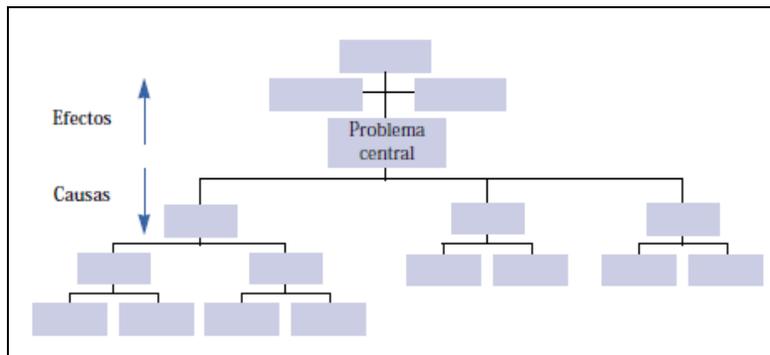


Figura 2.3 Árbol de problemas

❖ Análisis de objetivos

El análisis de objetivos constituye un paso central del EML, en la medida en que esboza las futuras soluciones posibles a los problemas detectados anteriormente en el análisis. Los objetivos planteados deben ser lo más realistas posibles y sólo debe haber un único objetivo específico por proyecto, el cual definirá el propósito concreto de la intervención y el compromiso que se adquiere a través de la misma.

En el se transforma el árbol de problemas en un árbol de objetivos, pues los problemas que fueron formulados en condición negativa, ahora deben ser reformulados en condición positiva, pero no sólo es el “negativo de un film”, en el que solamente se cambian problemas por soluciones, se debe asegurar que todas las relaciones de causalidad establecidas en él



sean entre un fin y un medio para lograrlo y adicionalmente que tenga sentido. Para ello, si es pertinente, se puede completar el árbol eliminando soluciones no factibles o innecesarias y agregando soluciones apropiadas para que todas las relaciones de causalidad consideradas tengan significado y el diagrama presente el cuadro completo de la situación que se analiza. (1)

❖ **Análisis de alternativas (o análisis de estrategias)**

Partiendo del árbol de objetivos, se consideran diferentes opciones para contribuir a resolver el problema central. En particular, se identifican varias alternativas que consisten en conjuntos articulados de medios y fines que se llevarían a cabo para contribuir a resolver dicho problema y lograr un impacto adicional.

Las alternativas pueden clasificarse como simples o compuestas. Las simples se ven como senderos en el árbol de objetivos, mientras que las compuestas son una combinación de las simples.

Para seleccionar las alternativas se deben identificar aquellas que sean más viables y elegir la que tiene la mayor probabilidad de generar los resultados deseados y promover la sostenibilidad de los beneficios esperados. (1)

Es importante justificar y fundamentar la alternativa que ha sido seleccionada frente a otras posibles alternativas existentes, así como los criterios que condujeron a su elección. Estos criterios se refieren a varios aspectos que incluyen: nivel de beneficio de los grupos meta del proyecto que se pretende formular, sostenibilidad de los beneficios, costo de la intervención, factibilidad técnica, impacto ambiental y fortalecimiento institucional.

No existe un conjunto definitivo de criterios para jerarquizar distintas alternativas, sin embargo, dado un grupo de alternativas viables que se comparan entre si es conveniente incluir por lo menos criterios: socioeconómicos (que incluyen el nivel de beneficios esperados), ambientales, técnicos (que pueden incluir costo de implementación de las alternativas) e institucionales (desarrollo de capacidades o mejoramiento organizacional). (1)

❖ **Matriz de planificación**

También conocida como Matriz de Marco Lógico (MML) resume el diseño del proyecto. En particular, a partir de la estrategia de intervención seleccionada en el árbol de objetivos, se



identifican los principales elementos del proyecto: objetivos generales y específicos, los resultados y las actividades.

Su formato es por lo general de una matriz de 4 columnas por 4 o 5 renglones. En la primera columna se coloca **la descripción del proyecto**, se narran sus principales elementos y sus recursos. Cada elemento se describe en un renglón de la matriz.

En la segunda columna se colocan los aspectos de desempeño y son específicos para cada elemento.

En la tercera columna se colocan los **Medios de verificación de los indicadores**, que consisten en fuentes de información o mecanismos que serán empleados para recoger datos ya para elaborar o reportar cada indicador en el lugar correspondiente.

Finalmente en la cuarta columna se describen los **supuestos**, que son factores externos asociados con los elementos principales del proyecto del nivel inmediato superior. Se trata de enunciados de riesgo que son relevantes para el éxito de la ejecución del proyecto. Si este supuesto tiene muy alta probabilidad, no se incluye en la MML por ser un hecho establecido, mientras que si la probabilidad de cumplirse es muy baja, se convierte en un factor letal porque al no realizarse no se puede garantizar el éxito del proyecto, en ese caso el proyecto debe modificarse para que su éxito no dependa de ello. (1)

La información disponible para la elaboración de estudios sobre proyectos de agua potable incluye diversas metodologías, las cuales han sido desarrolladas principalmente por el Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica (CEPEP), CONAGUA y la SHCP. Su contenido se describe brevemente en los siguientes incisos.

2.3.2 Metodología Costo-Beneficio

Como consecuencia de la gran cantidad de factores especiales importantes que no se encuentran de forma ordinaria en negocios financiados y operados por el sector privado, suele ser difícil realizar estudios de ingeniería económica y tomar decisiones de inversión para proyectos de obra pública de la misma forma que para proyectos del sector privado.

El análisis costo-beneficio es una herramienta de toma de decisiones para desarrollar sistemáticamente información útil acerca de los efectos deseables e indispensables de los



proyectos públicos, y pretende determinar si los beneficios sociales de una actividad pública propuesta superan los costos sociales.

Para evaluar proyectos públicos diseñados para lograr tareas muy distintas, es necesario medir los beneficios y los costos con las mismas unidades en todos ellos, de manera que se tenga una perspectiva común para juzgar los diversos proyectos. En la práctica, esto comprende expresar los costos y los beneficios en unidades monetarias, tarea que con frecuencia debe realizarse sin datos precisos debido a la falta de éstos y a las limitantes en los recursos de los evaluadores, haciendo necesaria una gran intuición basada en supuestos adecuados al momento de tomar decisiones y no solo el cálculo de datos.

El análisis se realiza de la siguiente forma: en principio, deben evaluarse todos los efectos: financieros, económicos, sociales, medioambientales, etc., es decir, se deben identificar y monetizar (dar un valor monetario) a todos los efectos posibles, a fin de determinar los costes y los beneficios del proyecto; a continuación se agregan los resultados (beneficios netos) y se extraen conclusiones sobre si el proyecto es deseable y sobre si merece la pena ponerlo en marcha. (7)

La evaluación del riesgo es una parte esencial de un análisis exhaustivo, pues permite entender mejor cómo pueden cambiar los efectos estimados si alguna variable clave del proyecto resulta ser diferente de lo que se esperaba. Un análisis del riesgo pormenorizado constituye la base de una buena estrategia de gestión del riesgo, que, a su vez, redundará en beneficio del diseño del proyecto. (7)

El nivel del análisis costo-beneficio debe definirse en función de la sociedad en la que el proyecto tiene un impacto relevante. Esto suele depender del tamaño y el alcance del proyecto. Así, pueden tenerse en cuenta los impactos a nivel municipal, regional, nacional e incluso comunitario. Dentro de una adecuada evaluación se deben contemplar las siguientes etapas(8):

- ❖ Presentación y discusión del contexto socioeconómico y de los objetivos
- ❖ Identificación clara del proyecto
- ❖ Estudio de factibilidad del proyecto y diferentes alternativas de solución
- ❖ Análisis financiero
- ❖ Análisis económico



❖ Análisis de sensibilidad y riesgos

En México, la UI-SHCP se establecen 4 tipos de análisis costo y beneficio(9) :

- 1 Análisis costo-beneficio;
- 2 Análisis costo-beneficio simplificado;
- 3 Análisis costo-eficiencia, y
- 4 Justificación económica.

El **análisis costo beneficio** consiste en una evaluación del proyecto a nivel de prefactibilidad que debe estar sustentada con información confiable y precisa que permita incorporar una cuantificación en términos monetarios de los beneficios y costos en forma detallada. Se aplica en los programas y proyectos de inversión con monto total de inversión mayor a 150 millones de pesos, para los proyectos de infraestructura productiva de largo plazo, y para aquellos programas y proyectos de inversión que así lo determine la SHCP a través de la Unidad de Inversiones, independientemente de su monto total de inversión.

Debido a que los proyectos de infraestructura en materia de agua potable superan los 150 millones de pesos, para su evaluación se debe realizar un análisis costos beneficio.

Su contenido es el siguiente:

1. Resumen ejecutivo del proyecto
2. Situación sin proyecto y posibles soluciones
3. Descripción del proyecto
4. Situación con proyecto
5. Evaluación del proyecto
6. Análisis de sensibilidad y riesgos
7. Conclusiones

El **análisis costo-beneficio simplificado** se aplica a los programas y proyectos de inversión cuyo monto total de inversión se encuentra entre 20 y 150 millones de pesos. Dicho análisis consiste en una evaluación a nivel mínimo de perfil, que se elaborará con la información disponible con que cuente la dependencia o entidad correspondiente.



El análisis costo-eficiencia se aplica a los programas y proyectos de inversión en los que los beneficios no sean cuantificables o sean de difícil cuantificación, es decir, cuando no generan un ingreso o un ahorro monetario y se carezca de información para hacer una evaluación adecuada de los beneficios no monetarios. También se aplica a los programas y proyectos de inversión que respondan a motivos de seguridad nacional, a proyectos de infraestructura social y gubernamental cuyo monto total de inversión esté entre 20 y 150 millones de pesos, y a programas de mantenimiento cuyo monto total de inversión sea mayor a 150 millones de pesos.

La justificación económica se aplica a programas y proyectos cuyo monto total de inversión sea de hasta 20 millones de pesos; a programas de adquisiciones que signifiquen una erogación de hasta 50 millones de pesos; a programas de mantenimiento menores a 150 millones de pesos, y a estudios de preinversión, independientemente de su monto total de inversión.

Para facilitar la aplicación del análisis costo beneficio se han desarrollado diferentes guías que son de gran utilidad para las diferentes dependencias y entidades que deben realizar este estudio. Una de ellas es la “**Metodología general para la evaluación de proyectos**”(10), elaborada por el CEPEP. En esta guía se explica qué es la evaluación de un proyecto, describiendo los conceptos más importantes para tener una visión general del tema en cuestión, se presenta la metodología general propuesta por el CEPEP cuyo contenido se apega a lo establecido por la UI-SHCP en sus lineamientos, y se define cada uno de los conceptos que se utilizan para la correcta evaluación de proyectos.

El Banco Nacional de Obras Públicas (BANOBRAS) desarrolló la **Metodología para la Preparación, Evaluación y Presentación de proyectos de agua potable** (11). En ella se abordan los principios metodológicos elementales para la evaluación de proyectos de agua potable, cuya aplicación permite determinar la conveniencia de destinar recursos crediticios a iniciativas específicas de inversión en este sector. Su objetivo es homogeneizar criterios entre los funcionarios públicos que son responsables de identificar, desarrollar y evaluar alternativas de inversión pública relacionadas con el manejo del sistema de agua potable. Un complemento importante en el empleo de la metodología es la utilización de parámetros de evaluación homogéneos para todos los sectores; es por ello que el valor de los diversos bienes y servicios que intervienen en el cálculo de los beneficios y costos económicos se



realiza utilizando los factores de corrección social de la tasa de descuento, la mano de obra y la divisa.

El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) elaboró la **“Metodología para la planeación y evaluación financiera de proyectos de inversión para estudios de reúso”** en la cual, se desarrolla una metodología para la planeación y evaluación financiera de proyectos de inversión en materia de tratamiento y reúso de aguas residuales. Su contenido resulta de gran ayuda en la concepción, planeación e implementación de los estudios para el acondicionamiento y abastecimiento de agua potable, ya que los pasos que normalmente se asocian a proyectos de reúso son similares a los proyectos para agua potable.

La CONAGUA elaboró las **“Metodologías de evaluación socioeconómica para proyectos de agua potable, alcantarillado, saneamiento y protección a centros de población”** (3). En este documento se presenta una serie de metodologías que tienen como objetivo difundir los lineamientos para realizar la evaluación socioeconómica de diferentes proyectos de agua potable, alcantarillado, saneamiento y protección a centros de población al exponer conceptos y guías generales de utilidad para toda persona interesada en el tema. Se desarrolla una teoría y función de la evaluación socioeconómica y se incluyen resultados de algunas experiencias de la CONAGUA en el subsector de la hidráulica urbana del país en donde se aplican estos conceptos y metodologías, analizando su viabilidad de aplicación en la realidad. Su contenido es el siguiente: se definen las variables involucradas dentro de una evaluación socioeconómica: Precios sociales y precios privados, beneficios y costos sociales y su división en tangibles y externalidades, los criterios de rentabilidad, la tasa de descuento social y su método de cálculo, así como la metodología a seguir para calcular los beneficios asociados a proyectos de agua potable, alcantarillado, tratamiento de aguas residuales y proyectos de Protección a Centros de Población contra inundaciones, así como la determinación de los costos involucrados. Además, se desarrolla el contenido de la evaluación ambiental: los métodos para la identificación de impactos ambientales, su evaluación, su contenido y algunas alternativas de métodos de evaluación.



2.4 Tecnologías para la potabilización del agua

La potabilización se refiere a una amplia diversidad de procesos diseñados para remover una gran variedad de distintos contaminantes los cuales inducen diferentes calidades de agua ya sea de agua subterránea como superficial (basados en parámetros físico-químicos y bacteriológicos). Los procesos de potabilización son usados a través del mundo principalmente para proveer a la población de agua potable para uso doméstico en cantidad suficiente y calidad adecuada, además de ser empleada para procesos industriales y agrícolas.

Actualmente, los proyectos integrales (proyecto ejecutivo, construcción, operación y mantenimiento) de plantas potabilizadoras se deben enfocar de manera más exitosa sobre nuevas tecnologías emergentes y/o a la modernización como mejoramiento tecnológico de los procesos existentes, con base en los siguientes puntos:

- ❖ Reducir costos
- ❖ Mejorar la confiabilidad
- ❖ Proveer de la calidad adecuada de agua para uso y consumo humano
- ❖ Optimizar la inversión a corto y largo plazo, según la mejor relación costo/eficiencia, considerando los costos de construcción y los costos de operación y mantenimiento

Las tecnologías de tratamiento de agua subterránea y superficial deben permitir reducir su color a 20 unidades de color verdadero en la escala de Pt-Co, 5 UNT, un contenido de Sólidos Disueltos Totales (SDT) a un menor de 1 000 mg/L, entre otros de acuerdo con lo estipulado por la legislación mexicana (NOM-127- SSA1-1994) para agua potable.

Cabe destacar que la calidad del agua cruda varía de manera importante de una fuente a otra; por ello, varía el tipo de tratamiento requerido para producir agua potable.

Dependiendo de la calidad de agua cruda, se tiene el grado de complejidad del tratamiento. Para diseñar una planta potabilizadora eficiente y económica se necesita un estudio de ingeniería cuidadoso, basado en la calidad de la fuente y en la selección apropiada de los procesos y operaciones de tratamiento (tecnologías de potabilización) más adecuadas y económicas para producir agua de la calidad requerida. Sin embargo, cada tipo de tecnología de potabilización presenta ventajas y desventajas específicas de tipo técnico, económico, financiero y ambiental, que son necesarias evaluar para determinar la más factible para cada caso particular. La selección de la tecnología de potabilización más viable dependerá de la



determinación adecuada de los parámetros de evaluación y de la metodología aplicada para realizar dicha evaluación.

En esta sección se presenta el mapa tecnológico de los trenes de potabilización y una breve descripción de las posibles unidades que pueden integrar un tren de potabilización para cada influente, agua superficial o agua subterránea. Esta clasificación en el influente se basa principalmente en los tipos de contaminantes provenientes de cada fuente de abastecimiento, además cabe mencionar que la complejidad del tren de tratamiento variará en función de la calidad del influente. Considerando lo anterior, en la Figura 2.4 y Figura 2.5 se presentan los Mapas Tecnológicos para agua superficial y subterránea respectivamente. Asimismo, ambos Mapas Tecnológicos muestran las cuatro partes fundamentales de un tren de potabilización:

1. Pretratamiento
2. Tratamiento Principal. Procesos Físicos y Químicos
3. Postratamiento
4. Residuos

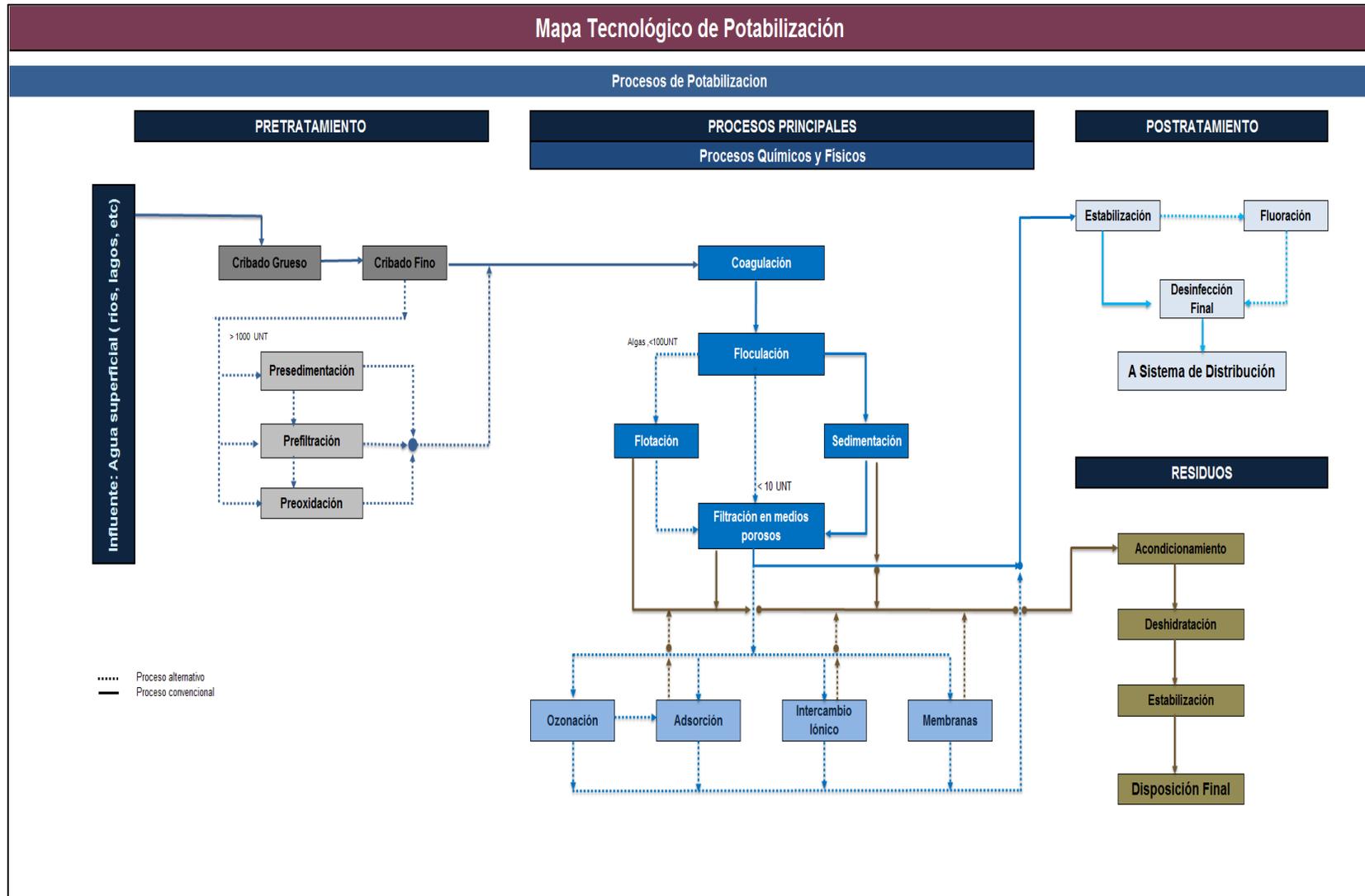


Figura 2.4 Mapa tecnológico de potabilización para agua superficial. Adaptado del proyecto: "Revisión y propuesta de mejora para el proceso de planeación, evaluación y ejecución de proyectos de inversión con recursos del fondo nacional de infraestructura y formulación de tabuladores de retornos socioeconómicos para proyectos de medio ambiente"

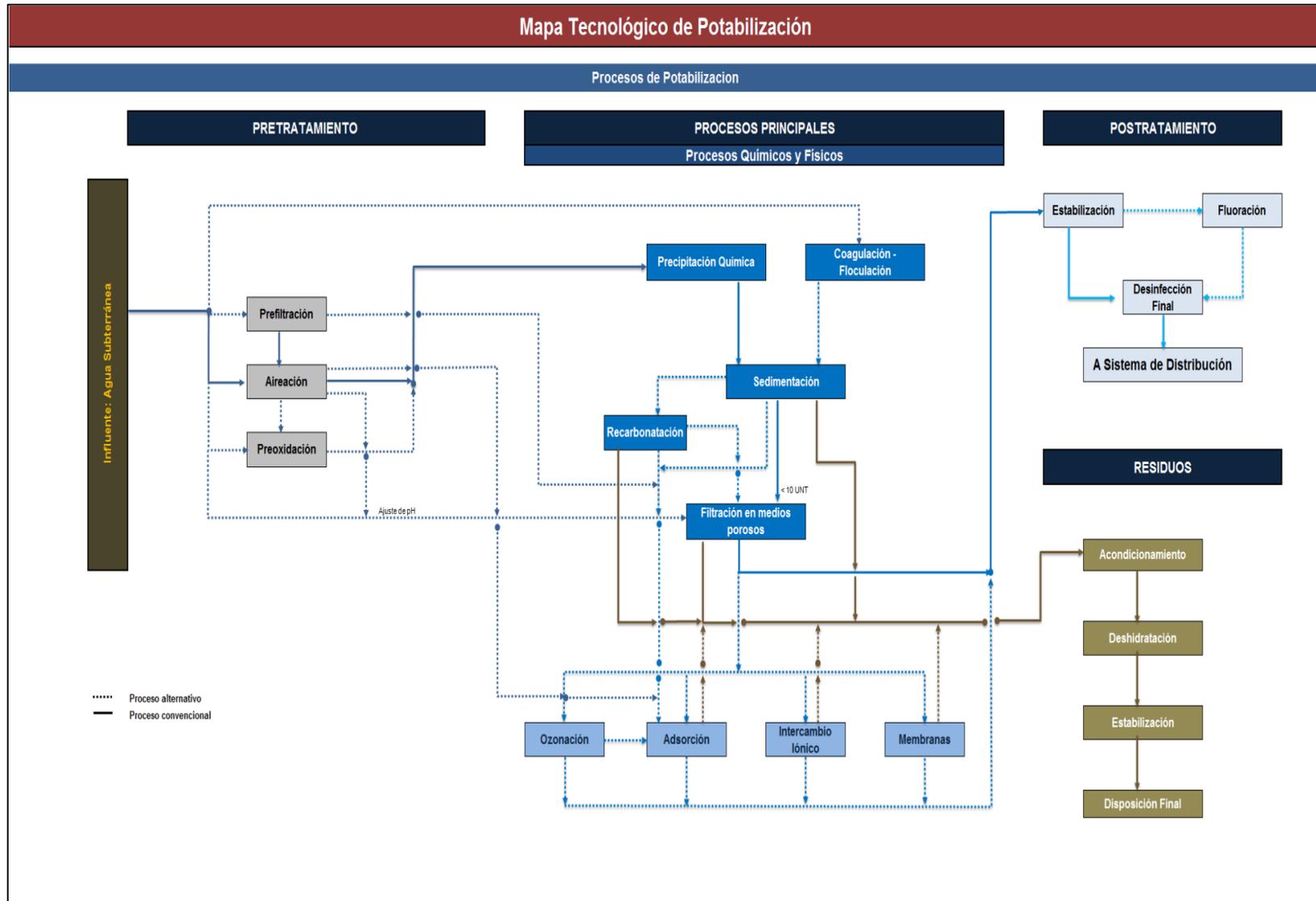


Figura 2.5 Mapa tecnológico de potabilización para agua subterránea. Adaptado del proyecto: "Revisión y propuesta de mejora para el proceso de planeación, evaluación y ejecución de proyectos de inversión con recursos del fondo nacional de infraestructura y formulación de tabuladores de retornos socioeconómicos para proyectos de medio ambiente"



2.4.1 Procesos de potabilización del agua

Las fichas técnicas de los procesos de la etapa de pre tratamiento son tres principales para agua subterránea (pre filtración, aireación y pre oxidación) y dos para agua superficial (cribado grueso y fino), las cuales permitirán adecuar la calidad del influente del proceso principal de potabilización, con el fin de evitar problemas de operación. Para la segunda etapa o procesos principales de un tren de potabilización para agua superficial y subterránea, se presentan las fichas técnicas de procesos químicos (como coagulación y floculación) y físicos (como sedimentación, filtración, entre otras). Las fichas técnicas que se presentan de los procesos de la etapa de post tratamiento son estabilización química, fluoración y desinfección final. Finalmente, se presentan las fichas técnicas de los procesos para disposición de residuos, las cuales son cuatro opciones principalmente (acondicionamiento, deshidratación, estabilización y disposición final).

PRETRATAMIENTO - AIREACIÓN

La aireación es el proceso mediante el cual se pone el agua en contacto con el aire, con el propósito de modificar las concentraciones de sustancias volátiles contenidas en ella. Existen sistemas de aireación mecánica que son sumamente sencillos, pero no se encuentran entre las técnicas de purificación de agua más frecuentes ya que, mediante esta operación sólo se pueden remover compuestos volátiles disueltos en agua.

Los aireadores mecánicos funcionan agitando vigorosamente el agua con mezcladoras mecánicas(12). Para el caso de potabilización de agua los distintos arreglos para aireadores son los siguientes:

- ❖ Aireadores de bandeja (13)
- ❖ Aireadores de cascada (14)
- ❖ Aireadores de rocío (spray) (13)
- ❖ Aireadores de arrastre (13)
- ❖ Aireación tipo torre empacada (12)
- ❖ Aireación por difusión o de burbujas (12)
- ❖ Aireadores de corriente por tubos (draft-tube): (13)
- ❖ Aireación en pozo (in-well)



PRETRATAMIENTO - CRIBADO GRUESO

El cribado en el proceso de potabilización del agua, se realiza haciendo pasar el agua a través de barras estrechamente espaciadas, rejillas o planchas perforadas. El cribado es una operación que no cambia la calidad química o bacteriológica del agua, sirve para retener material grueso y materia suspendida de mayor tamaño que las aberturas de las cribas (16).

Los arreglos más comunes de cribas o rejillas son:

- a) Cribas fijas,
- b) Cribas rotativas y
- c) Cribas vibratorias (17)

PRETRATAMIENTO - CRIBADO FINO

El cribado fino o tamizado como también se le llama, consiste en la separación de sólidos pequeños con dimensiones de mm o μm (20). El cribado fino o tamizado se puede clasificar como (20):

1. *Macrotamizado*: Se emplea para retener ciertas materias en suspensión, flotantes o semiflotantes, residuos vegetales o animales, insectos, ramas, entre otros
2. *Microtamizado*: Se utiliza para retener materias en suspensión muy pequeñas dimensiones, contenidas en las aguas de abastecimiento (plancton), o en aguas pretratadas

PRETRATAMIENTO - PREFILTRACIÓN

La prefiltración se utiliza para disminuir la carga de material en suspensión antes de la filtración lenta o posteriores tratamientos, tal vez la mejor posibilidad de uso de prefiltros la constituye la solución denominada “captación indirecta”, que consiste en obras de captación y tratamiento simultáneo. Se utiliza normalmente como proceso único de tratamiento (excepto desinfección).

PRETRATAMIENTO - PREOXIDACIÓN

La preoxidación es un proceso en el que se adicionan compuestos oxidantes para mejorar la remoción de algunas sustancias químicas y material coloidal en posteriores procesos de tratamiento (p.ej. para mejorar la coagulación-floculación), o para reducir el crecimiento



biológico (al disminuir la concentración de organismos vivos en el influente) (23). Entre los oxidantes más utilizados se encuentran: cloro, dióxido de cloro, el ozono y el permanganato de potasio.

PRETRATAMIENTO - PRESEDIMENTACIÓN

La presedimentación es similar a la sedimentación convencional, excepto en que se puede operar a altas tasas de carga y no se aplican coagulantes. Se pueden operar solamente en algunos periodos, en particular cuando el influente lleva una alta cantidad de partículas como granos de arena. Los tanques de presedimentación pueden tener los siguientes arreglos:

Presedimentador rectangular (13): Es un tanque rectangular en el cual los sólidos grandes que llegan a pasar los cribados se sedimenta en el fondo del tanque de forma natural (precipitación por gravedad) en ocasiones estas unidades se les adiciona coagulantes para tener mayor eficiencia en la remoción de sólidos.

Presedimentador triangular: Esta unidad tiene la forma de un triángulo isósceles. En el canal de ingreso se considera un vertedero triangular o rectangular para determinar el caudal de ingreso y un aliviadero para que no ingrese un caudal mayor al de diseño (13).

TRATAMIENTO QUÍMICO – OZONACIÓN

Se trata de un proceso de oxidación por ozono, este es el oxidante más fuerte empleado en el tratamiento de agua. En soluciones acuosas, el ozono puede interactuar con varios compuestos, ya sea por reacción directa con el contaminante o por una reacción indirecta con los radicales libres formados al descomponerse éste en el agua. Los procesos de oxidación avanzada contemplan la adición de peróxido de hidrógeno y luz UV que son los factores que más inducen la descomposición del ozono en el agua, generalmente altamente reactivos con radicales hidroxilos (26).

TRATAMIENTO QUÍMICO – COAGULACIÓN

La materia suspendida puede sedimentar sin tratamiento. Sin embargo, mucha de ésta lo hace muy lentamente por lo que es necesario incrementar su velocidad de sedimentación uniendo estas partículas unas con otras para aumentar su tamaño mediante la adición de coagulantes (29).



La coagulación es el proceso en el cual se agregan productos químicos al agua llamados coagulantes, los principales grupos son las sales de hierro y de aluminio (cloruros, sulfatos y policloruros) aunque los polielectrolitos orgánicos sintéticos se han empezado a introducir en muchos casos. Su objetivo principal es causar una desestabilización de cargas en los coloides y sólidos suspendidos en el agua, que causan color y turbiedad, incluyendo bacterias y virus que están en condiciones estables (27). La reducción de las fuerzas de repulsión que mantienen a las partículas suspendidas permite que éstas hagan contacto formando aglomerados llamados coágulos, estos agregados crecerán lo suficiente en el proceso de floculación para ser removidas en otros subsecuentes como la sedimentación (29).

La eficiencia del proceso depende de diversas variables como la calidad del agua cruda, el coagulante usado y de factores operacionales, incluidos las condiciones de mezclado, dosis de coagulación y pH (31).

TRATAMIENTO QUÍMICO – FLOCULACIÓN

La floculación es una etapa instalada después de la coagulación. La floculación es un proceso químico en el que por medio de un mezclado lento se favorece la colisión de las partículas, causando una agregación de los coágulos y de partículas coloidales desestabilizadas incrementando así su tamaño y densidad. Una vez alcanzado cierto tamaño y peso, estas partículas se pueden sedimentar (30; 32). Este proceso se realiza en un floculador que es un tanque que provee una mezcla suave y lenta, con un tiempo de retención relativamente prolongado (32).

TRATAMIENTO QUÍMICO – PRECIPITACIÓN QUÍMICA

La precipitación química es un proceso en el que se adicionan reactivos químicos al agua para formar compuestos insolubles y precipitables de algunos contaminantes inorgánicos solubles. Estos precipitados pueden ser posteriormente removidos por la sedimentación (1). Es importante mencionar que esta tecnología se utiliza comúnmente para aguas subterráneas (2).

Algunos contaminantes que pueden ser removidos por precipitación son iones de calcio, magnesio y estroncio, de metales pesados (hierro y manganeso), silicio y fluoruros, materia



orgánica disuelta y algunos virus y bacterias (3; 4). Los compuestos removidos por precipitación química y los reactivos adicionados (2) son: Eliminación de hierro y manganeso (3); Eliminación de los iones calcio y magnesio (Ablandamiento) (4): se emplea la descarbonatación por cal.

La eficiencia del proceso depende de la calidad del agua cruda, el coagulante, floculante y de factores operacionales, incluidos las condiciones de mezclado, dosis de coagulación y pH (31).

TRATAMIENTO FÍSICO – FILTRACIÓN

En un tren de tratamiento, la filtración es la operación que remueve la mayor parte de materia particulada, por lo tanto es una de las operaciones más importantes para obtener la mayor calidad posible de agua. Es una operación en la cual se remueven los sólidos suspendidos del agua pasándola a través de lechos porosos de diversos materiales (1). La filtración se clasifica con base a cuatro criterios principales (3):

- ❖ Presión de operación (gravedad y a presión).
- ❖ Composición del medio filtrante (monocapa, duales y multicapas).
- ❖ Tasa de filtración (rápidos, lentos y de alta tasa).
- ❖ Dirección del flujo (ascendente y descendente).

TRATAMIENTO FÍSICO – ADSORCIÓN POR CARBÓN ACTIVADO

La adsorción líquido-sólido es un fenómeno que ocurre cuando moléculas en solución se adhieren a la superficie de un sólido adsorbente, también es definido como el proceso por el cual moléculas de un fluido son concentradas sobre la superficie de otra fase mediante fuerzas químicas o físicas

Para que la adsorción sea eficiente, el adsorbente debe tener un área extremadamente grande sobre la cual el contaminante se puede adherir. Existen diversos tipos de materiales adsorbentes, como la zeolita y la bentonita, que son utilizados en procesos de potabilización de aguas, sin embargo el material que más se utiliza es el carbón activado que por su presentación se divide en polvo y granular, y cuyo origen es de fuentes minerales y vegetales.



TRATAMIENTO FÍSICO – FLOTACIÓN

La flotación es una operación basada en la separación por gravedad de las partículas ligeras de aguas crudas, coaguladas o floculadas (36; 37), donde burbujas de aire se introducen en la parte inferior del tanque que contiene el agua a tratar. Como las burbujas ascienden, éstas se adhieren a las partículas, haciendo que éstas asciendan hacia la superficie y sean removidas como residuo. El líquido clarificado puede enviarse a filtración para su posterior tratamiento (38).

En el proceso de flotación, la generación de burbujas se puede realizar por diversos métodos: Flotación por aire disperso o inyección de aire; Flotación electrolítica y Flotación por Aire Disuelto (FAD).

La eficiencia de remoción de algas es del 40% (promedio) mayor en la flotación (FAD), la remoción de bacterias tales como *Streptococcus Fecalis*, *Guardialambio*, *Cryptosporidium* va desde el 63-97% (39); inclusive se han llegado a reportar remociones de 80-98% para FAD (40) en este tipo de bacterias.

TRATAMIENTO FÍSICO – INTERCAMBIO IÓNICO

El intercambio iónico es un proceso empleado para remover iones disueltos. El proceso del intercambio iónico para la potabilización de agua es clasificado como un tratamiento no convencional debido a que no es ampliamente usado en plantas a gran escala (35). Los componentes del intercambio iónico son los intercambiadores iónicos y la columna de intercambio. Los intercambiadores pueden ser de tipo polimérico (resinas) y aluminosilicatos (zeolitas).

Los intercambiadores iónicos son de tipo polimérico, granuladas e insolubles las cuales tienen en su superficie especies ácidas o básicas que pueden ser intercambiadas. Los iones positivos o negativos fijados en estas localidades y serán reemplazados por iones de la misma carga en solución dentro del líquido al contacto con ellos (43). Existen dos tipos de arreglos de columnas de intercambio iónico: paralelo y en serie. Las unidades típicas de intercambio iónico consisten en prefiltración, columna de intercambio iónico, desinfección, almacenamiento y distribución de elementos.

El intercambio iónico remueve efectivamente más del 90% de bario, cadmio, cromo (III), plata, radio, nitratos, selenio, arsénico (V), cromo (IV) y nitrato. El intercambio iónico es



usualmente la mejor opción para sistemas pequeños que necesitan remover radio nucleídos (35).

TRATAMIENTO FÍSICO – PROCESOS CON MEMBRANAS

El principio de operación se basa en la separación de compuestos o partículas debido a su tamaño. Una membrana tiene un tamaño de poro nominal medido como “Peso Molecular de Corte”. De acuerdo al tamaño de poro de una membrana y el tipo de compuesto a separar, los procesos de membranas se dividen en micro-filtración, ultrafiltración, nano-filtración, ósmosis inversa (que por su uso para la desalinización de agua se detallará en otro apartado). El proceso de diálisis y electrodiálisis también son considerados procesos de membranas pero su uso es menos difundido como proceso utilizado para potabilización de agua.

Mientras mayor sea la calidad requerida del efluente en una planta potabilizadora de agua se deberán utilizar membranas con menor tamaño de corte molecular; pero los costos de inversión de los sistemas de bombeo y de operación incrementarán. En general cualquier tipo de membranas a lo largo de su vida útil presentarán ensuciamiento y obstrucciones por lo que se deberán ser reemplazadas cuando la saturación llegue a su límite. El ensuciamiento disminuirá flujo y para mantenerlo constante se requerirá incrementar la presión del sistema.

TRATAMIENTO FÍSICO – SEDIMENTACIÓN

La sedimentación, es una operación de clarificación de agua que consiste en la remoción por gravedad de sólidos en el agua(12). Como tecnología principal en la potabilización, la sedimentación es utilizada después de la coagulación-floculación y después del proceso de ablandamiento (como la operación de precipitación). La operación de sedimentación está diseñada para remover los sólidos sedimentables provenientes de la coagulación-floculación. Por otro lado, cabe destacar que la remoción de sólidos totales en la sedimentación convencional oscila entre 60 y 70%

POSTRATAMIENTO – DESINFECCIÓN



La desinfección es un proceso importante en la potabilización que garantiza que el agua sea apta para el consumo humano. En la desinfección se eliminan o inactivan microorganismos presentes en el agua que de lo contrario causarían enfermedades gastrointestinales

Existen dos tipos de desinfección: la desinfección primaria alcanza el nivel deseado de matar o que permite inactivar los microorganismos, mientras que la desinfección secundaria mantiene un contenido residual de desinfectante en el agua producida que impide la regeneración de los microorganismos.

El proceso de desinfección se aplica principalmente para inactivar, microorganismos (bacterias y virus) y patógenos (quistes de protozoarios). Tiene un porcentaje del 99.9% de inactivación de quistes de Giardia lamblia y virus.

POSTRATAMIENTO - FLUORACIÓN

La fluoración es usada para mantener la concentración de fluoruros en el agua potable en niveles conocidos para reducir la caída de dientes. La fluoración es un proceso seguro, efectivo y económico. El fluoruro es agregado al agua después de la filtración y justo antes de la desinfección en una planta típica de tratamiento los valores de flúor añadidos al agua se encuentran entre 0.5 y 1.0 mg/litro (12).

POSTRATAMIENTO - ESTABILIZACIÓN

Muchos tipos de agua pueden causar corrosión e incrustaciones en las tuberías y en accesorios del sistema de bombeo. A estas aguas se les dice que son inestables. El proceso de tratamiento que suele reducir o eliminar los problemas de corrosión e incrustaciones es la estabilización (12).

Los métodos empleados para la estabilización del agua o protección del sistema de distribución contra el agua inestable son: Ajuste del pH y alcalinidad: Precipitación de carbonato de calcio (CaCO_3); Uso de inhibidores de corrosión y agentes secuestrantes.

Algunos polifosfatos pueden ser usados también como agentes secuestrantes para prevenir la formación de incrustaciones. Estos agentes retiran los iones formadores de incrustaciones, evitando que ya no reaccionen para formar las incrustaciones. Los compuestos permanecen en solución y son eventualmente ingeridos por los consumidores. Por lo tanto, cualquier



agente secuestrante seleccionado debe ser permitido por las autoridades para su uso en agua potable (12).

POSTRATAMIENTO - RECARBONATACIÓN

Cuando se utiliza el proceso de ablandamiento, dependiendo del proceso utilizado, el agua tratada usualmente tiene un pH de 10 o mayor por lo tanto es necesario bajar el pH y estabilizar esta agua para prevenir los depósitos de carbonatos (incrustaciones) sobre los filtros de arena y tuberías de distribución. La recarbonatación es el proceso más empleado para ajustar el pH. En este proceso es añadido CO_2 (dióxido de carbono) al agua en suficiente cantidad para disminuir el pH en niveles de 8.4-8.6.

El tiempo de operación del proceso de recarbonatación 15 a 30 min. Por su tipo de arreglo se pueden clasificar en: una etapa de recarbonatación (recomendada para aguas con bajo contenido de magnesio) y en dos etapas de recarbonatación (recomendado para aguas con alto contenido de magnesio).

El ablandamiento se aplica generalmente para la remoción de iones causantes de la dureza del agua como los de magnesio y calcio. Cuando el agua con contenidos bajos de magnesio es tratada por el proceso de recarbonatación, no se agrega un exceso de cal. Después del ablandamiento, el agua es sobresaturada con carbonato de calcio y tiene un pH entre 10.0 y 10.6. Cuando el CO_2 es agregado a esta agua, los iones de carbonato son convertidos a iones bicarbonatos.

DISPOSICIÓN DE RESIDUOS - DESHIDRATACIÓN

El objetivo principal de este proceso es la separación del agua que permanece en los lodos producidos en la etapa de espesamiento de éstos mayoritariamente constituidos por agua (5 a 10% de sólidos) (48). Para conseguir la máxima remoción de agua se lleva a cabo el proceso en dos etapas, deshidratación por extracción de agua y secado de lodo por evaporación de agua. La concentración de agua después de la deshidratación es aún del 50 al 80%, por lo que se pueden aplicar métodos de secado para evaporizar el agua restante (48).

DISPOSICIÓN DE RESIDUOS – ACONDICIONAMIENTO O ESPESAMIENTO DE LODOS



El acondicionamiento químico de los lodos es un proceso que tiene como objetivo el espesamiento de estos mediante la adición de cloruro férrico, cal, sulfato de aluminio y/o polímeros orgánicos. Este tipo de tratamiento aumenta el contenido de sólidos y mejora las características de deshidratación

Existen dos tipos de espesado que a continuación se describen brevemente:

1. *Espesado por gravedad*: Se lleva a cabo en un tanque de diseño similar al de un tanque de sedimentación convencional. Generalmente se utilizan tanques circulares.
2. *Espesamiento por flotación*: Consiste en la separación por adhesión de las partículas presentes en el lodo a pequeñas partículas de aire que ascienden a la superficie.

DISPOSICIÓN DE RESIDUOS – ESTABILIZACIÓN DE LODOS

El proceso de estabilización tiene como objetivo principal la conversión parcial de la materia orgánica e inorgánica en un material que no represente problemas sanitarios relacionados a su eventual uso o disposición. A su vez permite la destrucción de los microorganismos patógenos presentes. En la estabilización se utilizan los siguientes tipos de tratamientos:

1. *Tratamiento térmico (50)*: Proceso que consiste en calentar el lodo durante cortos períodos de tiempo bajo presión, dando como resultado la coagulación de los sólidos y la rotura de la estructura del coloide. Como consecuencia de todo ello, el lodo es esterilizado, prácticamente desodorizado, deshidratándose fácilmente en filtros prensa o de vacío sin la adición de productos químicos.
2. *Tratamiento químico (48)*: Consiste en el uso de compuestos como cal y cloro. El tratamiento con cloro es la oxidación química del fango mediante la aplicación de una dosis elevada de cloro. Se realizan en reactores cerrados y necesita un periodo de retención bastante corto. La cal que es el reactivo más común, se adiciona para aumentar el pH hasta 12 o más con un tiempo de contacto adecuado para inactivar o destruir patógenos. Existen dos tipos de estabilización química.
3. *Pre-estabilización*: La cal es adicionada antes del desaguado, utilizándola como acondicionador acompañada de sales de aluminio y fierro (48).
4. *Pos estabilización*: La cal se añade a la pasta obtenida después del proceso de desaguado. Se usa principalmente cal viva para aprovechar el calor generado en la reacción e incrementar la destrucción de patógenos (48).



2.5 Tecnologías para la desalinización del agua

La desalinización se refiere a una amplia variedad de procesos diseñados para remover sales de diferentes calidades del agua (basados en su cantidad de SDT). Los procesos de desalinización son usados a través del mundo para una amplia gama de propósitos, incluyendo proveer de agua potable para uso doméstico, agua tratada para procesos industriales y agua de emergencia para refugios u operaciones militares.

Las tecnologías de desalinización han presentado un gran desarrollo en los últimos años debido a que las fuentes convencionales de abastecimiento de agua dulce se están convirtiendo rápidamente en un recurso escaso en muchas regiones del mundo. En particular, estas tecnologías de desalinización están siendo cada vez más aplicadas para el tratamiento de agua de mar y agua salobre, debido a que son las alternativas viables para obtener agua potable en zonas desérticas o que cuentan con pocas fuentes de agua dulce.

Las tecnologías de tratamiento de agua de mar deben permitir reducir su contenido de SDT de un valor promedio mayor a 35,000 mg/L a menos de 1,000 mg/L, de acuerdo con lo estipulado por la legislación mexicana (NOM-127-SSA1-1994) para agua potable.

Las tecnologías de membrana producen un efluente con ese contenido de SDT, e incluso menor, independientemente de la calidad de la fuente de agua salada. Además de permitir obtener un efluente, producido a partir de agua salada, que presente un contenido de SDT estipulado para agua potable, las tecnologías de desalinización presentan otras ventajas técnico-económicas que son comunes entre ellas y que las hacen viables para ser instaladas en nuestro país. Dentro de las principales ventajas generales se tienen a las siguientes:

- ❖ Tamaño pequeño de las instalaciones en comparación con otros sistemas de generación de agua potable.
- ❖ Capacidad de incorporar innovaciones tecnológicas (sistemas de generación de energía eléctrica).
- ❖ En lugares donde las condiciones climatológicas lo permiten, los sistemas de desalinización pueden funcionar sin combustibles fósiles.
- ❖ Flexibilidad de ubicación para cualquier tipo de topografía.

Actualmente, la principal desventaja de los sistemas de desalinización es su alto consumo de energía. Aproximadamente una tercera parte de los costos de operación de una planta



desalinizadora corresponde al consumo de energía. Si los costos de energía se incrementan, existe un impacto directo al costo de desalinización del agua. Sin embargo, cada tipo de tecnología de desalinización presenta ventajas y desventajas específicas de tipo técnico, económico, financiero y ambiental, que son necesarias evaluar para determinar la más factible para cada caso particular. La selección de la tecnología de desalinización más viable dependerá de la determinación adecuada de los parámetros de evaluación y de la metodología aplicada para realizar dicha evaluación

El mapa tecnológico que se presenta de los trenes de desalinización se constituye de tres etapas: pretratamiento, procesos principales y post tratamiento. Los procesos de pretratamiento pueden ser de dos tipos: químicos y/o físicos. En estas unidades se acondiciona el agua de mar para tener una calidad tal que las unidades encargadas (procesos principales de desalinización) de remover las altas concentraciones de sales no presenten problemas a causa de los posibles contaminantes presentes en el agua de mar o salobre. Los procesos principales de desalinización se dividen en térmicos, con membranas y de procesos menores. La etapa de postratamiento permite adecuar aquellos parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que no cumplan con los estándares de calidad de consumo humano. De manera adicional, las plantas de desalinización generan subproductos (principalmente las salmueras), en el mapa tecnológico se presenta la sección de disposición/aprovechamiento. En el caso de aprovechamiento se presentan algunas opciones del manejo que se le debe dar a este residuo, con el fin de mitigar el impacto ambiental que éste puede llegar a generar. En la Figura 2.6 se presenta el diagrama del mapa tecnológico para los trenes de desalinización identificados a nivel mundial, tanto para tecnologías desarrolladas ampliamente a nivel comercial, como aquellas que comienzan a serlo.

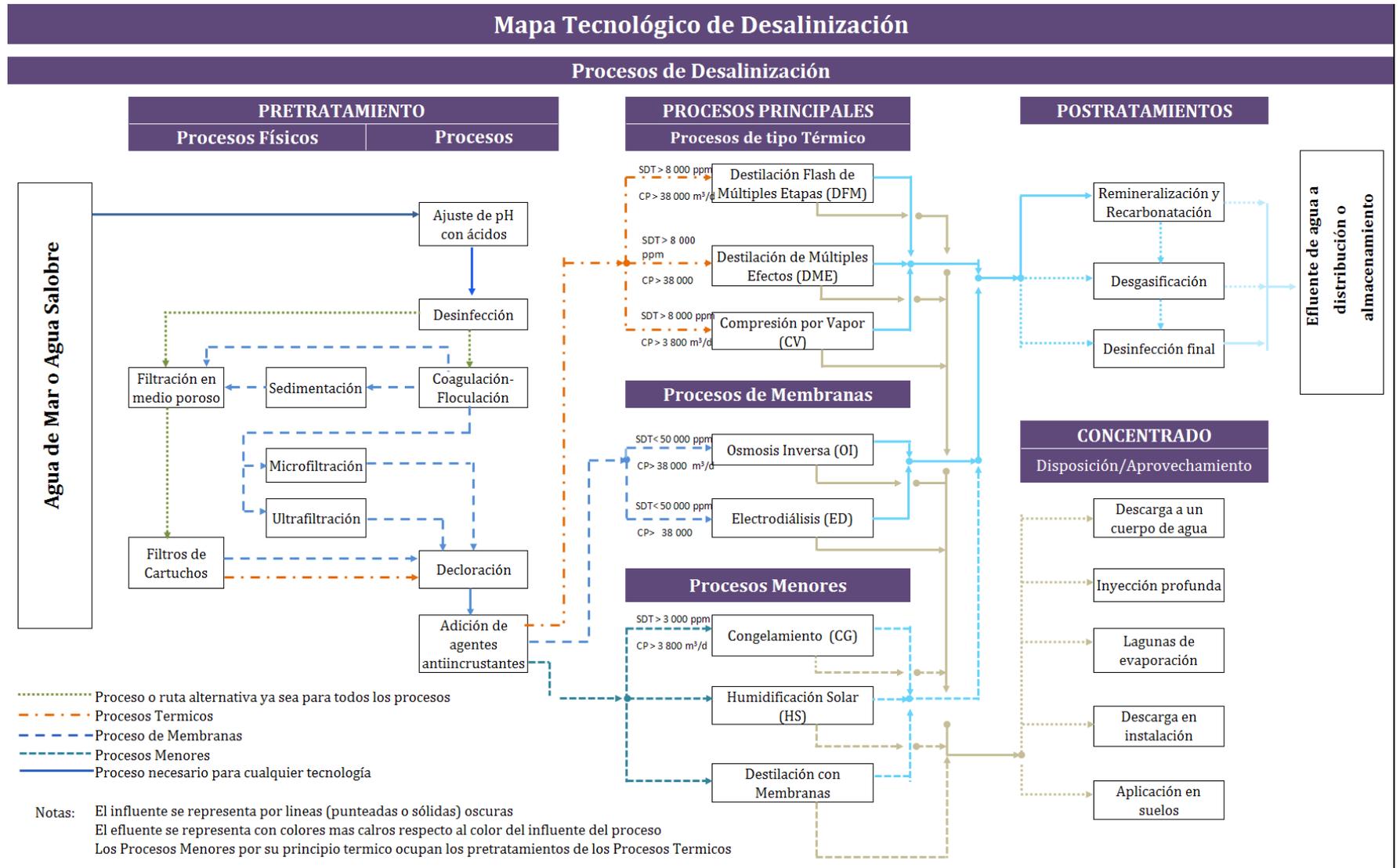


Figura 2.6 Mapa tecnológico de desalinización. Adaptado del proyecto: "Revisión y propuesta de mejora para el proceso de planeación, evaluación y ejecución de proyectos de inversión con recursos del fondo nacional de infraestructura y formulación de tabuladores de retornos socioeconómicos para proyectos de medio ambiente"



2.5.1 Procesos de desalinización del agua

La desalinización implica el uso de una serie de procesos que permitan separar la sal del agua. Las plantas de desalinización logran esto aprovechando las diferencias, que existen entre las moléculas de sal y los iones de las sales, en términos de tamaño, carga y de la energía necesaria para romper los enlaces moleculares.

Los pretratamientos para la desalinización de agua de mar o salobre se dividen en procesos físicos los cuales son: filtración en medio poroso, filtros de cartucho, sedimentación, MF y UF, que en combinación con los pretratamientos químicos como: coagulación – floculación, desinfección, dechloración, adición de agentes anti incrustantes y ajuste de pH, permiten obtener una mejor calidad del agua a ser alimentada a los procesos principales de desalinización. De no existir un adecuado pretratamiento, se pueden elevar los índices de ineficiencia en los procesos principales, inclusive se pueden causar daños irreversibles sobre la tecnología empleada dentro del tren de tratamiento.

Las tecnologías del proceso principal de desalinización se encuentran divididas en dos grandes categorías basadas en los mecanismos empleados para la remoción de las moléculas salinas del agua: los procesos térmicos los cuales remueven las sales al causar cambios de fase en la solución y los procesos de membranas, los cuales emplean fuerza eléctrica o mecánica (presión) en el proceso de separación. Se presentan dentro de los procesos térmicos: destilación flash de múltiples etapas (DFM), destilación de múltiples efectos (DME) y destilación por compresión de vapor, para procesos de membrana: Ósmosis Inversa (OI) y Electrodialisis (ED). De la misma forma se presentan tecnologías con menor desarrollo comercial conocidos como procesos menores: congelamiento, humidificación solar y destilación por membranas

El postratamiento del agua desalinizada permite garantizar la calidad del agua dulce obtenida, con el fin de conseguir los valores acordes con las normas de agua potable para consumo humano. El agua es sometida a los siguientes procesos: remineralización, recarbonatación y desgasificación. La remineralización comprende la adición de sales minerales que genera un agua adecuada para la salud, y la recarbonatación se puede definir como la introducción de alcalinidad por carbonatos y bicarbonatos. La desgasificación se realiza con el objetivo de retirar gases generados en los procesos de desalinización y que alteran las calidades finales del agua producida.



Uno de los problemas de mayor importancia en el ámbito de la desalación de agua de mar es encontrar opciones ambientalmente sensibles para la evacuación del concentrado; sugiriendo que el siguiente paso en la evolución y desarrollo de tecnologías de desalación sea reducir la cantidad de concentrado o encontrar la forma de que sea aprovechado. Por lo que se presentan los principales métodos de disposición de concentrado: Descarga a un cuerpo de agua superficial, inyección profunda, lagunas de evaporación descarga en plantas de aguas residuales y el aprovechamiento principal es la aplicación en suelos de cultivo, siempre y cuando las condiciones lo permitan.

PRETRATAMIENTO – ADICIÓN DE AGENTES ANTI-INCRUSTANTES

La función de los anti-incrustantes es la de mejorar la solubilidad de algunas sales y prevenir su precipitación. El incrustamiento es la precipitación de sales en la superficie de la membrana causada por la sobresaturación. El incrustamiento reduce la productividad de la membrana y la recuperación del agua. Una gran variedad de sales pueden causar el incrustamiento y la sal limitante puede ser determinada usando el producto de solubilidad, dependiendo de la sal limitante, se utilizan diversos inhibidores del incrustamiento. Para el incrustamiento de carbonato de calcio la adición de ácido sulfúrico es suficiente en la mayoría de los casos.

El pretratamiento común para prevenir la formación de estas incrustaciones de carbonatos es la adición de ácido para reducir la alcalinidad del agua cruda. En el caso de incrustaciones causadas por sulfatos se pueden aplicar una gran variedad de productos inhibidores disponibles en el mercado. Este proceso de pretratamiento químico es común para todas las tecnologías de desalinización (1).

El pretratamiento de sistemas de desalinización de agua de mar o agua salobre a gran escala casi siempre incluye dosificación química para la prevención de formación de incrustaciones, en los sistemas de filtración y de membranas. La formación de incrustaciones ocurre en la corriente salobre cuando las sales solubles exceden sus límites de saturación y se precipitan en la superficie de las membranas. El Hierro y manganeso también pueden precipitarse en la corriente salobre, pero estos se consideran incrustadores (1).

PRETRATAMIENTO – AJUSTE DE PH CON ÁCIDOS



El agua que se va a desalar generalmente tiene un pH elevado, aproximadamente un pH de 8 en el agua de mar y valores superiores en el agua salobre, por lo que es necesario neutralizar para obtener una mayor eficiencia en el proceso de desalinización.

PRETRATAMIENTO – COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN

La coagulación tiene por objeto desestabilizar las partículas en suspensión y facilitar su aglomeración. Se realiza mediante la dosificación y dispersión rápida de productos químicos. La floculación tiene como objetivo favorecer, mediante una mezcla lenta, el contacto entre las partículas desestabilizadas.. (1). El agua de mar se trata a partir de un coagulante que es ayudado por el proceso de floculación, se añaden en casos muy particulares, floculantes como micropartículas de arena que permite la formación de flóculos de mayor peso específico, aumentando la velocidad de sedimentación hasta 20 veces más que otros procesos convencionales, si es que el agua contiene un alta cantidad de partículas suspendidas o turbiedades altas(2); (3). Cuando el agua de alimentación tiene un alto índice de ensuciamiento (mayor a 10), se utiliza la coagulación-floculación en línea seguido por la operación de filtración. Los mezcladores estáticos son apropiados y usualmente empleados para la mezcla de coagulantes y floculantes en línea en los procesos de desalinización ya que proporcionan toda la energía necesaria para una mezcla completa, obteniendo el máximo de eficiencia(4). Los procesos de coagulación-floculación se usan para aglomerar y remover del agua salina la materia suspendida y coloidal, incluyendo a las bacterias y virus. Varios estudios extensos han indicado que con sistemas de coagulación-floculación y sedimentación cuidadosamente operados se puede conseguir la remoción de virus en un porcentaje mayor al 99% de eficiencia (3).

PRETRATAMIENTO – DECLORACIÓN

La decloración tiene que ser realizada antes del proceso de (OI) porque el cloro residual, en el agua de alimentación al módulo de ósmosis inversa, puede dañar las membranas. La resistencia al cloro varía dependiendo del material de la membrana, los principales fabricantes de membranas esperan la degradación de la membrana después de una exposición de 200 – 1 000 horas con una concentración de 1 mg/L de cloro libre para membranas compuestas.



El grado del daño del cloro también depende del valor de pH, la degradación es más rápida en agua alcalina (con pH mayor a 8) que en agua neutra o ácida, las temperaturas altas también aceleran la degradación de la membrana por oxidación. El metabisulfito de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) se utiliza comúnmente para la decloración debido a su alta rentabilidad (1). En agua el metabisulfito de sodio reacciona formando bisulfito de sodio (NaHSO_3)

Entre mayor sea la cantidad remanente de cloro en el agua, más nutrientes son producidos por la transformación de moléculas grandes en moléculas más pequeñas, lo cual favorece el crecimiento de las bioincrustaciones, la variación del cloro residual en un intervalo de 0-1 mg/L en la corriente de entrada a la membrana de OI no demostró ningún cambio significativo en el potencial de ensuciamiento biológico. Un contenido residual de cloro > 0.5 mg/L en la etapa de la filtración con cartucho es requerido para prevenir la acumulación de las bioincrustaciones (1).

PRETRATAMIENTO – DESINFECCIÓN

La desinfección presenta un desempeño adecuado de pretratamiento para procesos de tipo térmico de desalinización, (1). Este pretratamiento consiste en la adición de productos químicos en la corriente de proceso de la etapa de desalinización (2). Cabe destacar que la desinfección con cloro es necesaria, independientemente del pretratamiento físico aplicado, para desinfectar el agua y también para prevenir el crecimiento biológico que causa ensuciamiento de filtros y membranas, así como una reducción en el funcionamiento del proceso.

Otra técnica utilizada para la desinfección es por medio de luz Ultravioleta (UV). El espectro de UV está dividido en 4 regiones, que son designadas como sigue: Vacío, UV-A, UV-B, y UV-C. La última región, UV-C es una luz ultravioleta de pequeña longitud de onda (200-295 nm), es en la cual ocurre la acción germicida más efectiva. La acción germicida óptima de la UV ocurre con una longitud de onda de 265 nm.

PRETRATAMIENTO – FILTRACIÓN EN CARTUCHOS

Para mejorar la calidad del agua, en el aspecto de partículas sólidas, se recurre fundamentalmente a distintos procesos de filtración la cual se encargará de la separación de



los sólidos contenidos en el líquido. Generalmente se piensa que los filtros son una especie de tamiz o micro-membrana. Los filtros de cartuchos son clasificados sobre la base del mecanismo de remoción: de superficie y de profundidad (1).

En general, la utilización de filtros formados por una o más capas de material filtrante resuelve la separación de material no coloidal y se logra retener buena parte del material coloidal en un 50% aproximadamente.

La necesidad de retener la mayor parte de sólidos presentes en el agua obliga a la implementación de etapas de filtración que corresponden esencialmente a lo siguiente: a) Filtración gruesa, b) Filtración fina.

PRETRATAMIENTO – FILTRACIÓN EN MEDIO POROSO

Los distintos medios porosos utilizados en desalinización son: arena y arena-antracita, con una variedad en tamaños y pesos específicos de partículas. Los filtros se pueden clasificar por su velocidad de filtrado, en filtros de gravedad (filtros lentos) o filtros de presión (filtros rápidos), estos últimos son los que se utilizan comúnmente en la desalinización de agua de mar. Los filtros se pueden proveer en diversos tamaños y se pueden operar manualmente o de manera totalmente automática (1).

Por otro lado, una aplicación importante de los filtros es la remoción de hierro y manganeso insolubles del agua a tratar. La remoción del hierro y manganeso consiste en una previa aireación, oxidación y precipitación del hierro y el manganeso, los cuales pasan a un estado insoluble (materia suspendida) para su posterior eliminación en el filtro de arena (2). Los filtros de arena remueven partículas con densidades mayores a 2 g/cm³, alcanzando valores de eficiencia de remoción hasta de 90% de la materia suspendida presente en el agua (2) y logrando niveles de remoción menores a 1 NTU (5).

PRETRATAMIENTO – MICROFILTRACIÓN (MF)

Una membrana es una fina capa de material capaz de separar las sustancias cuando una fuerza se aplica a través de ella (1). En la MF se utilizan membranas similares a las que se usan en ósmosis inversa, están constituidas por un haz de fibras huecas de 2 mm de diámetro, por tanto son mucho más gruesas y están constituidas de otros materiales que las de ósmosis inversa. El tamaño de los poros es suficientemente pequeño para retener



también las bacterias, pues éstas se aglutinan unas con otras adquiriendo un tamaño superior al de los poros (4).

Las membranas al vacío operan con una succión creada dentro de las fibras huecas por medio de una bomba. El agua tratada pasa a través de la membrana, entra a las fibras huecas y es bombeada para su distribución. Se introduce un flujo de aire en el fondo del módulo de la membrana para crear una turbulencia que frota y limpia el exterior de las fibras de la membrana y les permite funcionar con una tasa de flujo alta (7).

La remoción de los contaminantes en las membranas de MF son: a) Remoción completa de quistes de Giardia, Cryptosporidium, coliformes y huevos de parásitos, b) Se han observado eliminaciones de virus hasta de 4 log de remoción(2), c) Remoción de sólidos suspendidos con tamaño mayor a 0.1 micrómetros.

PRETRATAMIENTO – ULTRAFILTRACIÓN (UF)

La Ultrafiltración se basa en el mismo principio de operación y funcionamiento que la MF. La diferencia entre éstas radica en el diámetro de poro de las fibras, el material de fabricación de las membranas y la forma de filtración. Las membranas de ultrafiltración eliminan los contaminantes orgánicos, virus, bacterias, parásitos entre otros, por debajo de las 0.04 micras. Este sistema trabaja a través de un procedimiento completamente mecánico, el agua a tratar se filtra bajo presión a través de membranas de alta tecnología (1).

Las membranas se dividen en dos grandes grupos: orgánicas e inorgánicas. En general las orgánicas son más fáciles de procesar y por lo tanto más baratas, mientras que las inorgánicas suelen ser más caras pero presentan ventajas tales como la resistencia a agentes químicos agresivos. La mayoría de las membranas son de naturaleza orgánica, fabricadas en materiales poliméricos tales como polisulfona (resistentes a la cloración (2)), fluoruro de polivilideno, poliamida, acetato de celulosa, etc. Por otro lado también existen membranas inorgánicas, de tipo cerámico multicanal, a base de óxido de zirconio, aunque son empleados más bien en tratamientos de aguas industriales. La ultrafiltración remueve ácido húmico, taninos, proteínas, coloides, partículas en suspensión, coloides y virus; también pueden remover prácticamente un 99% de bacterias (6).

PRETRATAMIENTO – SEDIMENTACIÓN



La sedimentación se aplica cuando los índices de ensuciamiento de las membranas producto del agua coagulada son mayores a 5, con el objeto de complementar los procesos de coagulación-floculación previos a la etapa de desalinización, si se tiene un índice de ensuciamiento menor a 5 no se requiere la aplicación de esta tecnología.

La sedimentación frecuente en desalinización de agua salobre procedente de ríos y lagos. Se basa en retener el agua durante un período de tiempo suficientemente largo en un depósito, en el que el agua circula a una velocidad muy lenta, con la finalidad de que los sólidos que están suspendidos puedan depositarse en el fondo, obteniendo en la parte superior del depósito un líquido clarificado.

Un tipo de arreglo muy común en los pretratamientos de desalinización son los sistemas de coagulación-floculación seguidos de un sedimentador para remoción de partículas floculadas. Los sedimentadores circulares son normalmente alimentados por el centro, a través de un tubo central, ascendente que en su parte superior presenta un deflector, (barrera o separador), cuyo propósito es disipar la energía del influente y garantizar una distribución homogénea en el tanque clarificador (13).

En los sedimentadores se remueve entre un 50%-60% de los sólidos suspendidos (partículas con una velocidad de sedimentación entre 1 – 2 minutos). Los lodos removidos de este proceso pueden contener materia orgánica (de fácil degradación) y materia inorgánica como arena, sílice, entre otros. El contenido de sólidos de dichos lodos oscila alrededor del 5%. Los sedimentadores se dimensionan de tal forma que se obtenga una eliminación de sólidos suspendidos superior al 65%, hasta valores de 70% de sólidos totales.

TRATAMIENTO PRINCIPAL – DESTILACIÓN CON MEMBRANAS

La destilación por membranas se introdujo comercialmente en 1980 a pequeña escala, pero no se ha demostrado ningún éxito comercial(1). Como el nombre lo indica, el proceso combina el uso de la destilación y de las membranas. En el proceso, el agua salina se calienta para mejorar la producción de vapor, el cual se expone a una membrana que permite el paso del vapor de agua, pero no el paso de agua líquida.

Después de que el vapor pasa a través de la membrana, se condensa en una superficie de enfriamiento para producir agua dulce. En la forma líquida, el agua dulce no puede pasar a



través de la membrana, por lo que queda atrapada y se recoge como la producción de la planta(1).

TRATAMIENTO PRINCIPAL – CONGELAMIENTO (CG)

En el proceso de congelamiento, las sales disueltas en el agua son naturalmente eliminadas durante la formación de cristales de agua (1). El proceso es esencialmente un ciclo de refrigeración convencional, el cual consta de un congelador, un proceso de calentamiento y un compresor, el hielo, en forma de pequeños cristales forma una suspensión con la salmuera. Hay varias formas de separar el hielo de la salmuera, una de estas es la centrifugación. Uno de los métodos más comunes es la separación mediante una columna de lavado en donde se alimenta por la parte superior agua de lavado para remover las sales remanentes adheridas a los cristales de hielo, el hielo es entonces fundido para producir agua dulce. Se utiliza un intercambiador de calor para recuperar la energía del agua dulce y del rechazo de la salmuera con el fin de un previo enfriamiento del agua de alimentación (2). Existen dos configuraciones importantes en el proceso de congelamiento, el congelamiento directo y el congelamiento indirecto (5):

* *Congelamiento directo*: este método involucra la reducción de la temperatura del agua de alimentación muy cerca del punto de congelación, creando un vacío y condensando los vapores de las sales libres resultantes.

* *Congelamiento indirecto*: fue desarrollado para resolver un problema del sistema anterior, usando un refrigerante con un valor más alto de presión de vapor que el agua. El refrigerante debe ser inmiscible con el agua, para facilitar la recuperación de la misma. Este proceso opera a presiones más altas que en el caso del congelamiento directo.

TRATAMIENTO PRINCIPAL – DESTILACIÓN FLASH DE MÚLTIPLES ETAPAS (DFM)

El proceso de desalinización se lleva a cabo de la siguiente forma: el agua se calienta a altas presiones para evitar su ebullición, antes de llegar a la primera cámara “flash” o primera etapa, en la cual la presión es liberada y la evaporación súbita o “flash” tiene lugar. Esta evaporación continúa en pequeñas proporciones en cada etapa sucesiva, porque la presión disminuye a través de ellas (2).



Los procesos de tipo térmico remueven cerca de todos los minerales disueltos presentes en el agua de alimentación. Los principales contaminantes regulados removidos en este proceso son: de tipo inorgánico, pesticidas y compuestos orgánicos sintéticos, compuestos orgánicos volátiles, orgánicos clorados, compuestos microbiológicos y radiológicos (5).

TRATAMIENTO PRINCIPAL – DESTILACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR (CV)

El calor de evaporación del agua viene del calor resultante de la compresión del vapor. El proceso CV toma ventaja del principio de reducción del punto de ebullición al reducir la presión en el proceso. El principal método empleado para la producción de calor para evaporar el agua de alimentación es por medio de un compresor mecánico. El compresor mecánico generalmente emplea corriente eléctrica lo cual elimina la necesidad de generación de vapor (1).

El agua de mar contiene material particulado y coloidal como contaminantes, así como hidrocarburos y material de tipo biológico como algas. En agua salobre, se presentan otro tipo de contaminantes de origen antropogénico como nitratos (fertilizantes), pesticidas, arsénico y disruptores endocrinológicos. De la misma forma el agua debe contener SDT en el intervalo de 8 000-50 000 mg/L (4). Los procesos de tipo térmico remueven cerca de todos los minerales disueltos presentes en el agua de alimentación. Los principales contaminantes regulados removidos en este proceso son: de tipo inorgánico, pesticidas y compuestos orgánicos sintéticos, compuestos orgánicos volátiles, orgánicos clorados, compuestos microbiológicos y radiológicos (1).

Los principales pretratamientos requeridos en la aplicación de la desalinización con CV son, la adición de anti incrustantes, y la remoción de metales pesados por medio de trampa de iones.

TRATAMIENTO PRINCIPAL – ELECTRODIÁLISIS / ELECTRODIÁLISIS INVERSA (ED) / (EDI)

La Electrodiálisis es uno de los procesos de membranas más comunes en los procesos de desalinización. La ED se basa en el movimiento selectivo de iones en una solución. La ED usa una corriente directa para transferir los iones a través de una membrana que posee una barrera fija para ciertos grupos iónicos. La Electrodiálisis es principalmente usada para la



desalación de aguas salobres. La cantidad de energía eléctrica que se consume es proporcional a la cantidad de sal que se remueve. Por cuestiones económicas este proceso está limitado en sus aplicaciones para tratar agua con menos de 10 000 mg/L en SDT. Sin embargo, en ciertas aplicaciones se promueve el proceso de ED sobre el de OI. Una mejora reciente es el proceso de la electrodiálisis inversa o reversible basado en los mismos principios que la ED. Las diferencias fundamentales se encuentran en la operación es la inversión de la polaridad de la corriente aplicada y la función de las celdas. Este cambio se realiza de tres a cuatro veces por hora para invertir el flujo de iones a través de la membrana. La EDI ha reemplazado en muchas instalaciones a la ED (1).

TRATAMIENTO PRINCIPAL – HUMIDIFICACIÓN SOLAR (HS)

El principio de operación de estos dispositivos suele imitar una parte de la naturaleza del ciclo hidrológico en el que los rayos del sol calientan el agua salina para producir vapor de agua (humidificación). El vapor de agua se condensa en una superficie de enfriamiento, y el condensado es obtenido como agua dulce o producto. Un ejemplo de este tipo de proceso es el invernadero solar, en la que el agua salina se calienta en un recipiente en el suelo, y el vapor de agua se condensa en la pendiente del techo de cristal que cubre el recipiente (1).

TRATAMIENTO PRINCIPAL – OSMOSIS INVERSA (OI)

La OI es un proceso de separación por medio de membranas en el cual una solución salina es separada del soluto (material disuelto) al fluir a través de la membrana cuando se aplica una presión superior a la osmótica. No se necesita de cambios de fase para esta separación. El mayor consumo de energía al momento de desalinizar por OI es la consumida para presurizar el agua de alimentación (1).

El proceso de OI usa membranas semipermeables para separar iones disueltos de las moléculas de agua. Una bomba de alimentación eleva la presión del agua de alimentación con base en la concentración de sólidos disueltos en el influente, en el porcentaje deseado de recuperación, y en el desempeño de la membrana. Las membranas de OI son ensambladas en contenedores con 1-7 elementos de membranas en espiral.

La ósmosis inversa es en gran medida el tipo de proceso basado en membranas más extenso para la desalinización. Es capaz de retener casi toda la materia disuelta o coloidal de



una solución acuosa, produciendo una salmuera en el concentrado o rechazo y un permeado que consiste en agua casi pura.

POSTRATAMIENTO – DESINFECCIÓN FINAL

Esta tecnología consiste en la destrucción selectiva de los organismos causantes de enfermedades; las tres clases de organismos entéricos de origen humano de mayores consecuencias en la producción de enfermedades son las bacterias, virus y quistes amebianos (1).

POSTRATAMIENTO – REMINERALIZACIÓN Y RECARBONATACIÓN

La remineralización comprende los procesos de adición de sales minerales que genera un agua adecuada para la salud, y la adición de sales de calcio como el CaCO_3 (carbonato de calcio) para mejorar la alcalinidad (concentración HCO^{-3}) y la dureza (concentración Ca^+) del agua de manera que no sea corrosiva ni incrustante(1).

La recarbonatación se puede definir como la introducción de alcalinidad por carbonatos y bicarbonatos y remineralización como el incremento del contenido mineral además del incremento de alcalinidad por carbonatos y bicarbonatos en un agua desalada.

Los procesos de recarbonatación y remineralización pueden realizarse por diversos métodos (aplicación de CO_2 y exceso de cal hidratada, paso de agua desalada a través de un lecho de piedra caliza para ser dosificada con dióxido de carbono, aplicación de cal hidratada y carbonato de sodio, aplicación de bicarbonato de sodio y sulfato de calcio, aplicación de bicarbonato de sodio y cloruro de calcio y mezcla con una fuente de agua salina tratada), pero no todos son aplicables para procesos térmicos y para plantas de desalinización de ósmosis inversa debido al costo, complejidad del proceso, manipulación de materiales, entre otros.

POSTRATAMIENTO – DESGASIFICACIÓN

La degasificación en torres empacadas con aire a contracorriente es una tecnología eficiente aplicada para la remoción de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV's) del agua a desalinizar, los COV's son generalmente CO_2 y H_2S en este tipo de agua tratada (1).



El proceso se realiza mediante una torre en la que el agua entra por la parte superior mediante unos difusores a través de un lecho ó empaque, este es un material que puede tener distintas formas y tamaños, determinando en función de éste la superficie ó área de transferencia gas-liquido de la cámara de desgasificación.

Aplicando el proceso de desgasificación a contracorriente convencional para remoción de compuestos químicos orgánicos volátiles (verbigracia el benceno, tolueno, dióxido de carbono, entre otros) se obtiene una remoción superior al 99%. Aplicando el proceso a un sistema en cascada para remoción de compuestos químicos orgánicos semi-volátiles (por ej. bromoformo, policlorobifenilos, entre otros) se obtiene una remoción por arriba del 90%.

DISPOSICIÓN DEL CONCENTRADO – LAGUNAS DE EVAPORACIÓN

Esta tecnología consiste en el almacenamiento del concentrado o salmuera de plantas desalinizadoras en lagunas para la evaporación del agua.

Las lagunas de evaporación requieren terrenos muy extensos y son, por lo tanto, aplicables únicamente en áreas con valores bajos de terreno. Las lagunas de evaporación son fáciles de construir y tienen bajo costo de mantenimiento. Generalmente requiere de una membrana impermeable por la laguna, el cual constituye la mayor parte del costo, superior al costo del terreno (1).

Esta tecnología solamente aplica a la salmuera del proceso de desalinización de agua de mar la cual tiene una concentración en SDT de 300 000 mg/L; por ello, a este efluente se debe aplicar un método de disposición de concentrado. Las lagunas son más apropiadas para instalaciones de desalación pequeñas situadas en climas áridos y áreas con valor de tierra bajo.

DISPOSICIÓN DEL CONCENTRADO – INYECCIÓN PROFUNDA

Este método involucra la inyección del concentrado en un pozo de disposición. Para que un acuífero sea aceptable, éste debe tener características similares a las del concentrado. Generalmente se requiere que el concentrado no degrade la calidad del agua en el acuífero. Cuando el acuífero es muy profundo y generalmente con agua de alta salinidad, se puede utilizar como depósito temporal o definitivo de sustancias de difícil almacenamiento



superficial como el concentrado proveniente de procesos de desalinización de agua de mar (1).

La inyección del concentrado en acuíferos profundos que ofrezcan garantías de confinamiento cumpliendo con las condiciones del acuífero, es una solución cada vez más aceptada por las autoridades encargadas de la conservación y regulación de los recursos del subsuelo (2).

Esta tecnología solamente aplica a la salmuera del proceso de desalinización de agua de mar la cual tiene una concentración en SDT de 300 000 mg/L; por ello, a este efluente se le debe aplicar un método de disposición de este concentrado. Para la aplicación de la tecnología de inyección profunda se recomienda que el pozo a inyectar se encuentre muy cerca de las instalaciones de desalinización.

DISPOSICIÓN DEL CONCENTRADO – DESCARGA A UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR)

Este método de disposición está limitado a descargas de concentrado o salmuera en colectores de sistemas sanitarios de una planta de tratamiento de aguas residuales.

La descarga de concentrado a sistemas de alcantarillado ha sido frecuente en los últimos años. Si el concentrado es descargado al sistema de alcantarillado sin previo tratamiento, puede tener consecuencias que afectan la operación debido a la alta concentración de sales (1). Por ejemplo, considerando que la concentración de SDT del influente de la planta de tratamiento de aguas residuales puede llegar hasta 1 000 mg/L en muchas instalaciones ubicadas a lo largo de la costa del océano y que el nivel de SDT del concentrado de la planta desalinizadora sobrepasaría los 65 000 mg/L, la capacidad de la planta de tratamiento tendrá que ser por lo menos de 30 a 35 veces mayor que el volumen diario de descarga de concentrado para poder mantener la concentración de SDT del flujo de ingreso de la planta por debajo de 3 000 mg/L.

Si el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales es reutilizado, la cantidad de concentrado que puede ser aceptado por la planta está limitada, no solamente por la salinidad del concentrado, sino también por el contenido de sodio, cloruros, boro y bromuros en la mezcla; todos éstos tendrían un efecto negativo profundo en la calidad de agua tratada, especialmente si el efluente es reutilizado para riego (2).



La salmuera de procesos de desalación de agua salada tienen una diversas concentraciones de SDT en base al tipo de agua tratada, para agua de mar es de alrededor de 300 000 mg/L; Por ello, a este efluente se debe aplicar un método de disposición de concentrado. La factibilidad de disposición de este método está limitada por la capacidad hidráulica del sistema colector de aguas residuales y por la capacidad de tratamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales que recibe la descarga.

DISPOSICIÓN DEL CONCENTRADO – DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA SUPERFICIAL

La evacuación del concentrado puede efectuarse de varias maneras, pero la más común es la descarga al mar o a corrientes de aguas superficiales. Este método constituye una forma de dilución basada en el volumen de la descarga relativo al del cuerpo de agua receptor (1). El elemento esencial en este método es depositar el concentrado en un cuerpo de agua receptor de forma que no se vea afectado adversamente por la presencia del concentrado.

Existen diferentes tipos o arreglos para este método de disposición:

1. *Vertido directo al mar:* se descarga la salmuera directamente al océano, donde salmuera se diluye con ayuda de difusores distribuyendo la descarga en un área más grande o bien, la salmuera antes de ser vertida al mar es diluida en proporción 1:3 v/v con agua de mar y posteriormente es enviada al mar y de esta manera no afectar la biota marina.
2. *Descarga a aguas superficiales:* se descarga a un arroyo y/o lago, empleando los mismos conceptos de dilución que en el vertido al mar. Esta práctica no necesariamente es la más idónea (2).

La salmuera de procesos de desalinización de agua de mar tiene una concentración de alrededor de 300 000 mg/L. Por ello, a este efluente se debe aplicar un método de disposición de concentrado. Esta tecnología es ampliamente aplicada a plantas desalinizadoras instaladas en las proximidades del mar.

DISPOSICIÓN DEL CONCENTRADO – APLICACIÓN EN SUELOS

Método que consiste en la irrigación de concentrado de plantas desalinizadoras en campos de cultivo como aprovechamiento de este recurso.



La salmuera de procesos de desalinización de agua de mar tiene una concentración de alrededor de 300 000 mg/L; por ello, a este efluente se debe aplicar un método de disposición de concentrado. La irrigación de concentrado puede ser ejecutada si existe una necesidad de irrigación cerca de la planta desalinizadora y si el contenido de sólidos disueltos totales es aceptable para el crecimiento de la cosecha.



3 METODOLOGÍA

En esta sección, se presenta el análisis que se llevó a cabo para la determinación de los aspectos mínimos necesarios que deben ser considerados al momento de evaluar la viabilidad de proyectos de inversión en materia de agua potable. El objetivo de éste análisis, es la formulación de una guía que sirva de apoyo al encargado de tomar decisiones acerca de la conveniencia de implementar un proyecto determinado, ya sea una planta potabilizadora o una desaladora, y que a su vez, lo oriente hacia la elección de la alternativa que mejor aproveche los recursos destinados a su construcción y operación y que maximice los beneficios a la sociedad. La metodología empleada para su elaboración, se muestra en la Figura 3.1.

Se realizó una amplia búsqueda bibliográfica de las metodologías que se emplean para evaluar proyectos de inversión de carácter público a nivel nacional e internacional y se analizaron las metodologías para la evaluación de proyectos de infraestructura en materia de agua potable existentes, con la finalidad de formular una propia que se adecue a las necesidades nacionales. De su revisión y análisis se obtuvieron los principales elementos que debe contener un estudio a nivel perfil para que cumpla con el objetivo de elegir, de entre varias alternativas de solución, la opción que maximice los beneficios frente a los costos y que no requiera grandes inversiones de capital para su elaboración.

Se examinaron algunos proyectos que ya han sido aprobados para su ejecución en nuestro país. Se revisaron y analizaron a profundidad los estudios socioeconómicos presentados por los promotores de distintos estados del país al BANOBRAS solicitando financiamiento para la construcción de obras de infraestructura encaminadas a resolver el problema de escasez de agua potable y que ya han sido aprobados y registrados dentro de la Cartera de Programas y Proyectos de Inversión de la UI-SHCP, con la finalidad de identificar los aspectos cuya difícil determinación compromete el desarrollo de las evaluaciones actuales, además de comparar la información que presentan con la requerida en un estudio de costo beneficio y de verificar los aspectos financieros que determinan la viabilidad del proyecto. De ello se obtuvieron los principales aspectos ambientales y financieros que se consideró deben ser evaluados dentro del estudio a nivel perfil.



Así mismo, se analizaron las diferentes tecnologías empleadas para la potabilización y desalinización del agua, con el objetivo de definir las principales características tecnológicas que establecen si es físicamente posible la implementación del proyecto propuesto y si es capaz de satisfacer la demanda a lo largo del horizonte del proyecto. Además, debe proporcionar los elementos suficientes para el cálculo de los costos de inversión, operación y mantenimiento necesarios en la evaluación financiera.

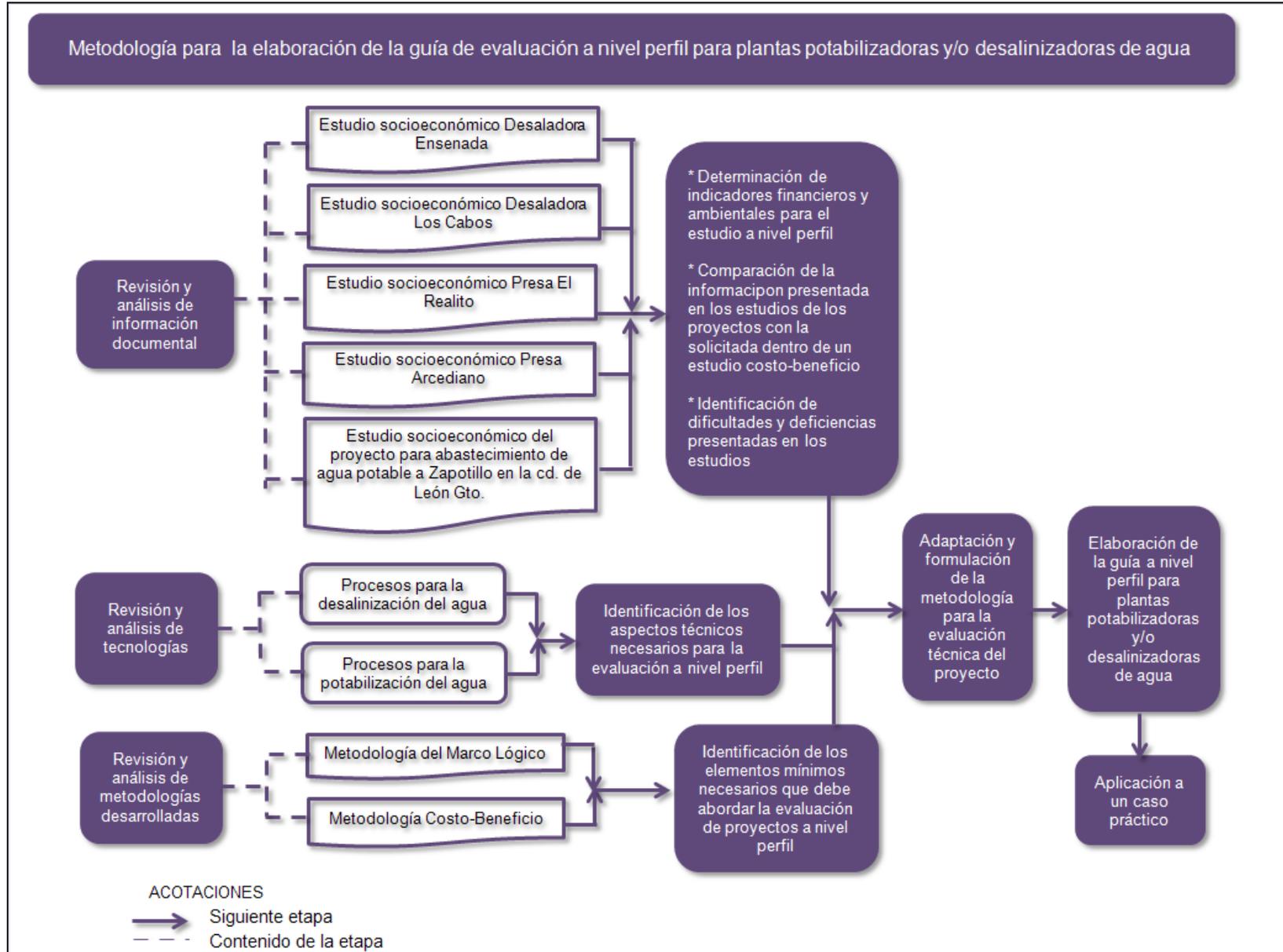


Figura 3.1 Metodología empleada

4 RESULTADOS

4.1 Revisión y análisis de metodologías utilizadas

Del análisis del documento “**Notas sobre Formulación de Proyectos**” (79), publicado por el Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social (ILPES), es conveniente destacar el énfasis y amplio tratamiento que se proporciona a la identificación de la idea, etapa considerada como punto de partida de un proyecto. La situación problema se define por cinco condiciones necesarias y suficientes, las cuales se muestran en la Tabla 4.1. Después de haber identificado el problema y definido un conjunto de posibilidades que lo solucionarían, se inicia un proceso de descarte de posibilidades a partir de la construcción de una matriz donde se analizan los siguientes condicionantes en cada una de las diferentes propuestas: Mercado y Tamaño; Disponibilidad de insumos, Tecnología, Monto de inversión; Marco legal, político y ambiental. Una vez evaluada cada alternativa de acuerdo a la información disponible en cada intersección de la matriz, se ordenan las diferentes propuestas en soluciones y alternativas, con el propósito de realizar una primera evaluación preliminar y encontrar las más viables para resolver la situación problema.

Tabla 4.1 Condiciones para la correcta definición de la idea (79)

Fase	Descripción
Identificar un ente	Es quien tiene el poder de decisión, y en consecuencia, es capaz de resolver el problema
Definir el objetivo	Se debe tener un objetivo deseado relacionado con la situación-problema
Identificación de posibilidades	Determinar al menos dos alternativas o caminos que resuelvan el objetivo deseado, éstos deben solucionar la problemática existente
Estado de duda respecto a la selección de alternativas	Es decir, para cada una de las alternativas propuestas en el punto anterior, no se cuenta con mayores elementos de juicio y en teoría resuelven la problemática, el responsable del ente no podrá elegir alguna en particular.
Contexto del problema	Se deben identificar el conjunto de factores: culturales, políticos, normativos, entre otros, que pudieran afectar negativa o positivamente el logro del objetivo deseado y que están fuera del control del ente.

De acuerdo a la **Metodología del Marco Lógico (MML)**, la identificación y formulación de proyectos se realiza de acuerdo a la Figura 4.1. Con base en dicha estructura, se propone el contenido de la guía de evaluación a nivel perfil presentada en el capítulo 5.

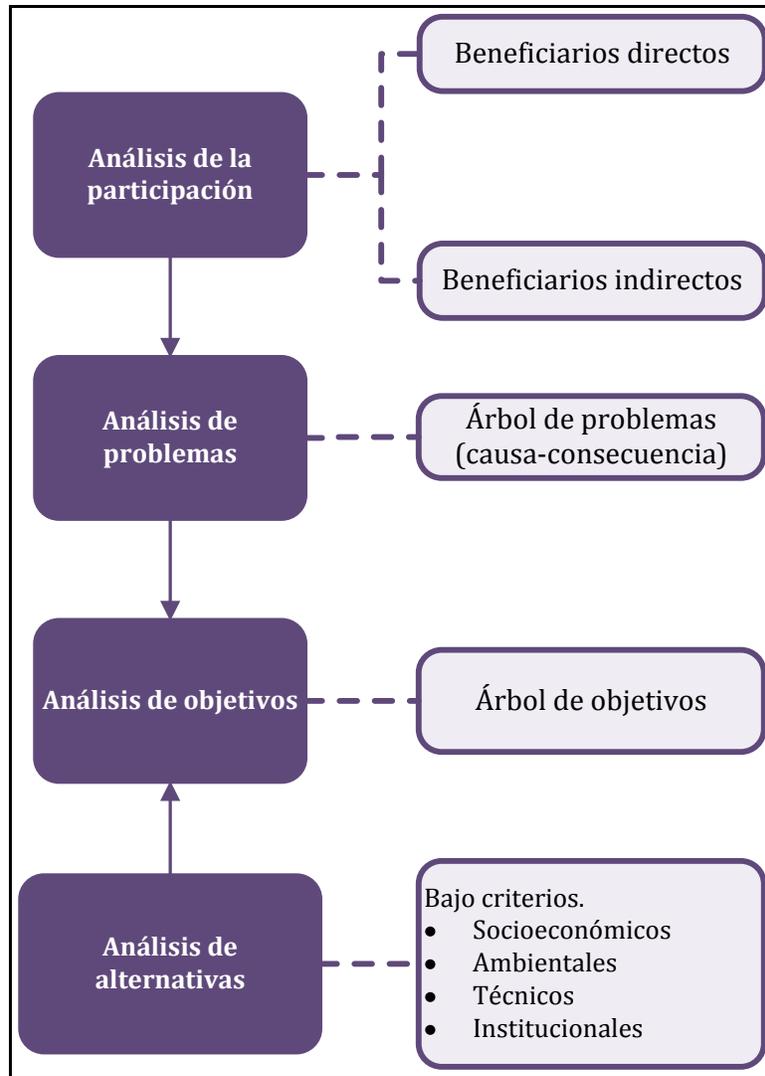


Figura 4.1 Metodología del marco lógico

4.2 Revisión y análisis de información documental

Los análisis costo-beneficio analizados son análisis a nivel prefactibilidad, es decir, contienen información mas detallada y precisa que la requerida a nivel perfil, sin embargo, la información acerca del planteamiento del problema y objetivos se abordan en él debido a que actualmente en nuestro país, éste nivel de estudios es el primero que se elabora para la obtención de algún financiamiento. Además, se espera que con la guía metodológica



propuesta en la presente tesis, se facilite la elaboración de los estudios posteriores, pues mostrará un panorama general de que aspectos se deben evaluar en el proyecto.

Del análisis se observó que existen deficiencias en el planteamiento del problema y por consiguiente, en los objetivos que pretenden alcanzar con la implementación del proyecto. En algunos casos se observó que se planteaban objetivos múltiples, haciendo difícil con ello la identificación de los verdaderos beneficios que aportaría a la población. Esto puede crear falsos juicios acerca de la viabilidad del proyecto al sobre o sub valorarlo. Esta información se muestra en la Tabla 4.2.



Tabla 4.2 Proyectos revisados dentro del marco del PROMAGUA

Nombre del proyecto	Tipo de proyecto	Contenido del estudio	Indicadores financieros calculados	Observaciones
<p>Estudio costo-beneficio de la construcción del proyecto de abastecimiento de agua en bloque mediante desalación de agua de mar para la ciudad Ensenada, B.C (50)</p>	<p>Desaladora</p>	<p>Situación sin proyecto y posibles soluciones Análisis de oferta y demanda y proyecciones al horizonte de evaluación Alternativas de solución Descripción del proyecto Objetivo, capacidad instalada, costos totales Situación con proyecto Análisis oferta demanda Evaluación socioeconómica Identificación y cuantificación de beneficios sociales Cuantificación de costos totales Calculo de indicadores de rentabilidad Análisis de sensibilidad y riesgos</p>	<p>VANS (Valor Actual Neto Social)= VABS (Valor Actual de Beneficios Social)- VACS (Valor Actual de Costos Social) TRI: (Tasa interna de retorno)</p>	<p>La identificación de los beneficios es confusa debido al inadecuado planteamiento del problema La selección de la mejor alternativa no está debidamente fundamentada El cálculo de los beneficios no es claro</p>
<p>Estudio costo-beneficio social del proyecto Ampliación de la planta desaladora de Los Cabos, Baja California sur, México. (51)</p>	<p>Desaladora</p>	<p>Situación sin proyecto Análisis de oferta y demanda y proyecciones al horizonte de evaluación Características generales de la zona de estudio. Descripción del proyecto Objetivo, capacidad instalada, descripción del tren de tratamiento, vida útil del proyecto costos totales infraestructura existente Situación con proyecto Identificación de costos y beneficios sociales Evaluación socioeconómica Identificación y cuantificación de beneficios sociales Calculo de indicadores de rentabilidad Análisis de sensibilidad y riesgos</p>	<p>VANS TRI</p>	<p>No muestra análisis de alternativas No muestran los motivos en los que se basaron para la elección de la mejor alternativa.</p>
<p>Evaluación Socioeconómica del Proyecto: Presa El Realito para abastecimiento de</p>	<p>Acueducto y potabilizadora</p>	<p>Situación sin proyecto y posibles soluciones Análisis de oferta y demanda y proyecciones al horizonte de evaluación Características generales de la</p>	<p>VANS TRI</p>	<p>El descarte de alternativa no esta debidamente sustentado</p>



Nombre del proyecto	Tipo de proyecto	Contenido del estudio	Indicadores financieros calculados	Observaciones
agua potable a la zona conurbada de San Luis Potosí, SLP. (52)		zona de estudio. Situación sin proyecto optimizada Descripción del proyecto Objetivo, capacidad instalada, componentes y vida útil del proyecto Descripción técnica del proceso costos totales Situación con proyecto Identificación de efectos directos, indirectos y externalidades Evaluación socioeconómica Identificación de costos y beneficios sociales Calculo de indicadores de rentabilidad Análisis de sensibilidad y riesgos		
Evaluación socioeconómica de la construcción de la presa Arcediano, para la Zona conurbada de Guadalajara, Jalisco (53)	Acueducto y potabilizadora	Situación sin proyecto y posibles soluciones Análisis de oferta y demanda y proyecciones al horizonte de evaluación Posibles soluciones Descripción del proyecto Objetivo, componentes, capacidad instalada, componentes y vida útil del proyecto Descripción técnica del proceso costos totales Infraestructura existente Situación con proyecto Identificación de efectos directos, indirectos y externalidades Proyección de la oferta y demanda con el proyecto Evaluación socioeconómica Identificación de costos y beneficios sociales Calculo de indicadores de rentabilidad Análisis de sensibilidad y riesgos	VANS TIRS	No se contemplan las características generales de la zona, el contexto es importante dentro de Presenta el análisis de las posibles soluciones y desarrolla el motivo por el cual descarta las alternativas
Actualización del estudio de evaluación socioeconómica construcción del proyecto de	Acueducto y potabilizadora	Situación sin proyecto y posibles soluciones Análisis de oferta y demanda y proyecciones al horizonte de evaluación Características generales de la	TRI	El descarte de alternativas está debidamente justificado Solo calcula la TRI



Nombre del proyecto	Tipo de proyecto	Contenido del estudio	Indicadores financieros calculados	Observaciones
abastecimiento de agua potable Zapotillo para la Ciudad de León, Gto (54)		zona Medidas de optimización Posibles soluciones Análisis de alternativas Descripción del proyecto Objetivo, componentes, capacidad instalada, componentes y vida útil del proyecto Descripción técnica del proceso costos totales Infraestructura existente Situación con proyecto Evaluación socioeconómica Cálculo de beneficios sociales Identificación y cálculo de costos sociales Proyección de la oferta y demanda con el proyecto Calculo de indicadores de rentabilidad Análisis de sensibilidad y riesgos		



4.3 Formulación de la Metodología a nivel perfil

Para evaluar adecuadamente y de forma ordenada un proyecto es necesario primeramente identificar correctamente la problemática que se pretende resolver, para esto es necesario realizar un diagnostico de la situación actual de población y área afectada. En este diagnostico se debe considerar el clima, hidrología, oceanografía, topografía, geología, la salud e higiene de la población del área de estudio, las características del entorno urbano, los aspectos sociales, la delimitación geográfica del área de estudio, las características de las vías de comunicación, las principales actividades económicas y niveles de ingreso de la población, entre otros.

A partir de la identificación de la problemática, será posible proponer diversas alternativas que realmente den una solución viable y eficiente. Para plantear correctamente varias alternativas es necesario tomar en cuenta el tipo de proyecto que se requiere, las fuentes de abastecimiento actuales y la infraestructura hidráulica disponible. Asimismo, se debe realizar un estudio de mercado completo, donde se estime la oferta y la demanda de agua potable, así como el déficit actual y al horizonte de evaluación de agua potable.

Posteriormente se debe realizar la evaluación técnica, ambiental y financiera de dichas alternativas, con el fin de seleccionar la alternativa más viable ambiental, técnica y financieramente. Para la evaluación técnica se debe determinar la capacidad instalada de la planta, la vida útil del activo, la disponibilidad de insumos, la tecnología que se requiere, la eficiencia de remoción de contaminantes y generación de residuos de cada tecnología y las ventajas y limitantes de cada alternativa propuesta.

Dentro de la evaluación ambiental se debe caracterizar y analizar la calidad ambiental actual del sitio, se deben mencionar los posibles impactos ambientales que se generarán a partir de la construcción y operación de la planta, se valorarán y presentarán los criterios propuestos para la elaboración de la matriz de Leopold. Asimismo, se debe realizar una Propuesta General de Medidas de Prevención, Mitigación y Compensación de los Impactos Ambientales.

Para realizar la evaluación financiera se debe estimar el monto total de inversión, el costo de operación fijo y variable y el costo de mantenimiento. Se utilizará el CAE o el VPN para determinar la alternativa que represente el menor costo.

Finalmente, se deben mencionar algunos datos de la alternativa seleccionada, tales como el área seleccionada, la localización del proyecto y los permisos necesarios para la construcción de la planta, entre otros.

En la Figura 4.2 se representa esquemáticamente los pasos a seguir para la correcta formulación de la metodología a nivel perfil.

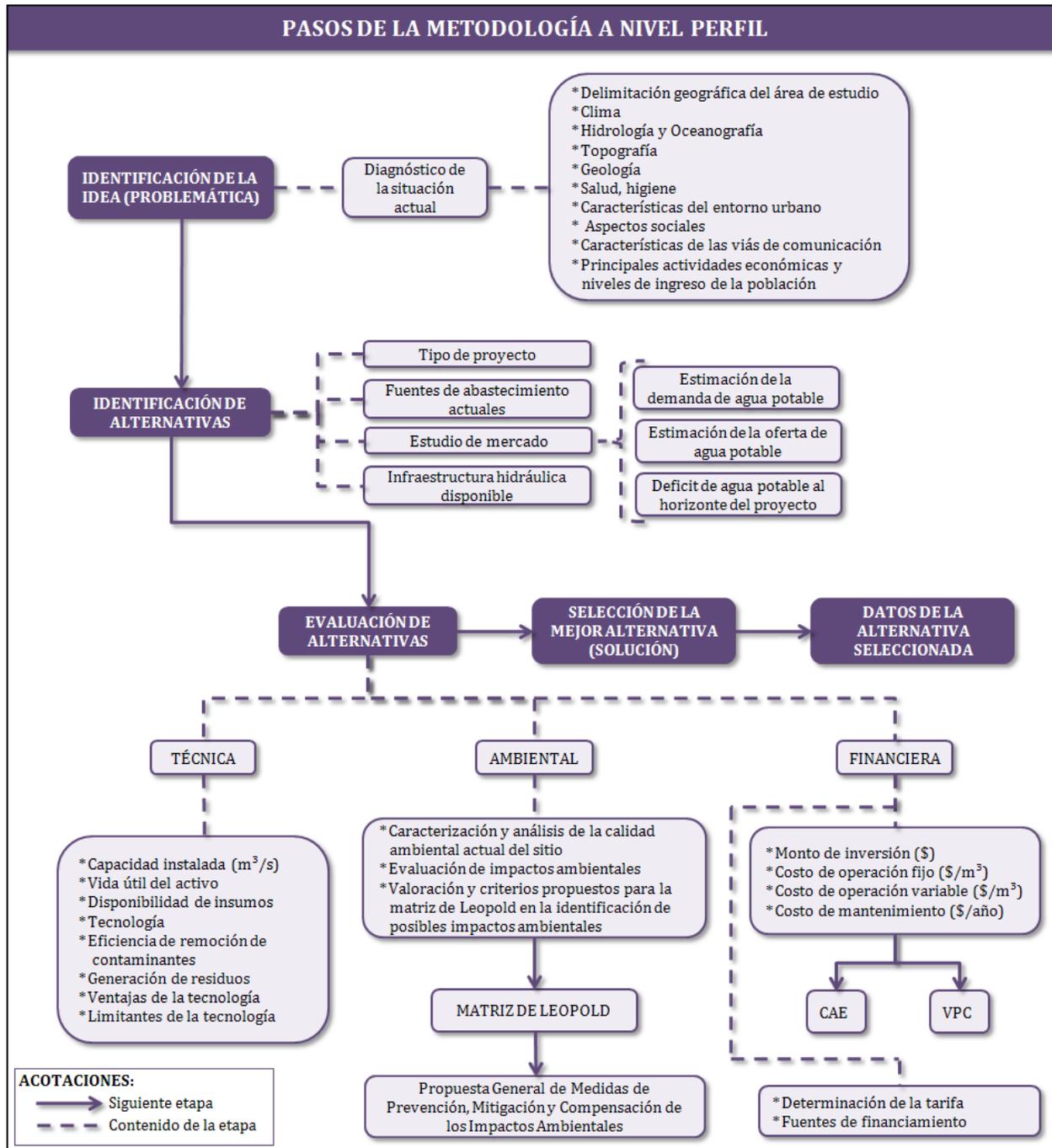


Figura 4.2 Pasos de la metodología para la evaluación a nivel perfil



4.4 Guía para la evaluación de proyectos de Plantas Potabilizadoras y/o Desalinizadoras de Agua a nivel perfil

4.4.1 Identificación de la idea (problemática)

El punto de partida de un proyecto consiste en identificar las necesidades que afectan a un determinado entorno socioeconómico, lo que permitirá hacer un adecuado planteamiento del problema, teniendo como consecuencia la correcta formulación de las acciones a seguir para su solución, con lo que se logrará el éxito del proyecto.

En materia de proyectos de Agua Potable, la primera fuente a la que se puede recurrir para conocer de forma general las necesidades de una determinada zona (municipio, región, estado, entre otros) son documentos de planeación². Para profundizar en el conocimiento de las causas que las originan y las consecuencias que tiene sobre la sociedad, se debe llevar a cabo un diagnóstico de la situación actual del abastecimiento de agua potable, de los aspectos sociodemográficos y culturales de la población afectada, entre otros. Se deben contemplar los siguientes aspectos:

1. Delimitación geográfica del área de estudio

Se delimitará el área de estudio del proyecto de agua potable con base en la información recopilada. Se debe incluir una descripción general de la localización física y las características geográficas del área de estudio, así como las jurisdicciones a donde pertenece, indicando sus principales límites políticos. Asimismo, se debe adicionar información con respecto a planes de desarrollo urbano, el crecimiento urbano futuro, extensión territorial en km² y población actual estimada por CONAPO.

La delimitación debe comprender desde la zona de captación (en su caso), el trayecto de conducción a la planta potabilizadora o desalinizadora, considerando derivaciones y aportaciones de fuentes o cuencas adyacentes hasta los puntos de entrega en la ciudad.

² Programas de Desarrollo Municipal, Programas de Desarrollo Económico Estatal, Programas Sectoriales y Plan Nacional de desarrollo.



Se debe definir el área de influencia del estudio, el que debe estar enmarcado dentro del ámbito geográfico de la localidad o conjunto de localidades vecinas donde se focaliza el problema. Se debe incluir:

- ❖ Nombre del/los Municipio(s)
- ❖ Entidad federativa donde se localiza(n) el/los Municipio(s)
- ❖ Datos Geográficos del/ los Municipios (altitud, latitud, entre otras)
- ❖ Mapa Geográfico de la zona en cuestión

Asimismo, se debe incluir un plano base del área delimitada con sus principales características (límites políticos, relieve, topografía, hidrología, entre otros). De forma rápida y sencilla se deben observar los puntos siguientes puntos:

- a) Infraestructura para agua potable (acueductos, redes de distribución, entre otros)
- b) La(s) planta(s) de potabilización y/o desalinización existentes
- c) Área destinada para el proyecto (delimitar el terreno y la superficie)
- d) De ser posible en el mismo plano, se indicarán los puntos de entrega de agua potable, indicando la infraestructura adicional necesaria, de ser el caso.

2. *Clima*

Se debe mencionar el tipo de clima a la cual pertenece la región de estudio. Se sugiere el uso de alguna fuente disponible colocando la referencia correspondiente dentro del estudio. Se debe proporcionar información de los registros de temperatura y precipitación media anual de todas las estaciones meteorológicas. En base a los registros históricos disponibles, se deben mencionar de forma general los datos promedio de las principales componentes climatológicas, como son: precipitación pluvial, insolación, temperatura, vientos e intemperismos severos (huracanes, incendios, inundaciones, entre otros).

3. *Hidrología y Oceanografía*

En caso de identificarse, se deben presentar las condiciones que presenta el recurso hídrico superficial o subterráneo, para lo cual se debe incluir una descripción de la hidrología del área en estudio, identificando la región hidrológica, las cuencas y sus respectivas corrientes y caudales por medio de estaciones hidrométricas, así como los volúmenes anuales de escurrimiento, medios, mínimos y máximos y la disponibilidad media anual de la fuente; de



existir información, también se deben incluir características de calidad del agua de las posibles fuentes de abastecimiento.

Si el área cuenta con agua subterránea se debe realizar una descripción de los recursos y aprovechamientos de ésta, indicando sus características principales como son: recarga, balance, disponibilidad, caudales de extracción de los diferentes usuarios, calidad y usos. Además se deben especificar las zonas de veda, se recomienda consultar la información publicada por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), INEGI y CONAGUA, entre otros. (www.semarnat.gob.mx, www.inegi.org.mx, www.conagua.gob.mx).

En el caso de que la fuente sea agua salina, se puede hacer una recopilación de información de estudios oceanográficos. Estos datos pueden ser proporcionados por la Secretaría de Marina (SEMAR), (www.semar.gob.mx). El análisis y tratamiento de información debe considerar al menos los últimos 5 años, por lo que los datos obtenidos deben de tabularse y trazarse en las gráficas respectivas para cada concepto. En caso de no haber identificado esta información, especificarlo y mencionar las fuentes de información consultadas.

4. *Topografía*

En caso de existir, se debe proporcionar la información topográfica y cartográfica disponible del área de estudio. Para todo esto se recomienda apoyarse en cartas del INEGI y estudios previos del área delimitada. En caso de no haber identificado esta información, especificarlo y mencionar las fuentes de información consultadas.

5. *Geología*

Se debe proporcionar la información geológica general, elaborando el Marco Geológico de la zona de estudio donde se deben señalar las características del suelo y toda aquella información que sea de utilidad. Esta información podrá encontrarse en cartas geológicas del INEGI y estudios anteriores. Especificar además, si existen bancos de materiales, su ubicación y estado actual. Se debe mencionar la susceptibilidad de la zona: sismicidad, derrumbes, deslizamientos y otros movimientos de tierra o roca.

6. *Salud, higiene*

Se deben mencionar las enfermedades más comunes en el área de influencia del proyecto y si existe alguna relación con la carencia de agua potable en el municipio.



7. Características del entorno urbano

Se deben identificar las características urbanas de la localidad, el grado de desarrollo urbano alcanzado y densidad poblacional, entre otros.

8. Aspectos sociales

Dentro de los factores de carácter social se deben identificar los tipos de organización civil existentes en la población bajo análisis; los factores culturales involucrados tales como grado de educación, hábitos de higiene, uso eficiente del agua, entre otros. Entre los factores políticos se debe identificar los tiempos de cambios de poderes y las fuerzas políticas en el municipio, estado y a nivel federal. Por último, dentro de los factores normativos se deben considerar la existencia o no de leyes, normas, reglamentos que regulen la problemática que se pretende atender.

9. Características de las vías de comunicación en el área de influencia

Presentar información sobre la accesibilidad, existencia y condiciones de funcionalidad de los caminos. Información sobre vías de acceso, estado de las vías, sobre las vías al interior de la localidad, tipos de vías, entre otros.

10. Principales actividades económicas y niveles de ingreso de la población del área de influencia del proyecto

Mencionar los tipos de producción y las actividades económicas predominantes y en qué forma las desarrollan (individual, cooperativas, obreros agrícolas, entre otros). Asimismo, se debe mostrar información del ingreso promedio familiar de la población que se encuentra dentro del área de influencia del proyecto.

11. Descripción de la problemática

Se debe definir brevemente la problemática identificada, las causas que lo generan y a quienes afectan las deficiencias detectadas identificadas en la zona de influencia de la situación problema. Entre las posibles causas se podrán encontrar las siguientes:

- a) Infraestructura de distribución de agua potable insuficiente e ineficiente
- b) Volumen insuficiente
- c) Bajas eficiencias físicas y comerciales



d) Mala calidad del suministro actual

12. *Propósito del proyecto*

Se debe especificar el propósito del proyecto el cual debe reflejar el resultado inmediato o consecuencia directa que se espera lograr con la ejecución del proyecto.

4.4.2 **Identificación de alternativas**

Una vez identificada la problemática y logrando definir que el problema es la carencia de agua potable para la población, se deben proponer al menos dos alternativas encaminadas a darle solución a la problemática existente. La solución propuesta debe basarse en diferentes opciones.

1. *Tipo de proyecto*

En esta sección se debe especificar el tipo de proyecto que se propone, con base en el documento “Metodologías de evaluación socioeconómica para proyectos de agua potable, alcantarillado, saneamiento y protección a centros de población” emitida por la CONAGUA (3), se muestra en la Figura 4.3.

2. *Fuentes de abastecimiento actuales*

Se debe recopilar información básica de la infraestructura hidráulica relacionada al proyecto de agua potable, localizada dentro del área de estudio. Asimismo, se deben determinar las fuentes de abastecimiento, cobertura del servicio, consumo promedio, agua no contabilizada, dotación, eficiencias, áreas que faltan por cubrir, etapas de proyectos de ampliación y rehabilitación del servicio de la población que se pretende beneficiar con el proyecto. Se debe mencionar todas aquellas variables que afecten la construcción y operación de la planta, como podría ser el caso de infraestructura existente o de proyectos en desarrollo que podrán verse afectados por la realización del proyecto. La construcción y operación del proyecto pueden ocasionar variaciones en la infraestructura existente o en su operación.

3. *Estudio de mercado*

En este apartado se debe obtener la información necesaria que será la base para justificar la implementación del proyecto. Los aspectos que principalmente deben estudiarse a profundidad se indican a continuación:



❖ Estimación de la demanda de agua potable

Para el cálculo de la demanda de agua potable se considerarán los usos doméstico, industrial, comercial y de gobierno (Ver Figura 4.4) y se asociarán a las proyecciones de la población, a la evolución de los consumos (con base en los histogramas y la facturación que cuente con micromedición) y el agua no contabilizada, basados preferentemente en los Planes y Programas del Organismo Operador de la localidad.

Los consumos se obtendrán con base en los histogramas y la facturación que cuente con micromedición y facturación, de preferencia de un mismo año, de los registros del Organismo Operador. Para la proyección se considera el consumo que tendrá la población al horizonte del proyecto por tipo de usuario. La demanda debe calcularse considerando una proyección de 20 a 30 años a partir del inicio estimado de operación del proyecto, partiendo de la metodología siguiente:

- a) Calcular la población, cubriendo el horizonte del proyecto con base en los datos proporcionados por el CONAPO o por el Organismo Operador.
- b) Identificar la cobertura de agua potable, expresada en porcentaje.
- c) Calcular la población cubierta; resultado de multiplicar la población por la cobertura de agua potable para cada año, es decir:

$$Poblacion_{Cubierta} = Población \times \frac{Cob.}{100}$$

- d) Identificar las tomas para cada uno de los sectores productivos de la población (Doméstico, Comercial, Industrial y Gobierno). Fuente: Organismo Operador o INEGI. Captación, tratamiento y suministro de agua: Destino del agua de los Organismos Operadores de agua 2003 (nivel estatal)

El cálculo de las tomas para cada año subsecuente al de inicio se estima a partir de la tasa de crecimiento: Fuente: CONAPO. *Información y servicio. Indicadores: Proyecciones de la población de México 2005-2050. Nacional.*

$$Toma_i = Toma_{i-1}(1 + tasa\ de\ crecimiento_i)$$

Siendo i: el año para el cual se realiza la estimación.



- e) Identificar la demanda actual y calcular el consumo de agua para cada uno de los sectores productivos de la población (Doméstico, Comercial, Industrial y Gobierno), expresar la demanda en m³/s y el consumo en m³/toma/mes. Fuente: Organismo Operador o INEGI Información estadística: Volumen del agua facturada por tipo de toma de los organismos operadores de agua, según entidad federativa 2003.

Los datos estadísticos disponibles en INEGI corresponden al 2003, por lo que se estima el consumo a partir de la demanda y tomas por sector productivo para el año actual. Posteriormente, para los años consecutivos el cálculo que procede es el siguiente:

$$Demanda_i = Consumo_{2003} \times Toma_i$$

$$Consumo_i = \frac{Demanda_i}{Toma_i}$$

Siendo *i* el año para el cual se realiza la estimación.

- f) Calcular el consumo del sistema en m³/s, sumando cada una de las contribuciones por rubro de demanda para cada año.

La información recabada se debe presentar en la Tabla 4.3, donde se presenta la demanda de agua potable a lo largo del horizonte de evaluación del proyecto.

❖ Estimación de la oferta de agua potable

Para la estimación de la oferta, se debe determinar la situación actual y futura de todas las posibles fuentes de abastecimiento, para definir cuál sería el gasto viable de proyección de acuerdo a las condiciones hidrológicas y de explotación, y así poder tener un escenario realista de la oferta de agua potable.

Es necesario determinar y analizar las variables que afectan la oferta del bien y su proyección, como sequías, lluvias intensas, fenómenos meteorológicos extremos, contaminación, abatimientos, urbanización de los terrenos y toda información que permita realizar un pronóstico de su comportamiento. Se deben sustentar y justificar las condiciones descritas para determinar si las condiciones bajo las cuales se realizó el estudio fueron las ideales, y por lo tanto los datos sean válidos.

Finalmente, si se trata de aguas superficiales y subterráneas, la proyección debe comprender un análisis histórico de al menos los últimos cinco años de los caudales o volúmenes disponibles, de tal forma que los volúmenes de extracción no alteren de forma permanente los cuerpos de agua. Con la información recabada, se debe llenar la Tabla 4.4.

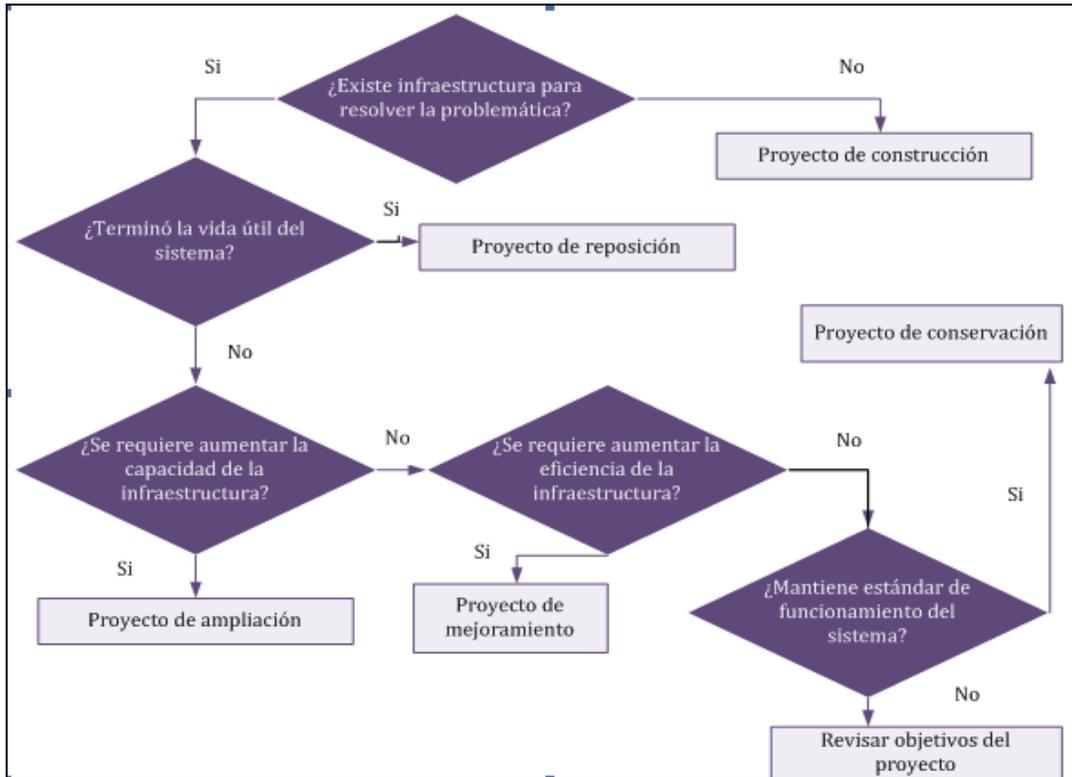


Figura 4.3 Esquema de selección de tipología de proyecto (3)

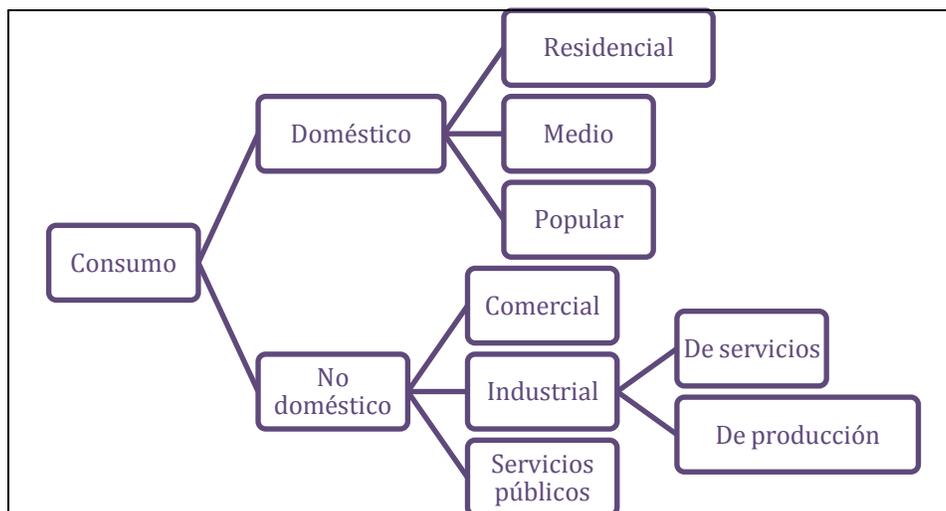


Figura 4.4 Clasificación del consumo del agua por tipo de usuario (50)



Tabla 4.3 Datos requeridos para estimar la demanda total de agua potable, en base a los consumos por tipo de usuario y a las pérdidas del sistema (3)

AÑO	Población CONAPO	Cobertura	Población cubierta	Tomas domésticas	Consumo doméstico	Demanda doméstica	Tomas comerciales	Consumo comercial	Demanda comercial
-	(Hab)	%	(Hab)	(tomas)	m ³ /toma/mes	m ³ /s	(tomas)	m ³ /toma/mes	m ³ /s
AÑO	Tomas industriales	Consumo industrial	Demanda industrial	Tomas gobierno	Consumo gobierno	Demanda gobierno	Consumo del sistema	Pérdidas del sistema	Demanda total
-	(tomas)	m ³ /toma/mes	m ³ /s	(tomas)	m ³ /toma/mes	m ³ /s	m ³ /s	%	m ³ /s

Tabla 4.4 Proyección de la oferta en un proyecto de agua potable (3)

Año	Oferta (L/s)				
	Batería de pozo 1	Batería de pozo 2	Batería de pozo 3	Fuente superficial o de Mar	Total
2007					
.....					
n					

❖ Déficit de agua potable al horizonte del proyecto

Una vez que se cuente con las proyecciones de la oferta y la demanda, se debe realizar la comparación entre ambas para determinar el déficit y necesidades de la población, teniendo siempre en cuenta las fuentes oficiales de información, para lo cual se debe utilizar la Tabla 4.5. El déficit se calcula restando la oferta total para cada año, menos la demanda total para cada año, de acuerdo con la siguiente fórmula:



$$\text{Déficit} = \text{Oferta total}_i (m^3/s) - \text{Demanda total}_i (m^3/s)$$

Siendo i el año para el cual se realiza la estimación.

Con la información obtenida de oferta y demanda se debe realizar la proyección del déficit al horizonte de proyecto, como se muestra en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5 Proyección de la oferta-demanda de Agua Potable(3)

Año	Consumo del sistema	Pérdidas del sistema	Demanda Total	Oferta Total	Déficit
	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]
2010					
2011					
.....					
n					

4.4.3 Evaluación de alternativas

❖ **Análisis técnico**

Dentro de este apartado se deben describir los aspectos técnicos de las alternativas viables que desea evaluar.

1. *Capacidad instalada*

En este apartado se debe presentar la capacidad de operación y capacidad máxima del tren de tratamiento. La capacidad total de la planta potabilizadora o desalinizadora de agua se debe expresar en litros por segundo (L/s) o metros cúbicos por segundo (m³/s), de acuerdo con la magnitud del proyecto, sin utilizar números fraccionarios (preferentemente redondeados).

Una vez calculada la capacidad de la planta y conociendo las proyecciones de la demanda de agua potable de la población de la zona de estudio, se podrá realizar la modulación de la misma. Para ello debe considerarse una primera etapa de modulación suficiente para los primeros 10 años de operación de la planta. Cuando el caudal que entre al primer módulo y



el caudal final al horizonte de evaluación no tengan diferencias significativas, no se requerirá el realizar una modulación de la planta.

En el caso de que se realice la modulación, se debe realizar un análisis detallado de la misma, ya que al no construirse los siguientes módulos en el tiempo indicado, se podría afectar el abastecimiento de agua potable para la población, dado que con el aumento de la demanda en el tiempo, se carecería de agua para consumo humano al rebasarse la capacidad de diseño del módulo existente.

2. Vida útil del activo

De cada alternativa viable, se debe indicar el periodo de operación de la planta potabilizadora o desalinizadora de agua conforme a la tecnología seleccionada así como del equipamiento propuesto.

3. Disponibilidad de insumos

Este punto debe identificar la disponibilidad de los insumos principales en el proyecto y los inconvenientes que representa el no tenerlos en la zona de ejecución del mismo. La existencia o no de los insumos debe conducir por sí mismo a la aceptación o rechazo de la alternativa. Como ejemplo:

- a) Facilidad de conseguir insumos requeridos para el óptimo funcionamiento de la planta potabilizadora o desalinizadora de agua, en términos de accesibilidad y disponibilidad. Así mismo se debe considerar la distancia a las fuentes de abastecimiento.
- b) Mano de obra calificada y no calificada requerida para la operación de la planta
- c) Se debe tomar en cuenta la inexistencia de caminos y/o comunicaciones

4. Tecnología

Se debe describir brevemente la tecnología que se utilizará en el proyecto. Asimismo, se debe considerar la disponibilidad de la tecnología requerida, en territorio nacional y la accesibilidad de tecnología importada.

5. Eficiencia de remoción de contaminantes



Se debe indicar la eficiencia de remoción de contaminantes del tren de potabilización o desalinización para cada alternativa propuesta en términos de calidad del efluente en forma global.

6. Generación de residuos

Se debe especificar el volumen de residuos generados (lodos químicos o concentrado, según sea el caso), la calidad y la disposición de los mismos para cada tecnología seleccionada.

7. Ventajas de las tecnologías propuestas

En esta apartado se deben señalar las ventajas identificadas para cada una de las tres (como mínimo) tecnologías propuestas y su flexibilidad para mantener la eficiencia deseada.

8. Limitantes de las tecnologías propuestas

En esta apartado se deben señalar las limitantes identificadas para cada una de las tres (como mínimo) tecnologías propuestas y su flexibilidad para mantener la eficiencia deseada

❖ Evaluación ambiental

Se debe realizar el Informe Preventivo de Impacto Ambiental de las obras de la alternativa seleccionada para la potabilización o desalinización de agua, en el que se debe sustentar la presencia o no de impactos ambientales significativos en el ambiente, derivado de la ejecución del proyecto, así como de su operación. El Informe Preventivo de Impacto Ambiental se debe realizar conforme a las especificaciones, formatos, requerimientos y lineamientos establecidos por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Además, se deben recomendar las medidas de mitigación, reducción o compensación de los impactos al ambiente que originen las obras, precisando los conceptos para su implementación.

1. Caracterización y análisis de la calidad ambiental actual del sitio

Se debe realizar un diagnóstico biológico, social y económico del área destinada para la construcción de la planta de potabilización o desalinización, con la finalidad de identificar las características más significativas del sitio que podrían verse afectadas por la acción propuesta. Los aspectos que deben describirse son:



- a) *Diagnóstico biológico*: Será necesario identificar el tipo de vegetación terrestre en el área del proyecto y zona circundante indicando su distribución en ambas; valores de importancia de las especies; estado de conservación de la vegetación y riqueza florística (utilizando los índices de diversidad, por ejemplo el de Simpson y/o Shannon, entre otros); usos de la vegetación en la zona (especies de uso local y de importancia para etnias o grupos locales y especies de interés comercial). Señalar si existen especies vegetales bajo régimen de protección legal, de acuerdo con la normatividad ambiental y otros ordenamientos aplicables en el área de estudio.

En cuanto a fauna terrestre se describirán las especies existentes en el área de estudio, distribución, especies más representativas o aspectos de alguna particularidad (endemismos, perturbación, entre otros), especies de consumo humano y en peligro de extinción según la NOM-059-ECOL-1994.

- b) *Diagnóstico social*: Se debe identificar la distribución y ubicación de núcleos poblacionales cercanos al proyecto y de su área de influencia; número y densidad de habitantes por núcleo poblacional identificado; tasa de crecimiento poblacional; tipos de organizaciones sociales predominantes; características de morbilidad y mortalidad y sus posibles causas; índice de analfabetismo; presencia de grupos étnicos y religiosos además de la calidad de vida en la zona de estudio.
- c) *Diagnóstico económico*: Se debe especificar la región económica (según el INEGI) a la que pertenece el sitio para la realización del proyecto; el índice de pobreza (según el CONAPO); el producto interno bruto e incidencia del desarrollo de la región; las actividades productivas incluyendo el ingreso per cápita por rama de actividad productiva; la población económicamente activa y el índice de desempleo.

2. Vinculación con los ordenamientos jurídicos aplicables en materia ambiental y con la regulación de uso de suelo

En este apartado se debe establecer el cumplimiento del proyecto respecto de la legislación ambiental federal y local aplicable en materia de agua potable. Con respecto a las actividades de la acción propuesta se debe identificar cual es su incidencia en el ambiente, además se deben relacionar las normas oficiales mexicanas que le apliquen y sus límites



permisibles tanto para el agua potabilizada o desalinizada como para los lodos o concentrado y demás residuos generados durante la operación de la planta.

Será necesario relacionar las actividades de la acción propuesta, con los Planes y Programas de Desarrollo Federales y Locales, para identificar si se inserta en acciones de cumplimiento de éstos. Entre ellos se encuentran:

- ❖ Plan o programa parcial de desarrollo urbano estatal o de centro de población.
- ❖ Programas sectoriales.
- ❖ Programas de manejo de Áreas Naturales Protegidas.
- ❖ Programa de recuperación y restablecimiento de las zonas de restauración ecológica.
- ❖ Regiones Prioritarias para la Conservación de la Biodiversidad.
- ❖ Cumplimiento de las normas NOM-001-SEMARNAT-1996, NOM-003-SEMARNAT-1997 y NOM-004-SEMARNAT-2002.
- ❖ Decretos de Áreas Naturales Protegidas.

Los puntos anteriores podrán ser verificados en los archivos de los Organismos Operadores o del Municipio correspondiente. Además, se debe verificar que no se incurra en ninguna violación de lo estipulado en los siguientes documentos previo a iniciar el proyecto:

- ❖ Ley de aguas nacionales: Título cuarto. Derechos de explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales.
- ❖ Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA): Título Séptimo. Prevención y control de la contaminación de las aguas y responsabilidad por daño ambiental. Capítulo (Artículo 85). Art. 5, 28 y 31.
- ❖ Reglamento de aguas nacionales: Título cuarto. Derechos de uso o aprovechamiento de aguas nacionales. Artículos 28-53, Título séptimo. Prevención y contaminación de aguas. Artículo 134.
- ❖ Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las mismas Art. 20 y 22.
- ❖ NOM-059-SEMARNAT-2001 Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo.
- ❖ Uso de suelos para UIR, H417C o AG-MP-N.



3. *Evaluación de impactos ambientales*

Los impactos ambientales relacionados con la instalación de una planta potabilizadora de agua son principalmente:

- ❖ Los lodos generados durante la operación de la planta
- ❖ En el caso de que la fuente de abastecimiento sea un río o lago, el aprisionamiento y arrastre de la vida acuática asociado con el diseño de la obra de toma

Los impactos ambientales relacionados con la instalación de una planta desalinizadora de agua son principalmente:

- ❖ La alta concentración de sales en la descarga.
- ❖ El aprisionamiento y arrastre de la vida marina asociado con el diseño de la obra de toma, son difíciles de cuantificar y pueden representar el mayor impacto ambiental adverso respecto a la desalinización del agua.

Se deben evaluar las alteraciones ambientales favorables o desfavorables producidas por la implementación del proyecto. Para la evaluación se desarrollará una matriz indicando cuál será su incidencia y su grado de alteración. Considerando una serie de criterios de valoración y calificación se puede ponderar entre un escenario sin el proyecto (situación actual) y otro escenario con el proyecto. Teniendo esta evaluación se determinará qué factores ambientales son más susceptibles a afectarse y cuáles son las acciones del proyecto que causan ese impacto ambiental.

Se podrán utilizar los métodos más comunes para la evaluación de impactos ambientales, entre ellos se encuentra la Matriz de Leopold, Lista de Control (Check list), Métodos de superposición, Matriz de interacción causa y efecto, Método de Batelle-Columbus, Matriz de Cribado, Diagrama de Flujo, entre otros. El ejecutor del proyecto debe seleccionar aquella que considere, sea la mejor opción para realizar su evaluación.

Se muestra la metodología a seguir para la evaluación de impactos ambientales utilizando la Matriz de Leopold (Tabla 4.6). La Matriz de Leopold consiste en un cuadro de doble entrada cuyas columnas están encabezadas por una amplia relación de factores ambientales y cuyas entradas por filas están ocupadas por otra relación de acciones causa de impacto; ambas



listas de factores y acciones tienen carácter de listas de chequeo. En cada casillero, a su vez, se distingue entre magnitud e importancia del impacto, en la metodología original propuesta por Leopold considera para cada celda un número fraccionario en donde la magnitud es el numerador y la importancia el denominador.

En suma se trata de una matriz de relación causa-efecto que añade a su papel en la identificación de impactos la posibilidad de mostrar la estimación de su valor. La forma de utilizar la matriz de Leopold puede resumirse en los siguientes pasos:

- 1 Delimitar el área de influencia.
- 2 Determinar las acciones que ejercerá el proyecto sobre el área.
- 3 Determinar para cada acción, qué elemento(s) se afecta(n). Esto se logra mediante el rayado correspondiente a la cuadrícula de interacción.
- 4 Determinar la importancia de cada elemento en una escala de 1 a 10.
- 5 Determinar la magnitud de cada acción sobre cada elemento, en una escala de 1 a 10.
- 6 Determinar si la magnitud es positiva o negativa.
- 7 Determinar cuántas acciones del proyecto afectan al ambiente son afectados por el proyecto, desglosándolas en positivas y negativas.
- 8 Agregar los resultados para las acciones.
- 9 Determinar cuántos elementos del ambiente son afectados por el proyecto, desglosándolos en positivos y negativos.
- 10 Agregar los resultados para los elementos del ambiente.

La agregación de resultados se resume en los denominados “promedios aritméticos”, que resultan de dividir el numerador con el denominador (y así obtener un número decimal) y adicionarlos algebraicamente a lo largo de la fila o columna analizada. El promedio aritmético final es el resultado de dividir el número obtenido para el total de celdas de interacción (marcadas con la diagonal) en la respectiva fila o columna. (51)

Cada cuadrícula de interacción se dividirá en diagonal, haciendo constar en la parte superior la **intensidad del impacto** (esto es, el grado de destrucción), precedido del signo + ó -, según la **naturaleza** positiva (impacto benéfico) o negativa (impacto nocivo) del mismo, la



escala utilizada es de 1 a 4, la valoración más alta expresará una destrucción total o muy alta del factor en el área en la que se produce el efecto y el valor menor, una afectación mínima o baja correspondiendo los valores como a continuación se indica:

- (1) baja,
- (2) media,
- (3) alta, y
- (4) muy alta.

En el triángulo inferior se indicará el **alcance**, o extensión del impacto que estimará el área de influencia teórica del impacto en relación con el entorno del proyecto, se utilizará también una escala de 1 a 4, correspondiendo los valores de la siguiente manera: Si la acción produce un efecto muy localizado, se considerará que el impacto tiene un carácter puntual, si por el contrario, el efecto no admite una ubicación precisa dentro del entorno del proyecto, teniendo una influencia generalizada en todo él, el impacto será total, considerando las situaciones intermedias, según su gradación, como impacto parcial y extenso.

- (1) puntual,
- (2) parcial,
- (3) extenso, y
- (4) total

También en el triángulo inferior se indicará la **persistencia** del impacto, esto es la permanencia del efecto producido por éste en el medio ambiente, este parámetro se refiere al tiempo que, presumiblemente, permanecería el efecto desde su aparición y a partir del cual el factor afectado retornará a las condiciones iniciales previas a la acción por medios naturales, o mediante la introducción de medidas correctoras. En este caso se utilizarán letras, de acuerdo a:

- (I) instantánea, si dura menos de 1 año
- (T) temporal, si dura entre 1 y 10 años
- (P) permanente, si dura más de 10 años.



La matriz debe ir acompañada de un texto que explique los impactos identificados y la valoración realizada; en el que se hará una referencia a los más importantes, así como a las acciones y factores más relevantes.(52)

4. Propuesta de medidas de prevención, control y mitigación de los Impactos Ambientales

Una vez que se han identificado, analizado y cuantificado los impactos ambientales el ejecutor del proyecto dará a conocer las propuestas generales de las medidas y acciones a seguir por el organismo interesado, con la finalidad de prevenir, controlar, mitigar y compensar los impactos que la obra o actividad provocará durante la ejecución del proyecto y su operación. Las medidas propuestas de reducción, mitigación o compensación de impactos ambientales adversos están basadas en la experiencia del evaluador y la información consultada. Las medidas de compensación tienen por finalidad producir o generar un efecto positivo alternativo y equivalente a un efecto adverso identificado.

Se debe incluir un plan de ejecución para realizar las obras del proyecto, éste se sustentará en un diagrama lógico de secuencias e interacciones y se debe representar en un diagrama de barras, con los plazos de ejecución a realizar mensualmente en el caso de la planta potabilizadora o desalinizadora de agua.

Como parte del programa de ejecución se debe considerar el seguimiento del proyecto en la etapa de operación, es decir, recopilando información de montos anuales de gastos de operación y mantenimiento así como gastos asociados, costos y beneficios socioeconómicos del proyecto de inversión, costos y beneficios intangibles, indicadores de rentabilidad, entre otros. Lo anterior con el fin de:

- a. Verificar la correcta operación de la planta potabilizadora o desalinizadora de agua a partir de la conceptualización y planeación del proyecto.
- b. En caso de que se solicite la evaluación ex - post del proyecto la información se encuentre disponible.



Tabla 4.6 Matriz de Leopold para la calificación de los impactos ambientales (81)

Matriz de Leopold (Magnitud / Importancia)	COMPONENTES DEL AMBIENTE										E V A L U A C I O N		
	AIRE		AGUA		SUELO		VEGETACIÓN	FAUNA	MORFOLOGÍA Y PAISAJE	SOCIO-ECONÓMICO			
ACTIVIDADES DEL PROYECTO	Calidad del aire (Emisión de partículas)	Niveles de ruido	Disponibilidad del agua	Calidad del agua	Uso del suelo	Calidad del suelo	Especies vegetales existentes	Especies animales existentes	Modificaciones en el paisaje	Actividades comerciales y vivienda	Empleo	Infraestructura	Salud
PREPARACIÓN DEL SITIO													
Desmante y despalde													
Trazo y nivelación de áreas desmontadas													
Excavaciones, compactaciones y/o nivelaciones													
Traslado y uso de máquina y equipo													
Obras provisionales													
CONSTRUCCIÓN													
Actividades de excavación, relleno y compactación													
Uso de maquinaria pesada													
Obras de edificación													
Instalaciones hidráulicas, mecánicas y eléctricas													
OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO													
Tratamiento del agua cruda													
Mantenimiento de equipo y unidades de proceso													
EVALUACIÓN													



❖ **Evaluación financiera**

Al finalizar la selección de las alternativas probables, se debe realizar una evaluación financiera para determinar la viabilidad de cada una.

En este apartado se debe presentar el monto total de inversión y el costo de operación y mantenimiento para las alternativas seleccionadas. Los datos se presentan como se indica en la Tabla 4.7. En esta tabla se desglosa un estimado de los costos, como el título lo sugiere, para cada una de las alternativas propuestas. Además se tiene que incluir la vida útil estimada del proyecto (ya solicitada anteriormente en la Evaluación Técnica) y se identificarán las fuentes de recursos para la realización del proyecto.

Se debe incluir un desglose de los costos principales de inversión, de operación y mantenimiento de cada alternativa, para la debida justificación de los mismos, mostrando un listado con el estimado para los principales activos y pasivos y mostrando sus respectivas fuentes o referencias (cotizaciones).

Tomando como referencia los datos de la Tabla 4.7, se realizará una evaluación financiera seleccionando de esta manera, la(s) alternativa(s) viable(s):

1. Tomar en cuenta cada una de las alternativas consideradas dentro de cada solución definida.
2. Se determinarán sus ingresos y costos dentro del horizonte de evaluación del proyecto.
3. Utilizar el Costo Anual Equivalente (CAE) o el Valor Presente de Costos (VPC) (En el ANEXO 1 se muestra como obtener estos índices) para la evaluación tomando en consideración las siguientes circunstancias que se pueden presentar:
 - ❖ Si no hay ingresos, o son de difícil cuantificación se aplicará el CAE
 - ❖ Para proyectos de inversión que tengan la misma vida útil, debe calcularse el VPC
 - ❖ Para proyectos que tengan diferente vida útil debe considerarse el cálculo del CAE
4. Al finalizar la evaluación de las alternativas, se considerará la que presente el menor CAE o VPC como la alternativa viable para solucionar la problemática.

❖ **Determinación de la tarifa**

Para determinar la tarifa se debe tomar en cuenta: a) la recuperación de los costos de administración, operación y mantenimiento y b) lo anterior, más la recuperación de la inversión inicial, considerando los costos para cada una de las alternativas viables.

Tabla 4.7 Comparación de costos entre alternativas propuestas para proyectos de Agua Potable

Alternativa	Capacidad instalada (m ³ /s)	Breve descripción Técnica	Monto total de inversión (\$)	Costo de operación fijo (\$/m ³)	Costo de operación variable (\$/m ³)	Costo de mantenimiento (\$/año)	Vida útil	VPC (\$)	CAE (\$)
1									
2									
3									

❖ **Fuentes de financiamiento**

En función de la parte que es susceptible de ser financiada por alguna dependencia del gobierno (FNI, en particular para el PROMAGUA), se debe determinar la parte que le corresponderá aportar al inversionista privado. Además, se debe corroborar la capacidad de apalancamiento financiero del promotor del proyecto y con ello determinar las fuentes de origen y usos del proyecto.

4.4.4 Datos de la alternativa seleccionada

Después de seleccionar la mejor alternativa para el proyecto de agua potable se debe presentar la siguiente información de ésta:

1. Datos del área del proyecto



De acuerdo con la alternativa elegida, se debe especificar la localización del área seleccionada para el proyecto de agua potable, especificando los sitios y la superficie requerida para los componentes de este (acueducto o fuente de abastecimiento, obra de toma, instalación de la planta potabilizadora o desalinizadora, accesos y comunicaciones a la misma). Asimismo, se debe indicar si ya se cuenta con los derechos de vía correspondientes.

❖ Localización del área seleccionada

En un plano se debe señalar la infraestructura presente y el área para la implementación del proyecto de agua potable, el cual debe incluir la delimitación del terreno disponible, en los casos que apliquen, la obra de toma de la planta, área de disposición de residuos, especificando las colindancias y la superficie total asignada al proyecto.

En el plano quedarán asentados la ubicación geográfica y los límites correspondientes empleando coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator) o en su defecto se pueden especificar empleando el programa Google Earth. Asimismo, se deben señalar de manera breve las posibles afectaciones, indemnizaciones y reubicaciones a que se incurra (en caso de existir).

❖ Permisos

Es necesario que se especifique si ya se cuenta con los permisos, derechos de vía o terrenos adquiridos para la infraestructura de proyecto, o en su caso el estatus de los mismos.

4.4.5 Conclusiones del estudio

En esta sección se expone de forma clara los argumentos por los cuales el proyecto debe realizarse, para lo cual se deben exponer en forma concisa las principales conclusiones a las que se llega con el análisis realizado tanto del estudio de factibilidad técnica como del de tipo ambiental y financiero.

Deben señalarse las limitaciones o condicionantes con las que se elaboró o concluyó el estudio, ya sean de información, tiempo, particularidades del proyecto u organismo operador, razones institucionales, geográficas, físicas, entre otros. Así como las variables que presentaron mayor problema en su estimación. Es importante señalar que se debe buscar,



soportar o garantizar la realización de los supuestos considerados en el estudio, para que se cumpla con la rentabilidad esperada del proyecto.

Por último, se deben mencionar todas aquellas variables que afecten la construcción y operación de la planta, como podría ser el caso de infraestructura existente o de proyectos en desarrollo que podrán verse afectados por la realización del proyecto.

4.4.6 Plan de ejecución

Se debe incluir un plan de ejecución para realizar las obras del proyecto, éste se sustentará en un diagrama lógico de secuencias e interacciones y se representará en un diagrama de barras, con los plazos de ejecución a realizar mensualmente en el caso de la planta potabilizadora o desalinizadora de agua.

Como parte del programa de ejecución, se debe considerar el seguimiento del proyecto en la etapa de operación, es decir, recopilando información de montos anuales de gastos de operación y mantenimiento así como gastos asociados, costos y beneficios socioeconómicos del proyecto de inversión, costos y beneficios intangibles, indicadores de rentabilidad, entre otros. Lo anterior con el fin de: a) verificar la correcta operación de la planta a partir de la conceptualización y planeación del proyecto; y b) en caso de que se solicite la evaluación ex – post del proyecto, la información se encuentre disponible.

4.5 Aplicación a un caso práctico

El ejemplo que se presentara en esta sección corresponde al proyecto “AMPLIACIÓN DE LA PLANTA DESALADORA DE LOS CABOS, BAJA CALIFORNIA SUR, MEXICO”. (51)

4.5.1 Identificación de la idea (problemática)

En este apartado se presentan las condiciones actuales en el sistema de distribución de agua potable de Los Cabos, se identifican las principales características de su zona de influencia, así como las repercusiones que podrían generarse la zona, dada la no realización del proyecto, es decir que prevalezcan las condiciones actuales en el sistema hidráulico de Los Cabos.



La zona de influencia para la evaluación del proyecto de la ampliación de la planta desaladora de Los Cabos, objeto de análisis en el presente estudio, comprende la localidad de Cabo San Lucas y se considera que permanece con sus mismas fuentes de abastecimiento.

1. Delimitación geográfica del área de estudio

Este estado colinda al norte con Baja California y el Golfo de California; al este con el Golfo de California; al sur y oeste con el Océano Pacífico. La superficie total del estado es de 73,475 km² y representa el 3.8% de la superficie total del país. Según el INEGI, la población total del estado es de 512,170 habitantes. (INEGI, 2005).(53)

2. Clima

El clima en Los Cabos es generalmente seco y soleado todo el año. Se tiene una temperatura promedio de 27° centígrados y en el verano, de junio a septiembre, las temperaturas pueden alcanzar los 33°.(54)

3. Hidrología y Oceanografía

Los principales arroyos superficiales son San José y Santiago. Tienen su origen en la cordillera Sudbajacaliforniana y sólo en temporada de lluvias aportan volúmenes significativos, de los cuales la mayoría van a dar al mar.

La orografía presenta tres formas características de relieve que son: zonas accidentadas planas, las zonas semiplanas y las zonas planas. (55)

4. Topografía

En la parte sur, la zona presenta una serranía de origen volcánico, Sierra Gorda, con una elevación máxima de 2164 m y una altura promedio de 600 m y que incluye las llamadas Sierra de San Lorenzo y Sierra de La Laguna. Estas cadenas montañosas descienden abruptamente hacia el Pacífico y lentamente hacia el Golfo de California. (54)

5. Geología

Cabo San Lucas, BCS, México, se ubica en la ruta de las tormentas tropicales y huracanes, que se generan anualmente en el Océano Pacífico nororiental.

6. Salud, higiene

Existen clínicas del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) en las localidades de San José del Cabo y Cabo San Lucas. El Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los



Trabajadores del Estado (ISSSTE) no tiene obras de infraestructura en la región y, para brindar atención a sus derechohabientes, presta el servicio a través de puestos periféricos, que están ubicados en los centros de salud de la Secretaría de Salud. (55)

7. Características del entorno urbano

La población en el Municipio de Los Cabos tiene 47.6 habitantes por km², esto lo hace el Municipio más densamente poblado de todo el estado de Baja California Sur, siendo el promedio estatal de 7.0 habitantes por km². Sin embargo, con sus 164,162 cabeños, registrados en el Censo de Población y Vivienda 2005, del INEGI, es uno de los municipios con menor población de todo el país. (56)

8. Aspectos sociales

En esta región se prestan los servicios de energía eléctrica, drenaje, alumbrado público, red vial urbana, parques, jardines, mercados públicos, transportación, rastro, panteones, centro cultural, seguridad pública, tránsito, agua potable y alcantarillado. (55)

9. Características de las vías de comunicación en el área de influencia

Existe un aeropuerto internacional en San José del Cabo que comunica no únicamente al municipio, sino también al estado; en cuanto a la comunicación terrestre, el municipio es atravesado por la carretera transpeninsular La Paz-Cabo San Lucas y por la Pacífico-Cabo San Lucas.(55)

10. Principales actividades económicas y niveles de ingreso de la población del área de influencia del proyecto

Los cultivos tradicionales están representados por el maíz, frijol, tomate, chile, papa, hortalizas y sandía. (55)

La actividad del comercio en la subregión se encuentra concentrada en San José del Cabo y Cabo San Lucas, siendo los principales productos de venta: los artículos eléctricos, materiales para construcción, prendas de vestir y diversos objetos de artesanías típicas del municipio como atractivos para los turistas nacionales y extranjeros. (55)

11. Descripción de la problemática

El rápido desarrollo poblacional ha ocasionado que municipios de recién formación tengan que abastecer su consumo de agua mediante pipas, depositándola en tinacos, cisternas y/o botes que son expuestos a contaminación. En conclusión, la oferta actual de agua potable es insuficiente para abastecer a toda la población para sus necesidades básicas.



12. Propósito del proyecto

Los propósitos que se pretenden cumplir con la ejecución de este proyecto son:

- ❖ Aumentar la cobertura de los servicios de agua potable que contribuya a resolver los problemas de asignación y control del recurso (57)
- ❖ Mejorar la calidad de los servicios de agua potable suministrada a la población, a fin de coadyuvar al bienestar social y a la protección de la salud pública(57)

4.5.2 Identificación de alternativas

A pesar de estar rodeados por el mar, los habitantes de Baja California Sur son los mexicanos con menor disponibilidad de agua potable, sólo 900 metros cúbicos al año, cuando el promedio nacional es de 4 mil 200.

Según la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), el estado dispone de 440 millones de metros cúbicos de agua al año, y sus únicas fuentes de abastecimiento están en el subsuelo, en cuatro regiones hidrológicas y 39 cuencas. La escasez de agua y la sobreexplotación de los principales acuíferos de Baja California Sur se han agudizado por el aumento de la población. Sin embargo, ya no es posible perforar más pozos, por lo cual los nuevos complejos turísticos deberán usar pozos agrícolas o desalar agua de mar, proceso viable en una entidad que tiene casi la cuarta parte de los litorales del país.

En Los Cabos, funciona desde abril de 2007 la planta desaladora más grande de México, con capacidad de 200 litros por segundo para abastecer a 70 mil habitantes.(58)

Por todo lo anterior resulta indudable que la solución más viable, como alternativa que cubra favorablemente la demanda de servicios de agua potable en la zona de Cabo San Lucas es por mucho la ampliación de la planta Desaladora de agua de mar Los cabos. Dentro de esta alternativa de fuente de abastecimiento para la ciudad, se han planteado dos alternativas de para su distribución del agua en la ciudad.

- ❖ La primera consiste en la construcción de un tanque de regulación con capacidad de 10,000 m³ y la construcción de dos líneas a presión.
- ❖ La segunda alternativa, consiste en dos tranques de regulación, uno con capacidad de 10,000 m³ y otro de 5,000 m³ y una línea a presión.

1. Tipo de proyecto

De acuerdo a los Lineamientos para la elaboración y presentación de los análisis costo y beneficio de programas y proyectos de inversión, establecidos por la UI-SHCP, la ampliación de la Desaladora de Los Cabos corresponde a un Proyecto de Infraestructura Económica. Dicha clasificación se refiere a la construcción, adquisición y ampliación de activos fijos para la producción de bienes y servicios en los sectores de agua, comunicaciones y transportes, electricidad, hidrocarburos y turismo. (59)

2. Fuentes de abastecimiento actuales

El Ayuntamiento de Los Cabos a través del OOMSAPAS presta el servicio de agua potable a 54,944 usuarios, de los cuales 47,064 son usuarios domésticos, 3,154 comerciales, 689 Industriales y 4,037 Residenciales en el año 2008. La infraestructura de agua potable con la que se presta el servicio permite satisfacer la demanda de la población en el 93% del Municipio (60). La Tabla 4.8 muestra los servicios de agua potable y drenaje en la zona de estudio, según el INEGI. (56)

Tabla 4.8 Acceso a servicios en la Zona de Estudio al 2005 (56)

Comunidad	Viviendas				
	Habitadas	Con agua entubada	Sin agua entubada	Con drenaje	Sin drenaje
San José del Cabo	12,741	10,273	1,392	11,383	276
Cabo San Lucas	15,696	12,260	12,012	14,181	82

Fuente: Censo de Población y vivienda INEGI 2005

3. Estudio de mercado

❖ Estimación de la demanda de agua potable

La proyección de la demanda para Cabo San Lucas, se elaboró mediante las siguientes consideraciones:

❖ Las proyecciones de población de CONAPO 2005-2030³,

³ http://www.conapo.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=36&Itemid=234

- ❖ El análisis de la información proporcionada por parte del OOMSAPAS, como son los datos en la distribución de los consumos por tipo de usuario domésticos, comerciales, industriales y residenciales, y
- ❖ El porcentaje de pérdidas del 30%, mismas que se mantuvieron invariables a lo largo del periodo de evaluación.

- ❖ Estimación de la oferta de agua potable

Además de los pozos anteriores, existen otras fuentes de abastecimiento denominadas: pozo Las Huertas (actualmente sin servicio), pozo Las Ánimas, presa San Lázaro, pozo 4-CLS y Desaladora de Los Cabos; la aportación en conjunto de todas las fuentes de la zona de estudio es de 993 l/s. En la Tabla 4.9 se muestra el volumen ofertado de agua potable. (61)

Tabla 4.9 Volumen producido en las fuentes de abastecimiento (l/s) para cada localidad (61)

Fuente	San José del Cabo		Cabo San Lucas		
	2007	2008	2007	2008	Sin Proy
Acueducto I	75	62	189	197	197
Acueducto II	443	445		22	22
pozo huertas 3	7				
pozo las animas	6	6			
presa San Lázaro	48	51			
pozo 4 CSL			30	30	30
Desaladora			106	180	200
Total	578	563	325	429	449

Fuente: OOMSAPAS, junio de 2009.

- ❖ Déficit de agua potable al horizonte del proyecto

En la Tabla 4.10 y Figura 4.5 se presenta de manera conjunta la proyección de la Oferta y Demanda para Cabo San Lucas para todo el horizonte de evaluación partiendo del año 2009, en dicha tabla se destaca que para esta ciudad solo se consideran sus fuentes de abastecimiento de agua potable que en total suman 449 l/s, y que aportan los caudales siguientes: 197 l/s del Acueducto I, 22 l/s del Acueducto II, 30 l/s del pozo 4-CSL y 200 l/s de la Desaladora.

Tabla 4.10 Proyección de oferta y demanda de Cabo San Lucas(61)

Año	Población	Crecimiento CONAPO	Volumen prod (m ³)	Demanda (l/s)	Eficiencia	Consumo Doméstico (l/s)	Consumo Residencial (l/s)	Déficit (l/s)
2012	94,113	5.04%	449	497	70%	14	21	47
2013	98,637	4.81%	449	521		14	20	71
2014	103,170	4.60%	449	546		13	19	97
2015	107,714	4.41%	449	573		12	18	123
2016	112,267	4.23%	449	601		11	17	152
2017	116,826	4.06%	449	631		11	16	181
2018	121,382	3.90%	449	662		10	15	213
2019	125,936	3.75%	449	696		10	14	246
2020	130,488	3.61%	449	731		9	13	282
2021	135,031	3.49%	449	768		9	13	319
2022	139,561	3.35%	449	808		8	12	359
2023	144,074	3.23%	449	849		8	11	400
2024	148,559	3.12%	449	894		7	11	444
2025	153,013	3.00%	449	940		7	10	491
2026	157,439	2.89%	449	990		6	10	540
2027	161,823	2.79%	449	1042		6	9	593
2028	166,163	2.68%	449	1097		6	8	648
2029	170,454	2.58%	449	1156		5	8	706
2030	174,690	2.48%	449	1217		5	8	768

Elaboración Propia en base con base en información proporcionada por el OOMSAPAS.

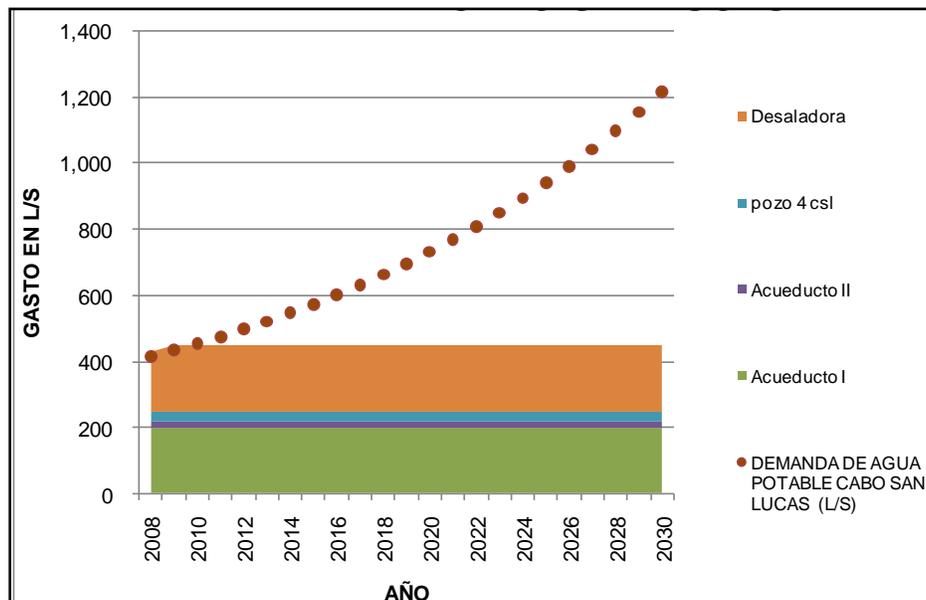


Figura 4.5 Proyección de la Oferta – Demanda de Cabo San Lucas, B.C.S (61)



4.5.3 Evaluación de alternativas

❖ **Análisis técnico**

Se presenta el análisis técnico para una sola alternativa a manera de ejemplo. Pero se debe realizar dicha evaluación para cada una de las alternativas de solución presentadas.

- a) Capacidad instalada.- La capacidad conjunta o capacidad total será de 400 l/s.
- b) Vida útil del activo.- La vida útil considerada para el proyecto de ampliación de la Desaladora de Agua de mar de Los Cabos, para efectos de esta evaluación es de 20 años.
- c) Disponibilidad de insumos.- La disponibilidad de insumos en este proyecto es factible, ya que anteriormente se construyó la planta desaladora de agua Los Cabos, es de conocimiento que no existe ningún inconveniente en cuanto a la dificultad para conseguir los insumos necesarios tanto para la construcción, como para la ejecución y operación óptima del proyecto. Asimismo, la fuente de abastecimiento no presenta ninguna dificultad o carencia en todo el horizonte de evaluación.
- d) Tecnología.- La tecnología que se utilizara será osmosis inversa para el tratamiento principal, para el pretratamiento se utilizarán diversos filtros de arena y posteriormente para el postratamiento se pretende acondicionar con hidróxido cálcico y dióxido de carbono para adaptar su calidad a la requerida por la “Modificación a 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”.
- e) Eficiencia de remoción de contaminantes.- La Tabla 4.11 presenta los porcentajes de remoción típicos para un proceso OI.

Tabla 4.11 Eficiencia de remoción de un proceso OI

Contaminante regulado	Desalinización por OI (%)
Inorgánicos	90–99 ^a
Pesticidas y compuestos sintéticos volátiles	90-99
Compuestos orgánicos volátiles	5-50 ^{b,c}
Organo clorados	5-50 ^c
Microbiológicos	>99



Contaminante regulado	Desalinización por OI (%)
Radiológicos	90-99

^a Las membranas de OI para agua de mar pueden rechazar >99% de sales tales como NaCl.

^b Es posible una remoción completa con un apropiado pre y postratamiento.

^c La remoción se basa en el tipo de membrana seleccionada.

- f) Generación de residuos.- El principal residuo de la OI es la salmuera, el cual para plantas que emplean procesos de desalinización por membranas como lo es OI representa de 2.5 a 3 veces el volumen de agua desalada. Los residuos generados en esta unidad son acumulados junto con los del pretratamiento y el postratamiento para ser tratados con una de las alternativas de disposición del concentrado.
- g) Ventajas de las tecnologías propuestas.-
- ❖ Pueden manejar un amplio intervalo de flujos, desde muy pocos litros por día para agua salobre y grandes valores (>38 000 m³/d) para agua de mar.
 - ❖ La capacidad de los sistemas se puede incrementar con la adquisición y acoplamiento de módulos extras. Tienen un alto valor de relación espacio/capacidad de producción, variando desde 25 000 hasta 60 000 L/d/m².
 - ❖ Bajo consumo de energía.
 - ❖ Remueve otros contaminantes diferentes a las sales presentes en el agua.
 - ❖ Bajo consumo de productos químicos para propósitos de limpieza.
 - ❖ No requiere de un apagado completo de la planta cuando se programa el mantenimiento, gracias a su diseño modular.
 - ❖ Cortos tiempos de apagado y arranque de la unidad de desalinización.
- h) Limitantes de las tecnologías propuestas.- En la realidad, los procesos de OI no solamente se ven limitados por el incremento de la presión osmótica debida a la polarización de la membrana y a los incrementos de la concentración de sales a lo largo de la membrana, sino también por otros factores que reducen de una manera más importante el flujo volumétrico y el proceso de separación, es decir el rechazo de las sales.



❖ **Evaluación ambiental**

De acuerdo con los términos del contrato que se tiene considerado para la realización de la Ampliación de la Planta Desaladora de Agua Los Cabos, la responsabilidad de la Gestión Ambiental es del operador de dicha planta. La gran ventaja que se tiene, es que ya está construida y se encuentra en operación actualmente, por este motivo se considera conveniente la ejecución del proyecto.

Aunado a lo anterior se puede mencionar en pro de una factibilidad ambiental lo siguiente:

- a) El área del proyecto ya se encuentra impactada y cuenta con una manifestación de impacto ambiental con resultado positivo, para el primer módulo.
- b) No se considera que el proyecto afecte especies únicas o ecosistemas frágiles.
- c) La conducción no afecta vías de comunicación y en su mayoría se transita por caminos existentes.
- d) No se consideran riesgos ambientales graves en la operación de la infraestructura.
- e) Los efectos ambientales ocasionados por la construcción de la obra, se consideran mínimos.

Caracterización y análisis de la calidad ambiental actual del sitio

a) *Diagnóstico biológico:*

Flora.- Resulta muy variada la clasificación de los recursos naturales de origen vegetal; se relacionan directamente con la topografía, la composición del suelo, el régimen pluvial y las características climatológicas de tipo desértico. (55)

Fauna.- La fauna en el municipio de Los cabos es muy variada. En la fauna terrestre existen varias especies de animales, tales como: tejón, zorrillo pinto, zorrillo rayado, coyote, zorra gris, puma americano, gato montés, babisuri, venado bura o cola prieta, mapache, conejo, liebre común, murciélago, rata de campo, tuza, rata y ratón común. (55)

b) *Diagnóstico social:*

Grupos Étnicos.- De acuerdo al XII Censo General de Población y Vivienda 2000 efectuado por el INEGI, la población total de indígenas en el municipio asciende a 1,721 personas. Sus lenguas indígenas son el náhuatl y el mixteco.

Evolución Demográfica.- De acuerdo a los resultados que presenta el II Censo de Población y Vivienda del 2005, el municipio cuenta con un total de 164,162 habitantes. Los Cabos es el Municipio que tiene la tasa de crecimiento poblacional mas alta del Estado, ésta es de 8.22%. (55)

c) *Diagnóstico económico:*

Tabla 4.12 Producto interno bruto según gran división de actividad económica (miles de pesos) (82)

Actividad	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Sector primario	554,294	527,062	598,532	642,868	682,847	573,219
Participación en el PIB total	8.98	8.28	9.46	9.33	9.52	7.87
Agropecuario, silvicultura y pesca	554,294	527,062	598,532	642,868	682,847	573,219
Sector secundario	846,545	854,018	792,211	950,485	997,970	1,107,781
Participación en el PIB	13.71	13.42	12.53	13.80	13.92	15.21
Minería	204,090	202,929	204,675	237,118	199,983	230,982
Industria manufacturera	187,699	192,293	189,636	222,045	253,842	284,592
Construcción	289,667	284,923	216,822	279,477	324,317	369,270
Electricidad, gas y agua	165,089	173,873	181,078	211,845	219,828	222,937
Sector terciario	4,772,090	4,981,989	4,934,210	5,296,704	5,489,067	5,602,825
Participación en el PIB	77.31	78.30	78.01	76.87	76.56	76.92
Comercio, restaurantes y hoteles	1,312,959	1,403,850	1,278,051	1,394,432	1,402,941	1,364,300
Transporte, almacenamiento y comunicaciones	610,951	628,051	641,296	664,932	695,926	666,581
Servicios financieros, seguros y bienes inmuebles	1,569,072	1,660,771	1,733,842	1,814,408	1,885,956	2,002,247
Servicios comunales, sociales, y personales	1,361,781	,377,361	1,360,483	1,497,826	1,560,831	1,642,831
Servicios bancarios imputados	(82,637)	(88,044)	(79,462)	(74,894)	(56,587)	(73,134)
Total	6,172,965	6,,363,069	6,324,954	6,890,054	7,169,884	7,283,825

Fuente: INEGI, Anuario Estadístico del Estado de Baja California Sur en el año 2001.



5. Vinculación con los ordenamientos jurídicos aplicables en materia ambiental y con la regulación de uso de suelo (61)

El proyecto del primer Módulo se consideró ambientalmente factible de realizar y ya se cuenta con autorización por parte de la SEMARNAT.

Al ser dentro del mismo predio el segundo módulo, se considera que dicha autorización se pueda extender sin ningún problema a la ampliación de la planta Desaladora y por tanto considerarse ambientalmente factible.

6. Evaluación de impactos ambientales

Los impactos ambientales relacionados con la instalación de una planta desalinizadora de agua son principalmente:

- a) La alta concentración de sales en la descarga.
- b) El aprisionamiento y arrastre de la vida marina asociado con el diseño de la obra de toma, son difíciles de cuantificar y pueden representar el mayor impacto ambiental adverso respecto a la desalinización del agua.

Se evaluaron las alteraciones ambientales favorables o desfavorables producidas por la implementación del proyecto.

7. Propuesta de medidas de prevención, control y mitigación de los Impactos Ambientales (62)

El objetivo es proporcionar medidas de prevención, corrección y/o mitigación a los posibles impactos ambientales, que deberán ser implementadas por todo el personal, con el fin de controlar los impactos ambientales significativos que podrían presentarse.

Se pueden mencionar medidas generales del programa de prevención, corrección y mitigación ambiental, un programa y el procedimiento para el manejo de residuos sólidos, un programa de monitoreo ambiental durante la preparación del sitio, la construcción y operación de la planta, entre otros. (62)

De acuerdo a un análisis de costos las alternativas quedan de acuerdo como se muestran en la Tabla 4.13 y la Tabla 4.14 .(66)

Mediante el análisis de CAE, se obtuvieron los resultados presentados en la Tabla 4.15. (66)

Tabla 4.13 Costos de Inversión para la Alternativa 1

ALTERNATIVA 1 Concepto	Inversión en pesos 2009	
	sin IVA	con IVA

ALTERNATIVA 1 Concepto	Inversión en pesos 2009	
	sin IVA	con IVA
Planta(s) de bombeo	13,000,000	14,000,000
Acueductos a presión	30,000,000	33,000,000
Tanques de almacenamiento y regulación	17,000,000	19,000,000
Líneas gravedad	30,000,000	33,000,000
Total	90,000,000	99,000,000

Nota: El análisis de los costos se realizó mediante el Catalogo de Precios de la CONAGUA 2009.

Tabla 4.14 Costos de Inversión para la Alternativa 2

ALTERNATIVA 2 Concepto	Inversión en pesos 2009	
	sin IVA	con IVA
Planta(s) de bombeo	13,000,000	14,000,000
Acueducto a presión	16,000,000	18,000,000
Tanques de almacenamiento y regulación	30,000,000	34,000,000
Líneas gravedad	49,000,000	53,000,000
Total	108,000,000	119,000,000

Nota: El análisis de los costos se realizó mediante el Catalogo de Precios de la CONAGUA 2009.

Tabla 4.15 Comparativa de los Costos de Inversión

No.	Alternativa	Q max A.P. (m ³ /s)	Inversión Mill \$	Costo Inversión \$/m ³	Costo O&M \$/m ³	CAE
1	Un Tanque, 2 LAP. 2 LG	0.2	99	1.96	1.09	155
2	Dos tanques, 1 LAP y 2 LG	0.2	119	2.35	1.49	195

Concluyendo que la primera alternativa es la económicamente más baja.

8. Determinación de la tarifa



De acuerdo a los datos proporcionados por el Organismo Operador sobre costos de operación y producción, se obtuvieron los costos por metro cúbico de producción mes a mes del 2001 y parte del 2002.(61)

Tabla 4.16 Esquema tarifario

Mes	Año	\$/m ³	Promedio enero-sep
Enero	2001	3.99	4.09
Febrero	2001	4.24	
Marzo	2001	4.04	
Abril	2001	3.83	
Mayo	2001	3.94	
Junio	2001	4.25	
Julio	2001	4.26	
Agosto	2001	4.18	
Septiembre	2001	4.07	
Octubre	2001	7.09	
Noviembre	2001	6.13	
Diciembre	2001	9.22	
Enero	2002	3.99	4.43
Febrero	2002	5.10	
Marzo	2002	3.70	
Abril	2002	4.65	
Mayo	2002	4.08	
Junio	2002	3.86	
Julio	2002	5.06	
Agosto	2002	4.58	
Septiembre	2002	4.89	

9. Fuentes de financiamiento

Para la realización del proyecto, se ha planteado un esquema de inversión, mediante Recursos Federales vía Fondo Nacional de Infraestructura (FONADIN) de acuerdo a las reglas de operación del mismo, con una contraparte de participación privada.

4.5.4 Datos de la alternativa seleccionada

1. Datos del área del proyecto

Localización del área seleccionada.- El proyecto se localiza en la parte noroeste de Cabo San Lucas, sobre la costa del Océano Pacífico esta construida la captación, y sobre el cerro el pedregoso el tanque de regulación donde es el sitio de entrega.



Permisos.- No se cuentan con afectaciones a derechos en vías federales y se cuenta con las autorizaciones por parte del Municipio de Los Cabos, ya que las obras se realizarán dentro de la planta Desaladora existente y la regulación se construirá dentro de predios propios y conducción será paralela a la existente por tanto se llevará a cabo en los derechos de vía ya existentes.

4.5.5 Conclusiones del caso de estudio

Después de haber buscado más alternativas para aprovechar agua desde otros sitios, el resultado es que no hay disponibilidad de agua superficial o subterránea para incrementar la oferta en Cabo San Lucas; esto aunado al éxito obtenido con la primera etapa de la Desaladora, y no detectando la existencia de problemas para asegurar el caudal de suministro (agua de mar), la ampliación de 200 L/s en la Planta Desaladora ha demostrado ser una fuente de abastecimiento segura. Con ello el suministro estaría garantizado por la infraestructura actual hacia Cabo San Lucas hasta 400 L/s.

Todo lo anteriormente expuesto dentro de este estudio (evaluación técnica, ambiental y financiera), demuestra que el proyecto de ampliación en 200 L/s adicionales, es técnica, ambiental y financieramente factible.

4.5.6 Plan de ejecución

Con la ampliación de la Desaladora de agua de mar, el OOMSAPAS se ha propuesto alcanzar la cobertura del 95 % en agua potable y hacer más eficiente el suministro y la calidad del servicio garantizando la continuidad del mismo. Para ello se plantea un calendario de actividades, el cual tiene como fecha de inicio enero del año 2010 y de término diciembre de 2011. (61)



5 CONCLUSIONES

Actualmente nuestro país, no cuenta con una metodología a nivel perfil establecida, que permita seleccionar de entre varias alternativas de solución propuestas ante una problemática existente, la que sea viable tecnológicamente, y que además, represente el menor costo y minimice los impactos ambientales que pudiera sufrir el entorno.

Para asegurar el éxito de un proyecto de agua potable, no es suficiente una evaluación técnica, es necesario también tomar en cuenta los aspectos ambientales y financieros que se presentarán, ya que esto nos dará un panorama más amplio sobre los obstáculos que pueden presentarse durante su ejecución y sobre las consecuencias buenas o malas que, debido su implementación, se generarán en la población y en el medio ambiente.

En esta tesis, las conclusiones que se obtuvieron después de su realización, son las siguientes:

- a) Se propuso una estrategia para la evaluación de criterios técnicos, económicos y ambientales, la cual permite de forma rápida y sencilla elegir de entre varias alternativas tecnológicas a la mejor opción para potabilizar y/o desalinizar agua. Esta estrategia permitirá la correcta elaboración de un estudio a nivel perfil, el cual conjunte todos los aspectos técnicos, ambientales y financieros mínimos necesarios que debe contener un estudio completo y apropiado para este nivel.

- b) Se identificaron los aspectos técnicos mínimos necesarios para definir la tecnología mas apropiada para la potabilización y/o desalinización del agua. El análisis de estos aspectos nos permitió elegir de entre varias tecnologías, la que puede remover eficientemente todos los contaminantes necesarios y así, obtener agua con la calidad establecida para el consumo humano Los aspectos identificados son: el volumen de residuos generados (lodos químicos o concentrado, según sea el caso), la calidad y la disposición de los mismos; así como la facilidad o dificultad de conseguir los insumos requeridos en términos de accesibilidad y disponibilidad para el óptimo funcionamiento de la planta potabilizadora o desalinizadora de agua, la distancia a las fuentes de



abastecimiento, la mano de obra calificada y no calificada requerida para la operación de la planta y la existencia o inexistencia de caminos y/o comunicaciones.

La tecnología que resulte del análisis técnico debe ser capaz de tratar de acuerdo a las proyecciones de la demanda de agua potable durante todo el periodo de operación de la planta, un caudal suficiente para abastecer satisfactoriamente a toda la población de la zona de estudio.

Evaluando correctamente todos los aspectos técnicos presentados en la guía, y tomando en cuenta las ventajas y limitantes que presentan cada una de las tecnologías a evaluar para el indicado tratamiento del agua cruda, se hará la selección idónea que dará solución a la problemática identificada.

- c) Se identificaron los principales impactos ambientales coligados a la construcción y operación de una planta potabilizadora y/o desalinizadora de agua, para que con estos se pueda realizar un Informe Preventivo de Impacto Ambiental para la mitigación y control de los posibles efectos que se producirían al medio ambiente.

Este Informe Preventivo de Impacto Ambiental debe ser de las obras de la alternativa tecnológica seleccionada, en el que se sustentará la presencia o no de impactos ambientales significativos en el entorno, derivados de la construcción y operación de la planta potabilizadora y/o desalinizadora de agua. Las principales alteraciones ambientales favorables o desfavorables que se producirán y que deben evaluarse se verán reflejadas en el aire (la calidad con la emisión de contaminantes y niveles de ruido), el agua (disponibilidad y calidad con los lodos generados durante la operación de la planta o por una alta concentración de sales en la descarga), el suelo (su uso y calidad), en la vegetación y fauna existentes (especies vegetales y animales afectadas por el aprisionamiento y arrastre de la vida acuática y/o marina asociado con el diseño de la obra de toma), en la morfología y paisaje (modificaciones) y en diversos aspectos socioeconómicos (actividades comerciales, vivienda, empleo, infraestructura y salud).

Asimismo se debe verificar el cumplimiento de la legislación ambiental federal y local aplicable en materia de agua potable. Con respecto a las actividades de la acción



propuesta se debe reconocer cual es su incidencia en el ambiente, además se deben relacionar las normas oficiales mexicanas que le apliquen y sus límites permisibles tanto para el agua potabilizada o desalinizada como para los lodos o concentrado y demás residuos generados durante la operación de la planta.

Con toda esta información y después de haber evaluado adecuadamente todos los efectos tanto positivos como negativos que se producirán con la preparación del sitio, la construcción y operación de la planta, se podrá realizar un correcto y adecuado Informe Preventivo de Impacto Ambiental.

- d) Se propusieron los aspectos mínimos necesarios para evaluar financieramente las alternativas planteadas y de esta manera poder determinar la que represente el menor costo. Estos indicadores son el Costo Anual Equivalente (CAE) y/o el Valor Presente Neto (VPN), los cuales se utilizan estimando el monto total de inversión, el costo de operación fijo y variable y el costo de mantenimiento.
- e) Finalmente, se desarrolló una guía para evaluar la viabilidad técnica, económica y ambiental de proyectos para la potabilización y/o desalinización de agua, la cual indica y explica de una manera sencilla y clara paso a paso como se debe realizar adecuadamente un estudio para el nivel perfil, identificando la problemática, planteando diversas alternativas tecnológicas que podrán dar solución a dicha problemática y evaluándolas correctamente para así, poder seleccionar la que mejor cumpla y satisfaga las necesidades de la población.

De la guía de evaluación a nivel perfil propuesta en esta tesis, se obtuvo una herramienta útil que ayudará a identificar de varias alternativas de solución, propuestas a una problemática de agua potable, la que resulte mas conveniente técnica, ambiental y financieramente, sin necesidad de invertir una gran cantidad de recursos económicos y humanos para su elaboración.



6 ANEXO 1 CÁLCULO DE INDICADORES

❖ **Valor Presente de Costos (VPC) (87)**

Para proyectos de inversión que tengan la misma vida útil, debe calcularse el VPC; se debe elegir el que represente el menor costo de VPC. El VPC se calcula de la siguiente manera:

$$VPC = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{1 + r^t}$$

Donde:

C_t = Costos totales en el año t

r = Tasa social de descuento

t = Año calendario, en donde el año 0 será el del inicio de las erogaciones.

n = Número de años del horizonte de evaluación.

❖ **Costo Anual Equivalente (CAE)(87)**

Para realizar la evaluación preliminar debe considerarse el cálculo del CAE para proyectos que tengan diferente vida útil al igual que fijar el horizonte de planeación al mínimo común múltiplo de las vidas útiles de las alternativas analizadas, eligiendo la que represente el menos valor de CAE. Se calcula a través de la siguiente fórmula:

$$CAE = (VPC) \left[\frac{r(1+r)^m}{(1+r)^m - 1} \right]$$

Donde:

m = Número de años de vida útil del activo

VPC = Valor presente del costo total del proyecto (esto es, monto total de inversión, gastos de operación y mantenimiento y otros gastos asociados).



7 BIBLIOGRAFÍA

1. **Medina Castro, Héctor.** *Diseño de proyectos de Inversión con el enfoque de marco lógico.* San José, CR : IICA, 2009.
2. **Calderón H., Roitman B.** *Notas sobre Formulación de Proyectos, Cuadernos del ILPES, serie II, núm. 12.* Santiago de Chile : s.n., 1970.
3. **CONAGUA.** *Metodologías de evaluación socioeconómica para proyectos de agua potable, alcantarillado, saneamiento y protección a centros de población.* México : s.n., Septiembre, 2008. ISBN 978-968-817-.
4. **Gómez Galán Manuel, Cámara López Luis.** *Orientaciones para la aplicación del enfoque del marco lógico. Errores frecuentes y sugerencias para evitarlos.* Madrid : CIDEAL, 2003. ISBN: 84-87082-22-X.
5. **Córdoba Padilla, Marcial.** *Formulación y Evaluación de Proyectos.* Bogotá : Ecoe Ediciones, 2006.
6. **Marcial, Córdoba Padilla.** *Formulación y Evaluación de Proyectos.* Bogotá : ECOE EDICIONES, 2006.
7. **COMISIÓN EUROPEA.** Orientación sobre la metodología para realizar análisis costes-beneficios. *Documentos de trabajo metodológicos.* [En línea] Dirección General de Política Regional, Agosto de 2006.
http://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docoffic/2007/working/wd4_cost_es.pdf.
8. **Unión Europea, Dirección General de Política Regional.** *Guide to cost benefit analysis of investment projects.* Julio, 2008.
9. **UI-SHCP.** Lineamientos para la elaboración y presentación de los análisis costo y beneficio de los programas y proyectos de inversión. México : s.n., 2007.
10. **CEPEP.** *Metodología general para la evaluación de proyectos.* México : s.n., Noviembre 2008.
11. **BANOBRAS.** *Metodología para la preparación, evaluación y presentación de proyectos de agua potable.* México : s.n., Enero 2003.
12. **American Water Woks Association.** *Introduction to water treatment: principles and practices of water supply operations.* Denver : American Water Woks Association, 1984. 0-89867-18-9.
13. **The Guidelines for Drinking-water Quality Management for New Zealand.** [En línea] 2005.
[Citado el: 27 de Mayo de 2009.]
<http://www.moh.govt.nz/moh.nsf/0/5A25BF765B400911CC25708F0002B5A8/>.
14. **The Edwards aquifer website.** [En línea] Gregg Eckhardt. [Citado el: 28 de Mayo de 2009.]
<http://www.edwardsaquifer.net/asr.html>.



15. **Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental.** [En línea] [Citado el: 29 de Mayo de 2009.] <http://www.bvsde.paho.org/sde/ops-sde/bvsde.shtml>.
16. **San Miguel, Facundo y Galli, Oscar.** *CENADAC.* [En línea] 2007. [Citado el: 30 de Mayo de 2009.] http://www.sagpya.mecon.gov.ar/SAGPyA/pesca/acuicultura/01=Cultivos/03-Otros_Sistemas/_archivos/000003-Sistemas%20de%20recirculaci%C3%B3n%20y%20tratamiento%20de%20agua.pdf.
17. **Degrémont.** *Manual técnico del agua.* Bilbao, España : Artes gráficas Grijelmo S.A., 1979. 84-300-1651-1.
18. **New Zealand Ministry of Health.** [En línea] [Citado el: 04 de junio de 2009.] <http://www.moh.govt.nz/moh.nsf>.
19. **AWWA.** *Ozone in Water Treatment. Application and Engineering.* [aut. libro] David A. Reckhow y Deborah R. Brink Bruno Langlais. USA : Lewis Publishers, 1991.
20. **Spellman Frank, Drinan Joanne.** *The Handbook for Waterworks Operator Certification: Intermediate level.* USA : CRC Press, 2000. http://books.google.com.mx/books?id=cvihR4a9RCMC&dq=AWWA+Coagulation+Committee+Report:+Coagulation+as+an+Integrated+Wter+Treatment+Process%22&source=gbs_summary_s&cad=0.
21. **Kawamura, Susumu.** *Integrated Design and Operation of Water Treatment Facilities.* USA : John Wiley & Sons, Inc., 2000.
22. **WHO.** *Guidelines for Drinking-water Quality.* 3°. Ginebra : WHO, 2008. Vol. 1.
23. **Works Association American Water.** *Water treatment plant design, 3rd. Edition.* USA : McGraw-Hill, 1997.
24. **Romero, Jairo.** *Purificación del agua.* Colombia : Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2006.
25. **Crittenden, John . et.al.** *Water Treatment: Principles and Design.* New Jersey, EUA : John Wiley & Sons, 2005.
26. *Dissolved Air Flotation in Hot Water.* **Shannon, D.H. y Bursson, W.T.** Gran Bretaña : s.n., 1980, Water Research, Vol. 14, págs. 759-765.
27. **Farmerie, James.** *Dissolved Air Flotation as a cost effective alternative for potable water clarification.* [AWWA] Zelienople, Pennsylvania, EUA : Leopold Company, The F.B. Leopold Company, 2005. <http://www.fbleopold.com/library/pdf/DpwcPdf.pdf>.
28. **Elías, Jorge.** *Remoción de metabolitos decianobactrias presentes en agua natural mediante el acoplamiento del reeactivo de Fenton con el proceso de Flotación con Aire Disuelto”, Tesis de Maestría, IINGEN-UNAM.* México, D.F. : s.n., 2007.



29. *Comparison of Dissolved Air Flotation and Sedimentation in treatment of typical North of China source water.* **Shan-pei, Liu et.al.** China : Journal Process Engineer, 2007, Vol. 72.
30. **AWWA.** *Water Quality and Treatment, Handbook for Community Water Supplies.* [ed.] G. Ross y T. Zabel. 4a. EUA : McGraw Hill , 2004.
31. **Lenntech.** Fundamento del Intercambio Iónico. *Lenntech Water Treatment and Air Purification.* [En línea] 1998-2008. <http://www.lenntech.com/espanol/principio-del-intercambiador-ionico.htm#ixzz0HDS8sFcv&B>.
32. **International Development Research Centre.** [En línea] [Citado el: 08 de Junio de 2009.] http://www.idrc.ca/uploads/user-S/11437610781gr-02_2da-parte-4lodos_pag127-132.pdf.
33. **Rubens, Ramalho, et. al.** *Tratamiento de aguas residuales.* s.l. : Reverté, 1996. 8429179755.
34. **Saeed, M.O.** Effect of dechlorination point location and residual chlorine on the biofouling in a seawater reverse osmosis plant. *Desalination.* 2002.
35. **Fritzmann, C., Löwenberg, J.** *State of the art of reverse osmosis desalination.* *Desalination* . USA : s.n., 2007.
36. **Medina, S.J.** Desalación de aguas salobres y de mar. Ósmosis inversa. España : Mundi-Prensa, 1999.
37. **Hoyos, R.** Proceso de la filtración en América latina. <http://www.agualatinoamerica.com/docs/pdf/1-2-02hoyos.pdf>. [En línea] Sta-Rite de México, S.A. de C.V., 2003.
38. **Buros, O.** The ABC's of Desalting. [En línea] 2000. <http://www.idadesal.org/pdf/ABCs1.pdf>.
39. **Miller, J.** *Review of Water Resources and Desalination Technologies.* Albuquerque, Nuevo Mexico : Sandia National Laboratories, 2003.
40. *Reverse osmosis desalination: Water sources, technology, and today's challenges.* **Greenlea, L. et al.** 2009, water research, Vol. 43, págs. 2317-2348.
41. **United Nations.** *Water desalination technologies in the ESCW a member countries.* New York : Economic and social commission for western Asia, 2001. pág. 193.
42. **Metcalf.** *Ingeniería sanitaria. Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales.* segunda. s.l. : Mc Graw Hill, 1985.
43. *Limestone selection criteria for EDR water remineralization.* **Ruggieri, F.** 2008, *Desalination*, Vol. 227, págs. 314-326.
44. **Jang, W.** *Cascade air-stripping for removal of semi-volatile organic contaminants: feasibility study.* s.l. : AWWA Research Foundation and American Water Works Association.,, 1996.



45. **Mickley, M.** *Membrane concentrate disposal: practices and regulations* . Denver Colorado, USA : US Bureau of reclamation Desalination and Purification research Development Program, report No. 69, 2001.
46. **Ramos, G.** *Posibilidades de aplicación de la inyección mediante sondeos profundos a la gestión de salmuera de rechazo de plantas desaladoras en España. E.T.S.I. de minas de Madrid. . s.l. :* Tesis doctoral , 2003.
47. **Instituto Geológico y Minero de España (IGME).** *Una solución para la eliminación de salmuera: la inyección en sondeos profundos.* 2004.
48. **U.S. Bureau of Reclamation and Sandia National Laboratories.** *The desalination and water purification technology roadmap-A report of the executive committee. Bureau of Reclamation, Denver federal Center-Water Treatment Engineering & Res. Denver : s.n., 2003.*
49. **H., Calderon y B., Roitman.** *Notas sobre formulación de proyectos, Cuadernos del ILPES.* Santiago de Chile : Serie II, número 12, 1970.
50. Cartera de programas y proyectos de inversión. *Construcción del proyecto de abastecimiento de agua en bloque mediante desalación de agua de mar para la ciudad Ensenada, B.C.* [En línea] 2006. http://www.apartados.hacienda.gob.mx/sistema_cartera_inversion/index.html.
51. Cartera de Programas y Proyectos de inversión. *Proyecto de abastecimiento de agua en bloque mediante desalación de agua de mar para la ciudad de Cabo San Lucas, B.C.S.* [En línea] 2006. http://www.apartados.hacienda.gob.mx/sistema_cartera_inversion/index.html.
52. Cartera de Programas y proyectos de inversión. *Construcción del proyecto El Realito para abastecimiento de agua potable a la zona conurbada de San Luis Potosí, SLP.* [En línea] Julio de 2007. http://www.apartados.hacienda.gob.mx/sistema_cartera_inversion/index.html.
53. Cartera de programas y proyectos de Inversión. *Construcción del proyecto Arcediano para abastecimiento de agua potable a la zona metropolitana de Guadalajara, Jalisco .* [En línea] Noviembre de 2006. http://www.apartados.hacienda.gob.mx/sistema_cartera_inversion/index.html.
54. Cartera de programas y proyectos de inversión. *Construcción del Proyecto de Abastecimiento de agua potable Zapotillo para la ciudad de León, Gto.* [En línea] http://www.apartados.hacienda.gob.mx/sistema_cartera_inversion/index.html.
55. **CONAGUA.** *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Lineamientos técnicos para la elaboración de estudios y proyectos de agua potable y alcantarillado sanitario.* s.l. : CONAGUA, Diciembre 2007. <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/libros%20pdf%202007/Guía%20de%20Dise>



ño%20de%20Redes%20de%20Agua%20Potable%20con%20Uno%20o%20Varios%20Tanques
%20y%20Fuentes%20de%20Abastecimiento.pdf.

56. **Espinoza, Guillermo.** Fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental. *Banco Interamericano de Desarrollo / Centro de Estudios para el Desarrollo.* Chile : s.n., 2001.
57. **Leopold, L.** A procedure for evaluating environmental impact. [En línea] Geological Survey, 1971.
[http://eps.berkeley.edu/people/lunaleopold/\(118\)%20A%20Procedure%20for%20Evaluating%20Environmental%20Impact.pdf](http://eps.berkeley.edu/people/lunaleopold/(118)%20A%20Procedure%20for%20Evaluating%20Environmental%20Impact.pdf).
58. Aspectos geográficos de Baja California Sur. [En línea] [Citado el: 12 de Julio de 2010.]
http://mapserver.inegi.gov.mx/geografia/espanol/estados/bcs/ubic_geo.cfm?c=442&e=03&CFID=2451844&CFTOKEN=32429506.
59. [En línea] [Citado el: 26 de Junio de 2010.] <http://www.ejournal.unam.mx/atm/Vol03-3/ATM03304.pdf>.
60. Enciclopedia de los Municipios de México . *ESTADO DE BAJA CALIFORNIA SUR.* [En línea]
http://www.e-local.gob.mx/wb2/ELOCAL/EMM_bajasur.
61. **INEGI.** Instituto Nacional de Estadística y Geografía . [En línea]
<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/conteo2005/localidad/iter/default.asp?s=est&c=10395>.
62. **SHCP, Secretaría de Hacienda y Crédito Público.** Funciones de Desarrollo Social. *Agua Potable y Alcantarillado.* [En línea] 2005. [Citado el: 15 de Febrero de 2010.]
http://www.shcp.gob.mx/EGRESOS/contabilidad_gubernamental/cuenta_05/contenido/r0/r03d35.pdf.
63. **AGUA, Centro Virtual de Información del Agua.** [En línea] 30 de Marzo de 2010. [Citado el: 12 de Mayo de 2010.]
http://www.agua.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=11114;padece-bcs-la-mayor-falta-de-agua-potable-en-mexico&catid=61&Itemid=100010.
64. **SEMARNAT.** [En línea]
http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/estadisticas_2000/informe_2000/04_Agua/4.6_Calidad/index.shtml.
65. **OOMSAPAS.** El Organismo Operador Municipal del Sistema de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de La Paz. [En línea] <http://www.lapaz.gob.mx/sapa/>.
66. —. Organismo Operador Municipal de Sistema de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Los Cabos. *ESTUDIO COSTO-BENEFICIO SOCIAL DEL PROYECTO AMPLIACIÓN DE LA PLANTA DESALADORA DE LOS CABOS, BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO.*



67. **Walsh Perú S.A., Ingenieros y Científicos Consultores.** [En línea]

<http://intranet2.minem.gob.pe/web/archivos/dgae/publicaciones/resumen/calidda/7.pdf>.

68. **CONAPO.** Consejo Nacional de Población. [En línea]

http://www.conapo.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=36&Itemid=234.