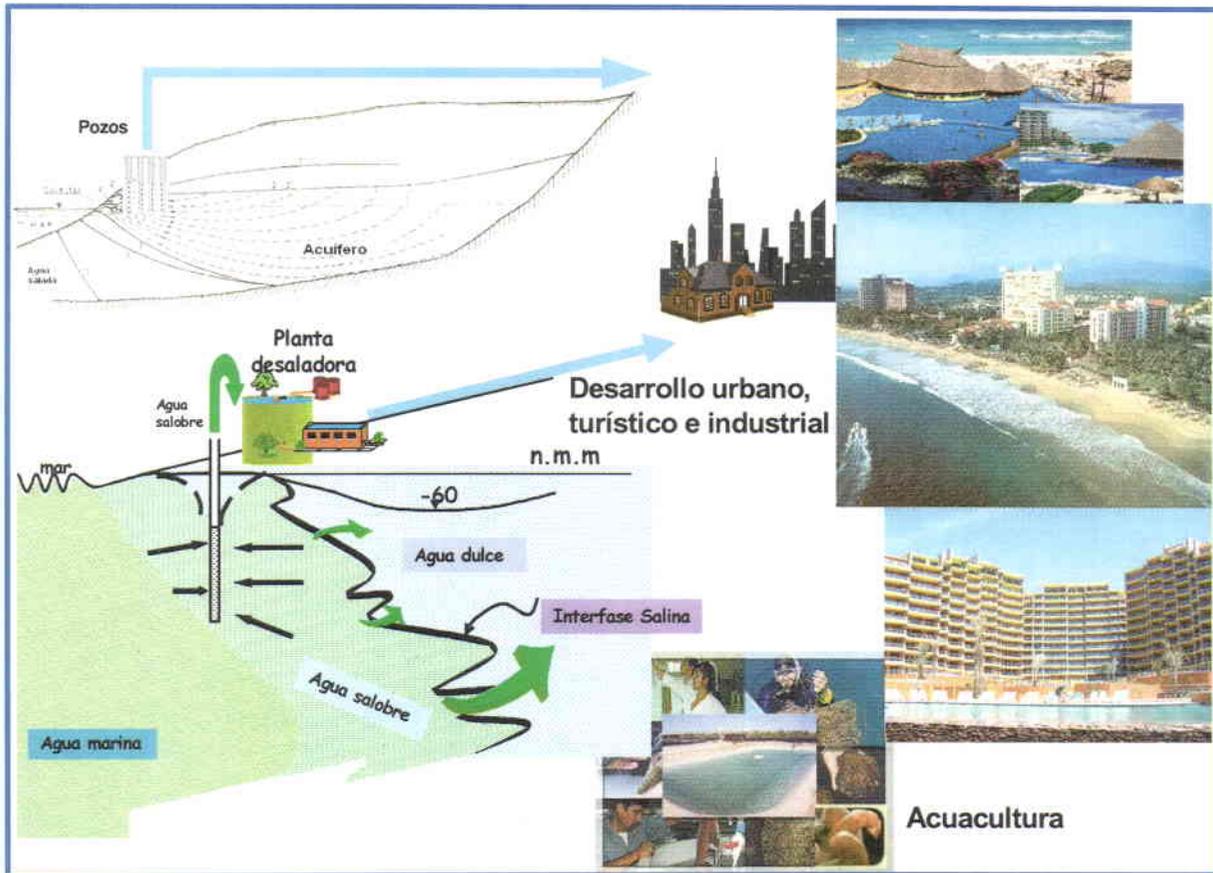




**CONAGUA**  
Comisión Nacional del Agua

**SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA**  
**GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**

**ESTUDIO TECNICO SOBRE LA EXTRACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS SALOBRES O SALADAS DE ACUÍFEROS COSTEROS.**



**JULIO/2006**

**ESTUDIO TECNICO SOBRE LA FACTIBILIDAD DE OTORGAR  
CONCESIONES PARA LA EXTRACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS  
SALOBRES O SALADAS DE ACUÍFEROS COSTEROS.**

**Í N D I C E**

<b>CONTENIDO</b>	<b>PÁG.</b>
<b>INTRODUCCION</b>	<b>1</b>
<b>LOS ACUIFEROS COSTEROS</b>	<b>1</b>
<b>La Intrusión Salina.</b>	<b>1</b>
<b>El Manejo Sostenible.</b>	<b>10</b>
<b>Los Métodos de Control de la Interfase.</b>	<b>10</b>
<b>FACTIBILIDAD TECNICA DE LA CAPTACION DE AGUA EN LA FAJA COSTERA.</b>	<b>15</b>
<b>Acuíferos Subexplotados.</b>	<b>15</b>
<b>Acuíferos Sobreexplotados</b>	<b>19</b>
<b>ASPECTOS LEGALES</b>	<b>21</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>29</b>

## **SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**

### **ESTUDIO TECNICO SOBRE LA FACTIBILIDAD DE OTORGAR CONCESIONES PARA LA EXTRACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS SALOBRES O SALADAS DE ACUÍFEROS COSTEROS.**

#### **INTRODUCCION**

El crecimiento de las demandas de agua para todos los usos y la disminución de la disponibilidad del recurso, imponen la urgente necesidad de aplicar acciones para preservar las fuentes actuales y para el desarrollo de nuevas fuentes. En las zonas costeras, el desarrollo de la tecnología de desalación y la gradual disminución de su costo, han incrementado la viabilidad de utilizar agua salobre o salada de una fuente prácticamente inagotable -el mar-, con lo cual se abren amplias perspectivas para impulsar el desarrollo de sectores de alta rentabilidad, como el turístico y la acuicultura, así como para complementar el abasto de agua de ciudades localizadas cerca de la costa (Figuras 1 y 2).

La captación directa del agua marina para su desalación presenta el inconveniente de que su alto contenido de sólidos en suspensión (arena, organismos, vegetación) y contaminantes biológicos, dificulta y encarece la operación de las plantas desaladoras; en cambio, la captación indirecta del agua, mediante pozos o galerías, presenta la ventaja de que el agua está casi libre de esos componentes y, en ocasiones, de que su salinidad puede ser menor que la del mar, cuando ésta se ha mezclado con el agua dulce del acuífero, lo cual puede reducir notablemente el costo de desalación. En ambos casos, se tiene que resolver la adecuada disposición de los lodos residuales de las plantas, para evitar impacto ambiental negativo en la faja costera (Figura 3).

Aparte de los aspectos técnicos, la captación indirecta de agua marina mediante captaciones subterráneas cercanas al litoral no está expresamente prevista en la Ley de Aguas Nacionales, por lo cual su aplicación en algunos casos enfrenta obstáculos legales y administrativos.

#### **LOS ACUIFEROS COSTEROS**

##### **La Intrusión Salina.**

En los acuíferos costeros hidráulicamente conectados con el mar, debido a su diferente densidad, el agua dulce del acuífero y el agua del mar están separadas por la llamada "interfase salina", cuyas oscilaciones -provocadas por las mareas y por el movimiento de la superficie freática- forman una zona de transición de salinidad intermedia. La posición aproximada de esa interfase está dada por la "Relación de Ghyben-Herzberg", según la cual por cada metro de carga hidráulica sobre el nivel del mar hay 35 ó 40

## **EL PROBLEMA:**

**Demanda de agua creciente vs disponibilidad decreciente o nula, especialmente crítico en las zonas de escasez natural y acuíferos sobreexplotados.**

## **NECESIDADES URGENTES:**

- Aplicar acciones para preservar las fuentes actuales.**
- Desarrollo de nuevas fuentes.**
- Incremento de la disponibilidad: reuso, recarga artificial, aprovechamiento de aguas salobres y saladas, en su caso, previa desalación.**

**En las zonas costeras, el desarrollo de la tecnología de desalación y la gradual disminución de su costo, han incrementado la viabilidad de utilizar agua salobre o salada, con lo cual se abren amplias perspectivas para impulsar el desarrollo de sectores de alta rentabilidad.**

**FIGURA 1**

# CAPTACIÓN DE AGUA SALOBRE/SALADA EN LOS ACUIFEROS COSTEROS

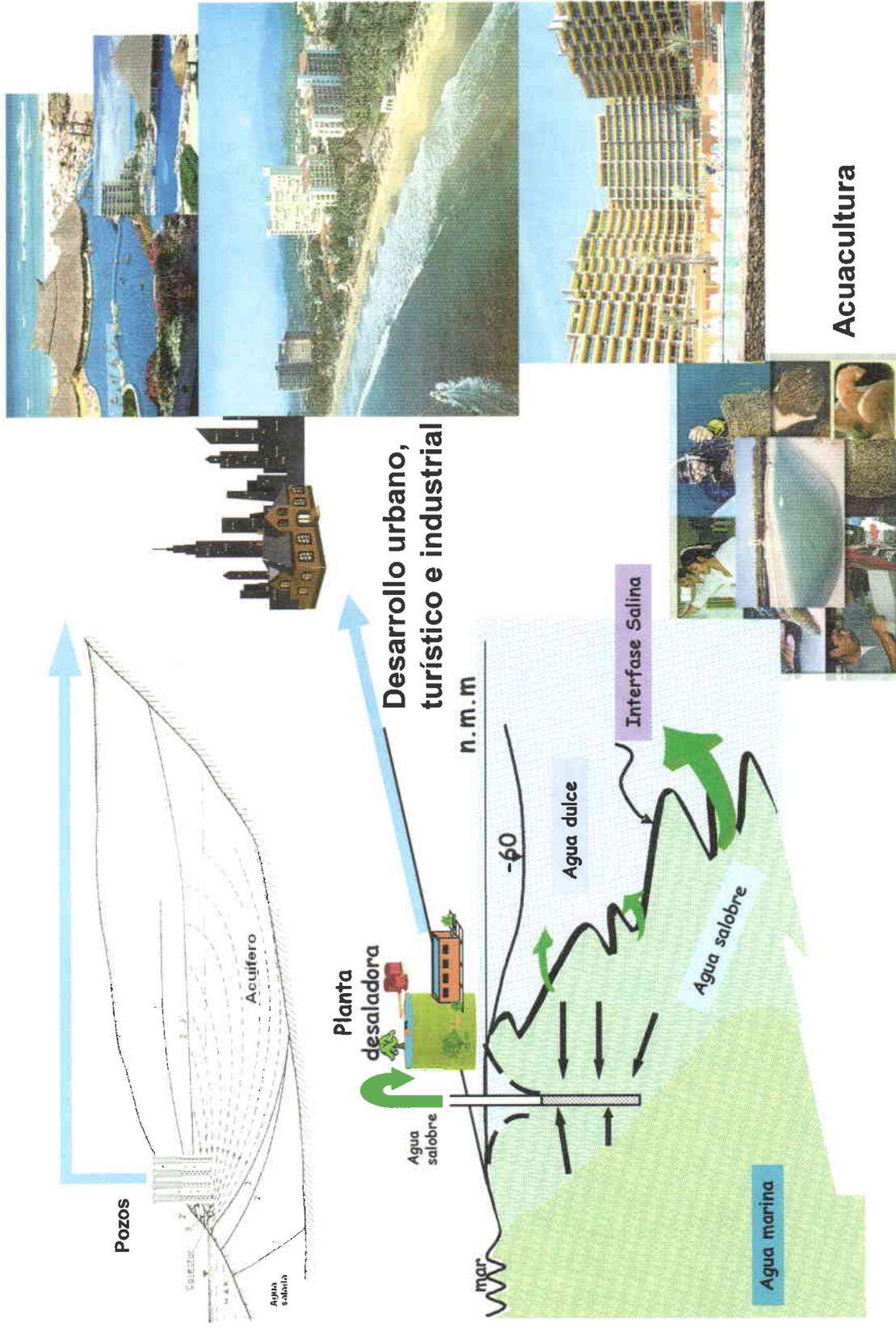


FIGURA 2

## **CAPTACION DE AGUA MARINA**

### **DIRECTA:**

Presenta el inconveniente de que su alto contenido de sólidos en suspensión (arena, organismos, vegetación) y contaminantes biológicos, dificulta y encarece la desalación.

### **INDIRECTA (SUBTERRANEA):**

Ofrece la ventaja de que el agua subterránea está libre de sólidos en suspensión y de que su salinidad puede ser menor que la del mar (cuando ésta se mezcla con el agua dulce), lo cual puede reducir notablemente el costo de desalación.

En ambos casos, se tiene que resolver la adecuada disposición de las aguas de rechazo de las plantas, para evitar impacto ambiental negativo en la faja costera.

**FIGURA 3**

metros de agua dulce abajo del mismo nivel; esta es una aproximación útil, como referencia, aunque el valor de esta relación puede variar dependiendo de las características del sistema de flujo de que se trate (Figura 4).

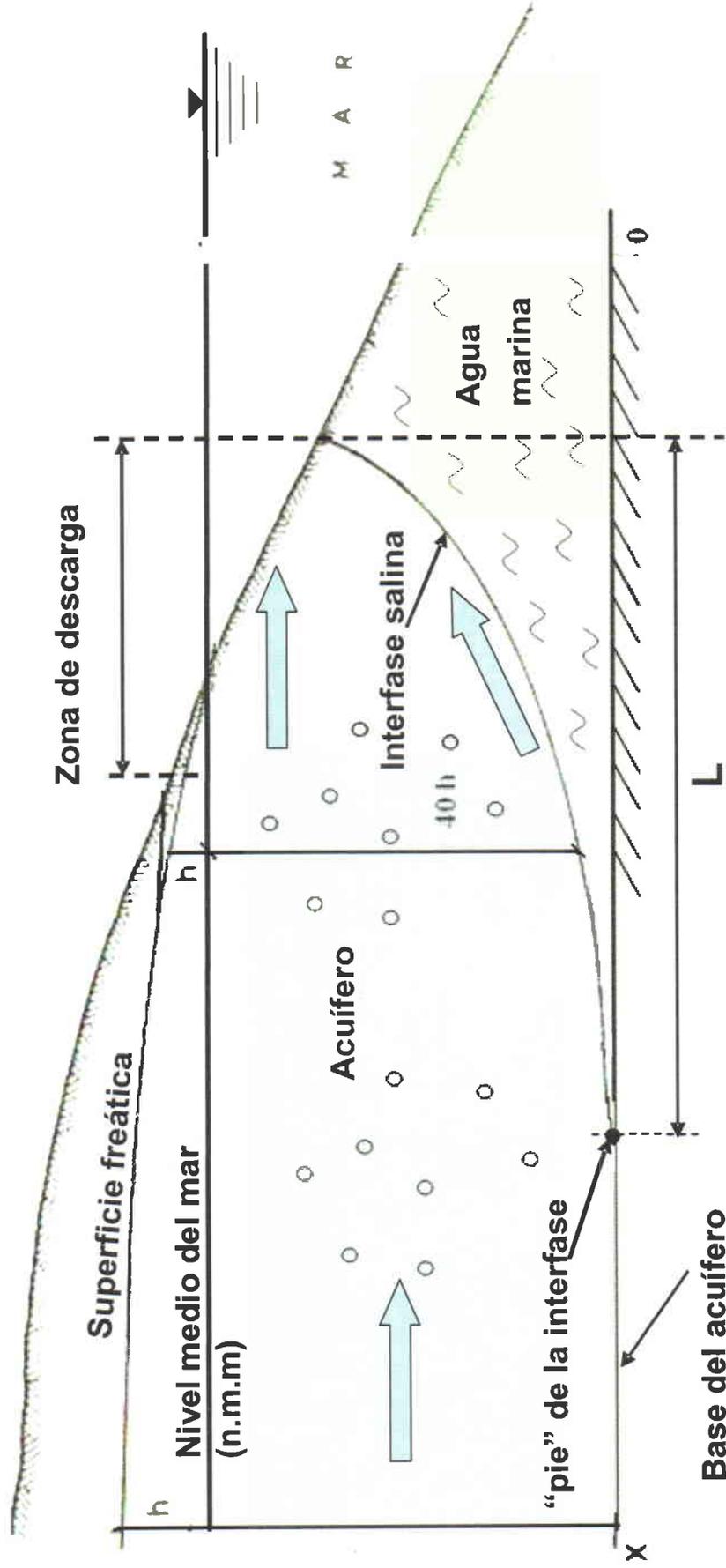
La cuña de agua marina que subyace al agua dulce se extiende tierra adentro hasta un punto denominado “pié de la interfase”, en que la interfase toca la base del acuífero. La distancia aproximada del litoral a ese punto es directamente proporcional al espesor del acuífero e inversamente proporcional al gradiente hidráulico; a su vez, este es directamente proporcional a la descarga del acuífero e inversamente proporcional a su transmisividad (Figura 4). Debido a estas relaciones, en el acuífero calizo de la Península de Yucatán, el gradiente es muy pequeño porque la transmisividad es muy alta; consecuentemente, el pié de la interfase se localiza a varias decenas de kilómetros tierra adentro, lo cual impone restricciones a la extracción de agua.

Cuando la extracción de agua subterránea reduce la carga hidráulica del acuífero, la interfase se mueve hacia una nueva posición de equilibrio en que se cumple nuevamente la relación mencionada, fenómeno que recibe el nombre de “intrusión salina”. Si el abatimiento es provocado por un pozo emplazado sobre la interfase, el agua salada asciende dentro del área de influencia del bombeo e ingresa al pozo cuando su sección de captación queda bajo la nueva posición de la interfase, lo cual implica un brusco incremento de la salinidad del agua captada. Esta intrusión vertical, que es relativamente local y hasta cierto punto reversible -porque la salinidad natural del agua se puede restablecer a corto o mediano plazo al suspenderse la operación del pozo-, puede inutilizar temporal o permanentemente a pozos que son diseñados y operados sin atender a este fenómeno (Figura 5).

Una condición mucho más perjudicial se origina cuando la extracción de agua subterránea provoca abatimientos que se propagan hasta el litoral y hace descender los niveles de agua bajo el nivel medio del mar. Como consecuencia, la interfase salina asciende y, al mismo tiempo, avanza tierra adentro hacia su nueva posición de equilibrio; el agua salada desplaza al agua dulce e invade gradualmente la porción del acuífero en que la elevación de los niveles es negativa. Como todos los acuíferos son heterogéneos en alguna medida, la intrusión progresa en un frente irregular, con rapidez proporcional a la permeabilidad y a la carga hidráulica de cada estrato (Figura 6).

Desde hace varias décadas, la intrusión salina está afectando a numerosos acuíferos costeros de nuestro país, ubicándose los más graves en su porción noroeste. Así, por ejemplo, en el caso del acuífero “Costa de Hermosillo”, los niveles del agua subterránea fueron abatidos unos 70-80 m en la porción central de la planicie costera en los últimos 50 años y están ahora a elevaciones de 50 a 60 m.b.n.m.; consecuentemente, el agua marina avanzó de 10 a 15 km tierra adentro, invadiendo porciones importantes de los acuíferos e inutilizando pozos y terrenos de cultivo (Figura 7).

# DESCARGA NATURAL DE UN ACUIFERO COSTERO AL MAR

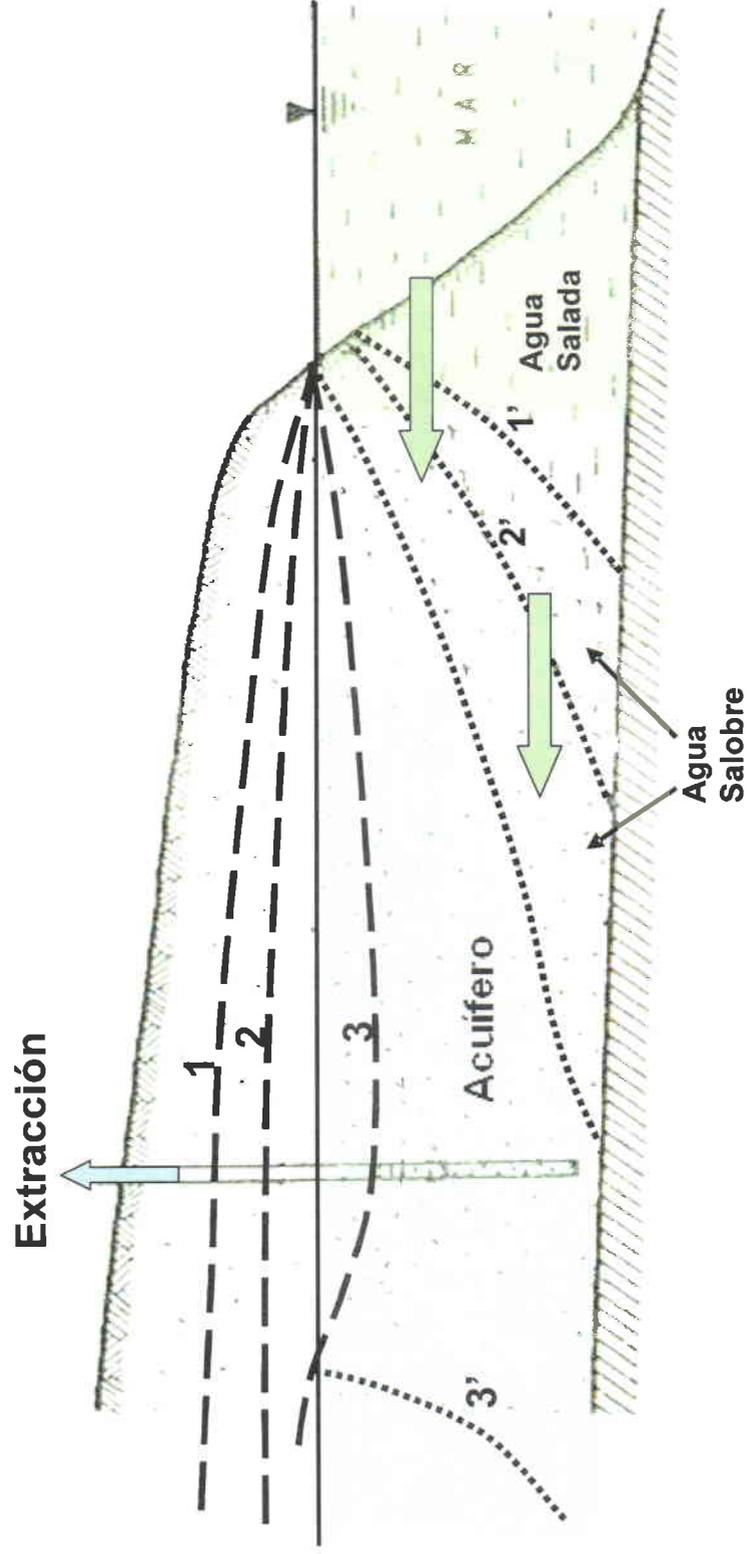


$L = f(b, \text{gradiente hidráulico})$

FIGURA 4



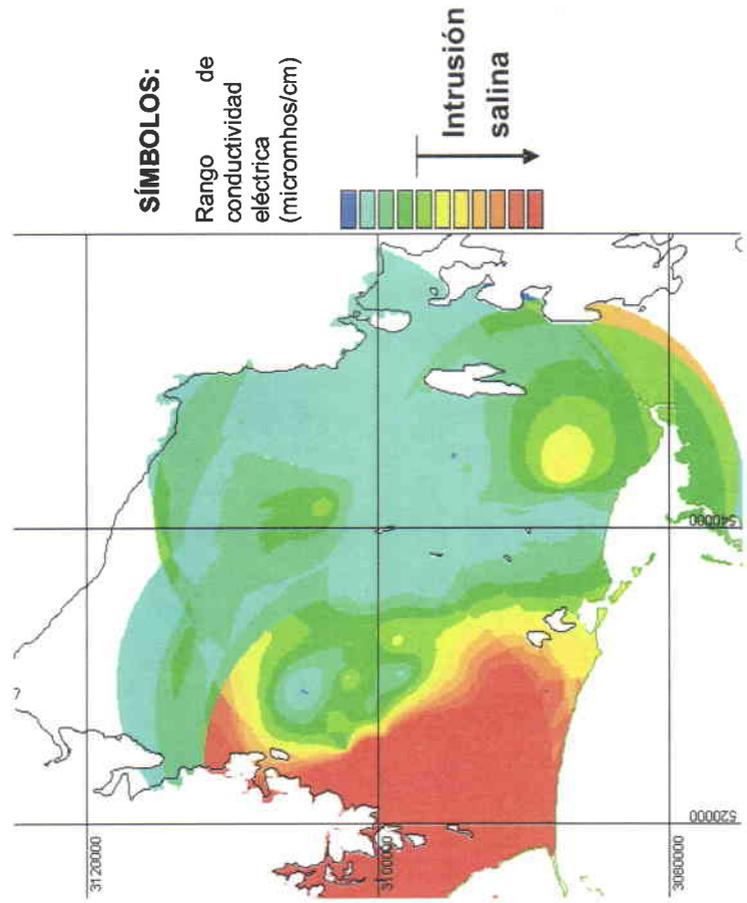
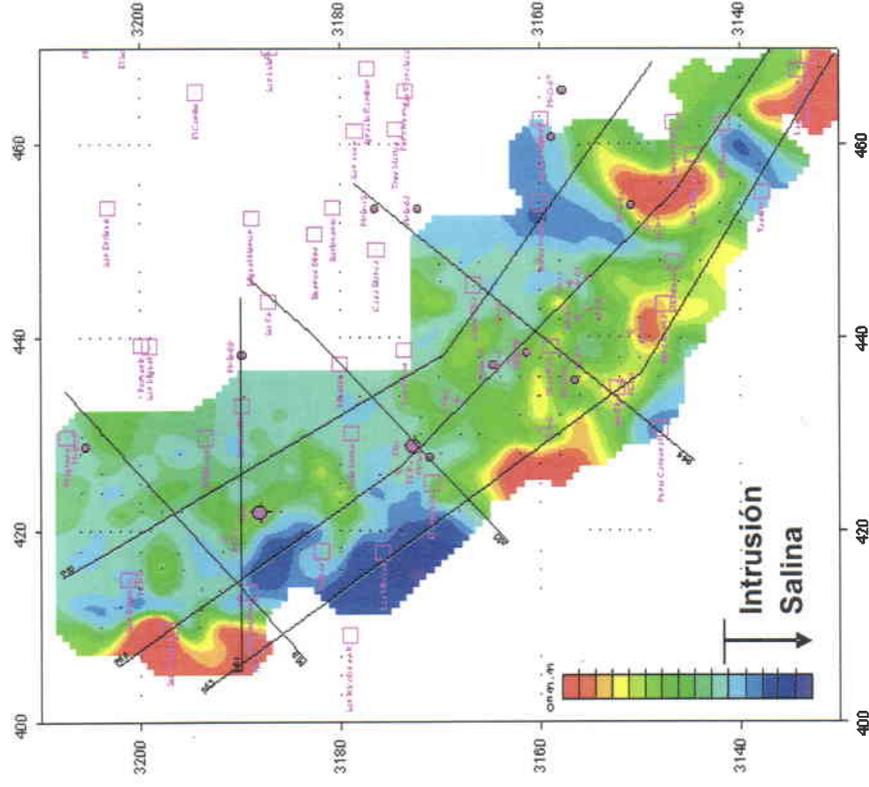
# EVOLUCIÓN DE LA INTERFASE PROVOCADA POR LA EXTRACCIÓN DE AGUA SUBTERRANEA



- ① Posición natural
- ② ③ Posiciones sucesivas provocadas por la extracción de agua subterránea
- Superficie freática
- ..... Interfase salina

**FIGURA 6**

# INTRUSION SALINA



**SÍMBOLOS:**  
Rango de conductividad eléctrica (micromhos/cm)

Acuífero “Costa de Hermosillo”, Son.

Acuífero “Valle de Guaymas”, Son.

**FIGURA 7**

### **El Manejo Sostenible.**

En términos generales, cualquier estrategia para el manejo sostenible de un acuífero costero debe incluir, entre muchos otros factores, la prevención o la corrección de la intrusión salina.

Para prevenir este fenómeno, la descarga subterránea del acuífero al mar debe ser mantenida, parcial o totalmente. En algunos acuíferos subexplotados, es viable interceptar una parte de ella mediante pozos de bombeo, aunque la interfase migre hacia tierra adentro, siempre que se cuide que su nueva posición de equilibrio no resulte inconveniente para el acuífero o para la calidad del agua extraída y que la intercepción no provoque daños a ecosistemas costeros. Con este propósito preventivo, en la NOM-011-CNA-2000 *Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de aguas nacionales*, la descarga natural de un acuífero al mar que conviene sostener, se considera dentro del término “descarga natural comprometida” y no puede ser concesionada para otros usos (Figura 8).

Cuando se trata de un acuífero sobreexplotado –a largo plazo la extracción es de mayor magnitud que la recarga media anual–, en que la descarga subterránea al mar ya ha sido eliminada, la condición sostenible sólo podría alcanzarse si los niveles de agua volvieran a elevaciones sobre el nivel del mar y con ello se restableciera dicha descarga, de tal manera que a largo plazo el agua dulce desplazara al agua salina hacia su posición natural. Si la sobreexplotación es de gran magnitud, esto no suele ser viable, pues para lograrlo sería necesario disponer de una fuente sustitutiva de agua (importación desde otra cuenca, p. ej) y/o de recursos que permitieran reducir drásticamente las extracciones sin mermar el desarrollo económico de la zona, por ejemplo, mediante un uso mucho más eficiente del agua o una reconversión hacia actividades menos consumidoras de agua. En el mejor de los casos, aunque ello fuera viable, el tiempo que tardaría el agua dulce en reemplazar a la salada es muy largo.

Por todo lo anterior, las estrategias para el manejo de un acuífero costero sobreexplotado tienden más bien a prolongar su vida útil tanto como sea posible, mediante una o varias de las acciones siguientes: reducción de las extracciones, relocalización de las captaciones a mayor distancia del litoral, recarga artificial y control de la interfase (Figura 9).

### **Los Métodos de Control de la Interfase.**

Consisten en formar barreras hidráulicas que detienen el avance de la intrusión salina; esencialmente, son de dos tipos: de inyección y de bombeo. La primera es formada con una batería de pozos, cercana y paralela al litoral, que inyecta agua al acuífero, formando un domo en los niveles del agua que empuja al agua salina de regreso hacia la costa (figuras 10 y 11). Obviamente, para la aplicación de este método es necesario disponer de agua excedente para inyectarla; además, presenta la desventaja de que parte del agua inyectada fluye hacia tierra adentro, empujando al agua salina que ya migró más allá de

# DISPONIBILIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA

**NOM-011-CNA-2000, Conservación del recurso agua-Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales:**

$$\begin{array}{l} \text{DISPONIBILIDAD} \\ \text{MEDIA ANUAL DE} \\ \text{AGUA SUBTERRÁNEA} \end{array} = \begin{array}{l} \text{RECARGA} \\ \text{TOTAL} \\ \text{MEDIA ANUAL} \end{array} - \begin{array}{l} \text{DESCARGA} \\ \text{NATURAL} \\ \text{COMPROMETIDA} \end{array} - \begin{array}{l} \text{VOLUMEN} \\ \text{CONCESIONADO} \end{array}$$

**En un acuífero costero, la salida subterránea al mar que se debe sostener para prevenir la intrusión salina, esta considerando dentro del término “Descarga Natural Comprometida”**

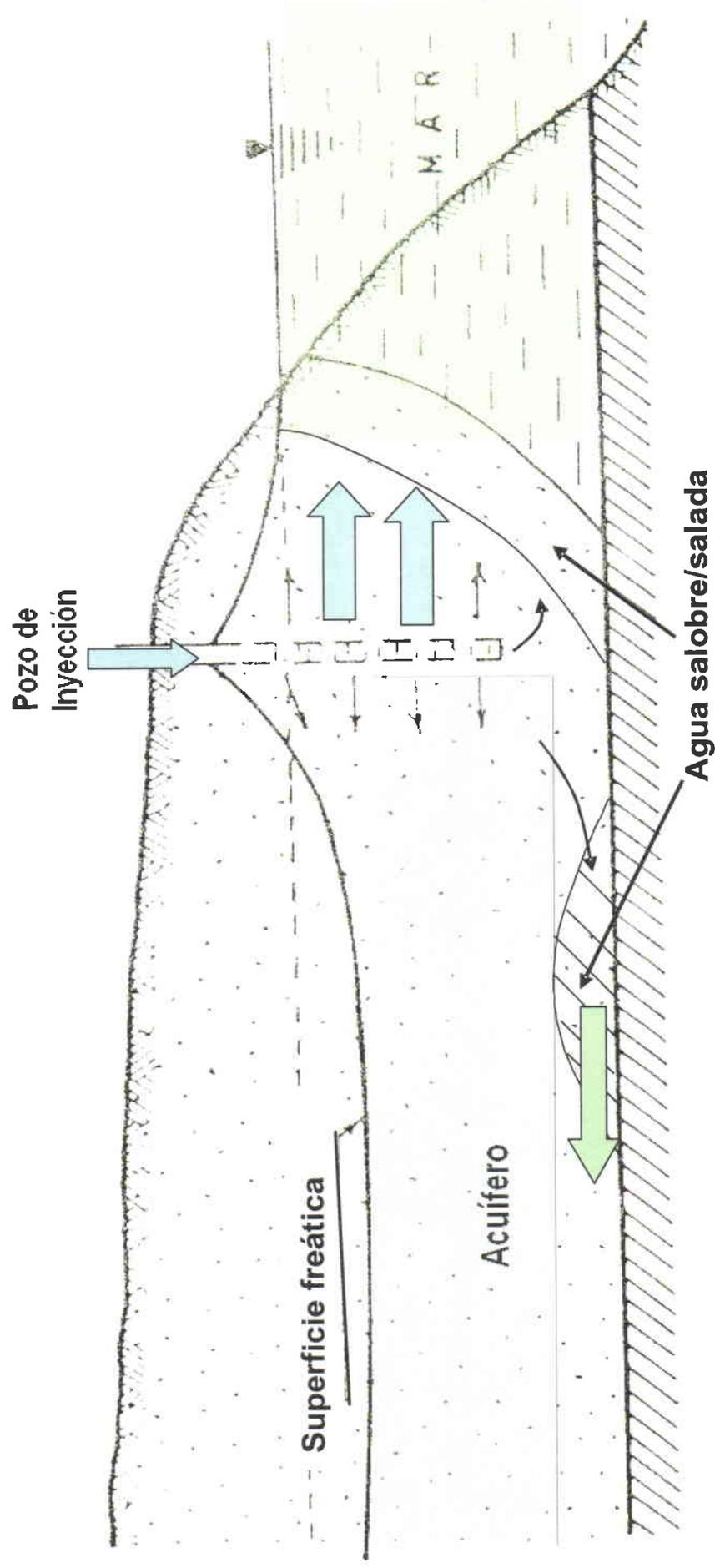
**FIGURA 8**

## **CONTROL DE LA INTRUSION SALINA**

- Reducción de las extracciones**
- Relocalización de pozos a mayor distancia del litoral**
- Recarga artificial**
- Métodos de control de la interfase salina**

**FIGURA 9**

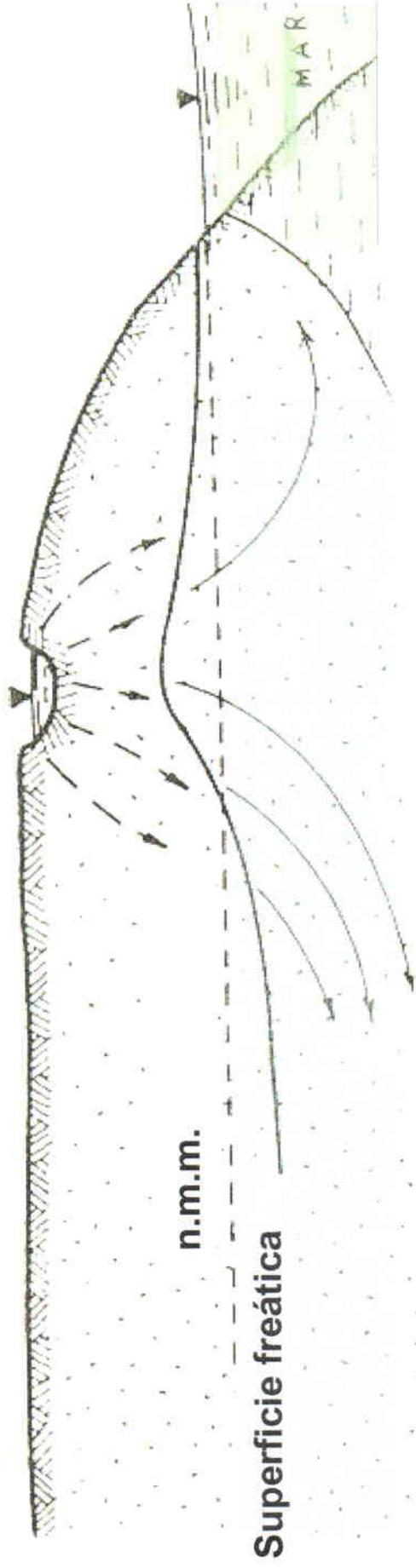
# CONTROL DE LA INTERFASE MEDIANTE POZOS DE INYECCIÓN



**FIGURA 10**

# CONTROL DE LA INTERFASE MEDIANTE RECARGA SUPERFICIAL

Estanque de  
infiltración



**FIGURA 11**

la batería. Desde hace varias décadas, este método ha sido aplicado en la zona costera donde está asentada la ciudad de Los Angeles, Ca., utilizando las aguas residuales de esa ciudad y agua superficial importada del río Colorado.

El segundo método consiste en una batería de pozos de bombeo, cercana al litoral, cuya operación forma una depresión de los niveles del agua hacia la cual fluye el agua desde el litoral y/o desde tierra adentro. La batería incrementa el flujo desde el mar e invierte o reduce el gradiente hidráulico hacia tierra adentro generado por la sobreexplotación, esto es, sus pozos extraen el agua salina o salobre, tanto la que procede del mar como la que es regresada de tierra adentro (figuras 12 y 13). Este método, aplicable cuando no se dispone de una fuente de agua para emplear el método de inyección, también presenta desventajas: por un lado, el costo del bombeo, y por otro, la disposición del agua bombeada, que es descargada al mar o utilizada en alguna actividad, en su caso, previa desalación.

### **FACTIBILIDAD TECNICA DE LA CAPTACION DE AGUA EN LA FAJA COSTERA.**

Desde el punto de vista técnico, en un acuífero costero cabe la posibilidad de captar agua dulce, salobre o salada en las proximidades del litoral sin afectar negativamente el balance o la calidad de agua en el resto del acuífero, con lo cual se puede incrementar la disponibilidad de agua. Esta práctica permite satisfacer pequeñas demandas de agua dulce de comunidades (pesqueras), centros de población, instalaciones autoabastecidas (turísticas, industriales, etc.); asimismo, permite satisfacer cuantiosas demandas de agua salobre o salada para abastecer a ciudades mayores -cuando se dispone de los recursos técnicos y económicos para su desalación- o a desarrollos acuícolas o de otro tipo.

#### **Acuíferos Subexplotados.**

Como se expuso anteriormente, la descarga al mar de un acuífero costero debe conservarse parcial o totalmente para prevenir un avance perjudicial del agua marina hacia tierra adentro; sin embargo, es factible captar parte de esta descarga de agua dulce en la faja comprendida entre la costa y el "pie" de la interfase, para interceptarla antes de que salga al mar (Figura 14). Esto es factible porque una vez que el agua dulce llega a esta faja, ya cumplió su función de detener a la cuña de agua salina en la posición conveniente.

Desde el punto de vista ambiental, la intercepción está condicionada a que con ella no se provoque impacto negativo a ecosistemas costeros. Por ejemplo, en algunas zonas la descarga de agua subterránea al mar sostiene condiciones de salinidad y temperatura en la costa, que dan lugar a ecosistemas de utilidad ecológica y económica importante.

La captación de agua dulce debe llevarse a cabo mediante obras someras ("puyones", pozos o galerías), diseñadas y operadas de tal manera que no se provoque el ascenso

# CONTROL DE LA INTERFASE MEDIANTE POZOS DE BOMBEO

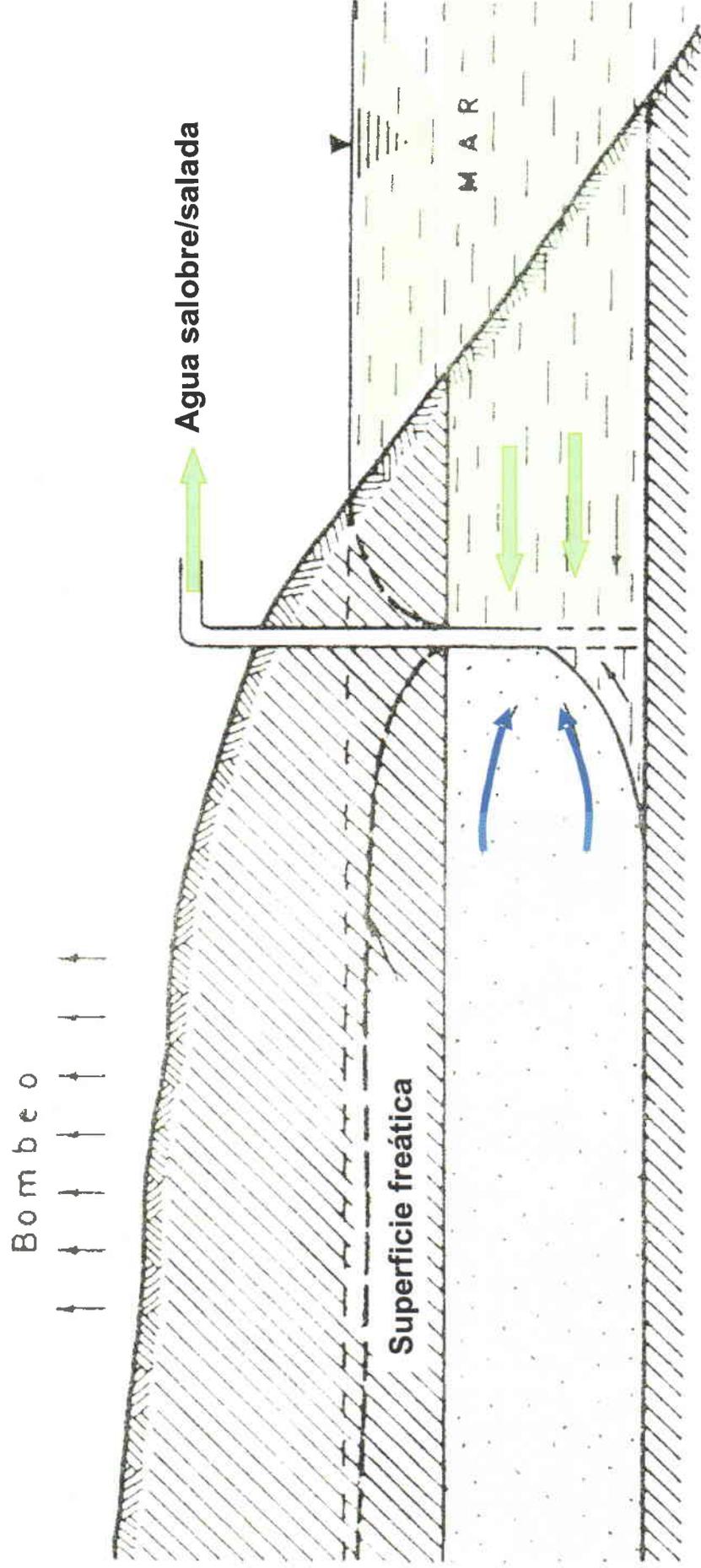


FIGURA 12

# CONTROL DE LA INTERFASE MEDIANTE POZOS DE BOMBEO

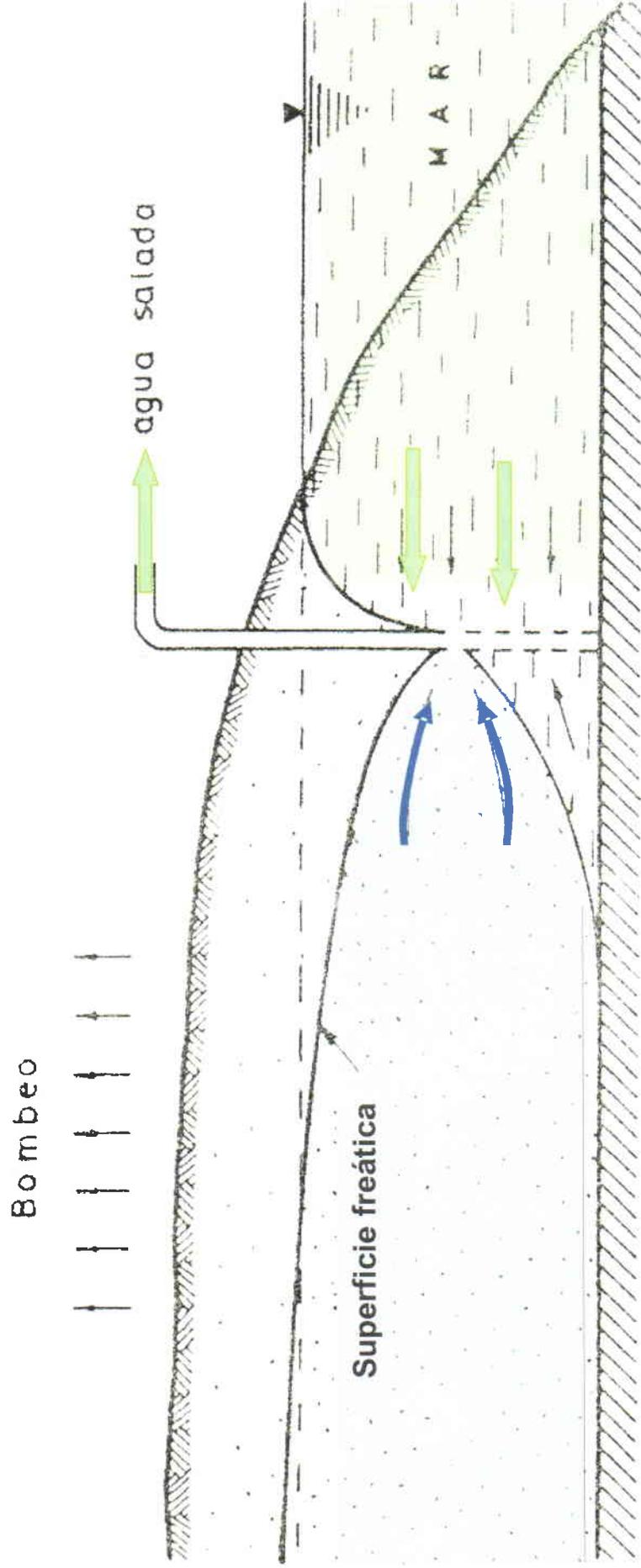


FIGURA 13

# INTERCEPCION DE LA DESCARGA MEDIANTE CAPTACIONES SOMERAS

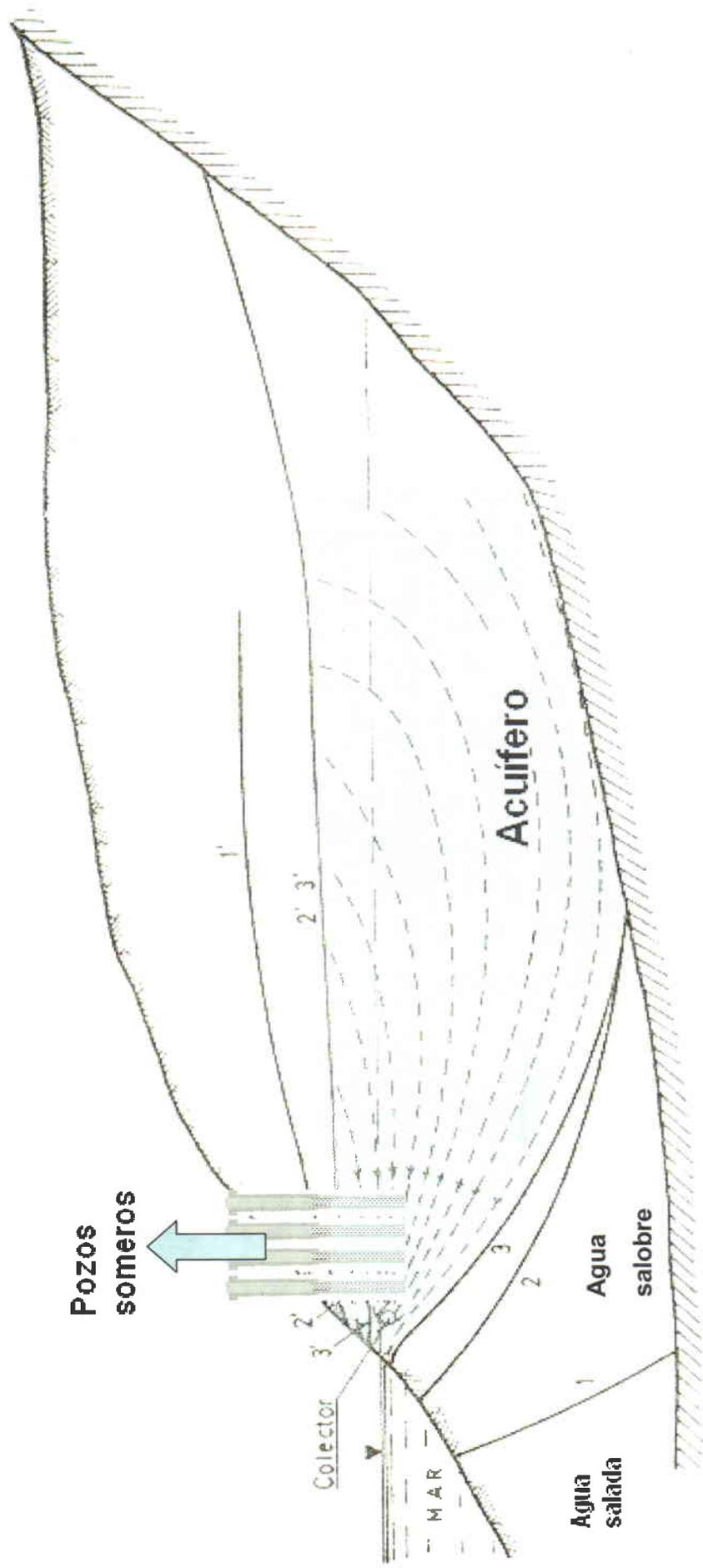


FIGURA 14

local de la interfase hasta su sección de captación y con ello el deterioro de la calidad del agua extraída (Figura 14). Esta restricción puede limitar el caudal y el abatimiento permisible por captación; sin embargo, con baterías de captaciones de bajo caudal puede obtenerse un gasto significativo para satisfacer demandas de unos cuantos litros por segundo.

Así, por ejemplo, en la isla de Cozumel, Q. Roo, cerca de 200 captaciones de ese tipo, de unos 10 m de profundidad, suministran un caudal individual medio de 1 l/s y en su conjunto un total de unos 200 l/s a la población y zona turística de esa isla. En los cayos (pequeños islotes) de Cuba, se capta un acuífero dulce de menos de dos metros de espesor, por medio de puyones que suministran un caudal medio de 0.2 a 0.5 l/s c/u, para abastecimiento de un desarrollo turístico de alto nivel (Figura 15).

Cuando la extracción de agua dulce requiere de muchas captaciones o impone problemas operativos para no rebasar el abatimiento permisible, puede optarse por extraer un caudal mayor de agua salobre - mezcla de agua dulce aportada por la descarga del acuífero y de agua salina procedente del mar. Si la desalación es técnica y económicamente factible, puede obtenerse un caudal mayor de agua sin problemas operativos, a cambio de un costo adicional por desalación. En este caso, el incremento de la disponibilidad de agua puede ser importante, porque se está induciendo el ingreso al acuífero de un volumen adicional de agua procedente del mar, el cual es captado en las inmediaciones del litoral sin posibilidad de que migre tierra adentro.

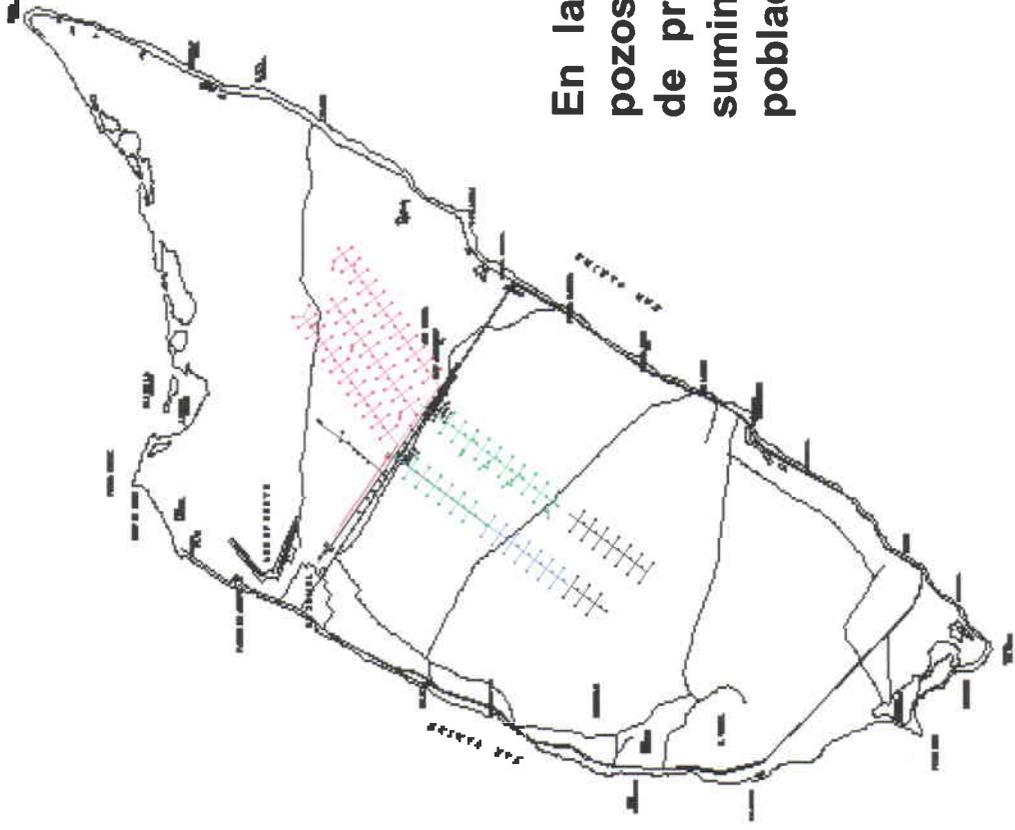
### **Acuíferos Sobreexplotados.**

Como se expuso en apartado anterior, en un acuífero costero sobreexplotado cuya descarga al mar ha sido totalmente interceptada el agua del mar penetra tierra adentro, dando lugar a la formación de una zona de transición, en que el agua subterránea presenta fuertes variaciones de su salinidad en el espacio y en el tiempo, dependiendo de las características hidráulicas de los estratos, de la distribución de la carga piezométrica y de las características de los pozos de bombeo. Dentro de esta zona de transición es factible captar agua salobre, cuya desalación es menos costosa que la del agua marina.

Si la captación es cercana a la costa, el área de influencia del bombeo se extiende hasta ella, induciendo una alimentación desde el mar que en el tiempo crece en magnitud y salinidad. Como el nivel del mar se mantiene prácticamente constante a largo plazo, esta alimentación sólo depende del régimen de operación de las captaciones. Así, se puede incrementar notablemente la disponibilidad de agua, aunque sea de mayor salinidad que la del acuífero, para utilizarla en actividades de alta productividad previa desalación.

La captación de agua salobre o salada en esta zona de mezcla no agrava la situación del acuífero; por el contrario, en forma incidental, puede contribuir localmente a frenar el avance del agua salada hacia la porción dulce del acuífero, haciendo las veces del método de control de la interfase antes descrito (barrera de bombeo). En la Costa de

# CAPTACION DE AGUA DULCE EN LA ISLA DE COZUMEL, Q. ROO.



En la isla de Cozumel, cerca de 200 pozos someros (“puyones”), de 8 a 12 m de profundidad, dispuestos en batería, suministran cerca de 200 l/s a la población y zona turística.

**FIGURA 15**

Hermosillo, en época reciente, se contempló un proyecto para captar agua salobre (1 m<sup>3</sup>/s) en las inmediaciones del litoral, para su desalación y suministro a la ciudad de Hermosillo. El proyecto resultó viable en sus aspectos hidrogeológicos.

La extracción de agua salobre puede llevarse a cabo en cantidades significativas sin afectar la reserva de agua dulce del acuífero. En general, no cabe la posibilidad de que el bombeo de los pozos en la costa restablezca el flujo de agua dulce hacia la litoral; por una parte, porque el gradiente hacia tierra adentro generado por una sobreexplotación prolongada no puede ser contrarrestado por una extracción mucho menor de agua salobre, y por otra, porque el bombeo de pozos cercanos a la costa puede extender su influencia hasta el litoral, induciendo una aportación de agua desde el mar, cuya carga constante estabilizaría el sistema y no permitiría la propagación de efectos hacia tierra adentro.

En esta forma, la disponibilidad de agua puede ser incrementada sustancialmente, siempre que se disponga de los recursos para su desalación, pues cabe la posibilidad de captar el agua salobre que ya penetró al acuífero o de inducir el ingreso de agua marina. La distribución de los pozos de bombeo depende de la cantidad y calidad del agua que se requiere. Si se prefiere captar agua salobre para reducir el costo de desalación, los pozos serán emplazados a mayor distancia del litoral para prevenir o retardar el ingreso del agua salada; pero en este caso, la cantidad de agua disponible puede ser menor porque depende del almacenamiento de agua salobre. Por el contrario, si se requiere agua más salina o en mayor cantidad, los pozos se construirán en las inmediaciones de la costa ("pozos playeros") para inducir a corto plazo el ingreso directo de agua desde el mar, fuente prácticamente inagotable (figuras 16 y 17).

Los factores limitantes son las características del acuífero y su conexión hidráulica con el mar. Si la conexión es directa, los pozos inducirán más fácilmente el ingreso del agua desde el mar con un abatimiento reducido y estable en los pozos; en cambio, si la conexión no es directa, debido a un semiconfinamiento superior del acuífero o a la intercalación de materiales finos, menos permeables, entre el acuífero y el lecho marino, tendrán que provocarse mayores abatimientos en los pozos con el consiguiente incremento de los costos del bombeo.

#### **ASPECTOS LEGALES.**

En la Ley de Aguas Nacionales y en los demás ordenamientos legales vigentes, la captación de agua salobre o salada en las zonas costeras no está prevista y varias de sus disposiciones se oponen a ella, pero no en forma expresa sino implícita. En su Artículo 22, dispone que en el otorgamiento de concesiones o asignaciones de agua se tomará en cuenta la disponibilidad media anual de agua; por tanto, como los acuíferos sobreexplotados no tienen disponibilidad de agua, no procede otorgar concesiones sobre volúmenes adicionales, a pesar de las ventajas y argumentos técnicos apuntados arriba.

# PROYECTO PARA ABASTECER A LA CIUDAD DE HERMOSILLO, SON.

Fuente: agua salobre captada por pozos ubicados en la porción de acuífero invadida por la intrusión salina.

- Ventaja: menor costo de tratamiento y disminución de la velocidad de avance de la intrusión hacia la parte dulce del acuífero.
- Desventaja: mayor costo del bombeo de los pozos.

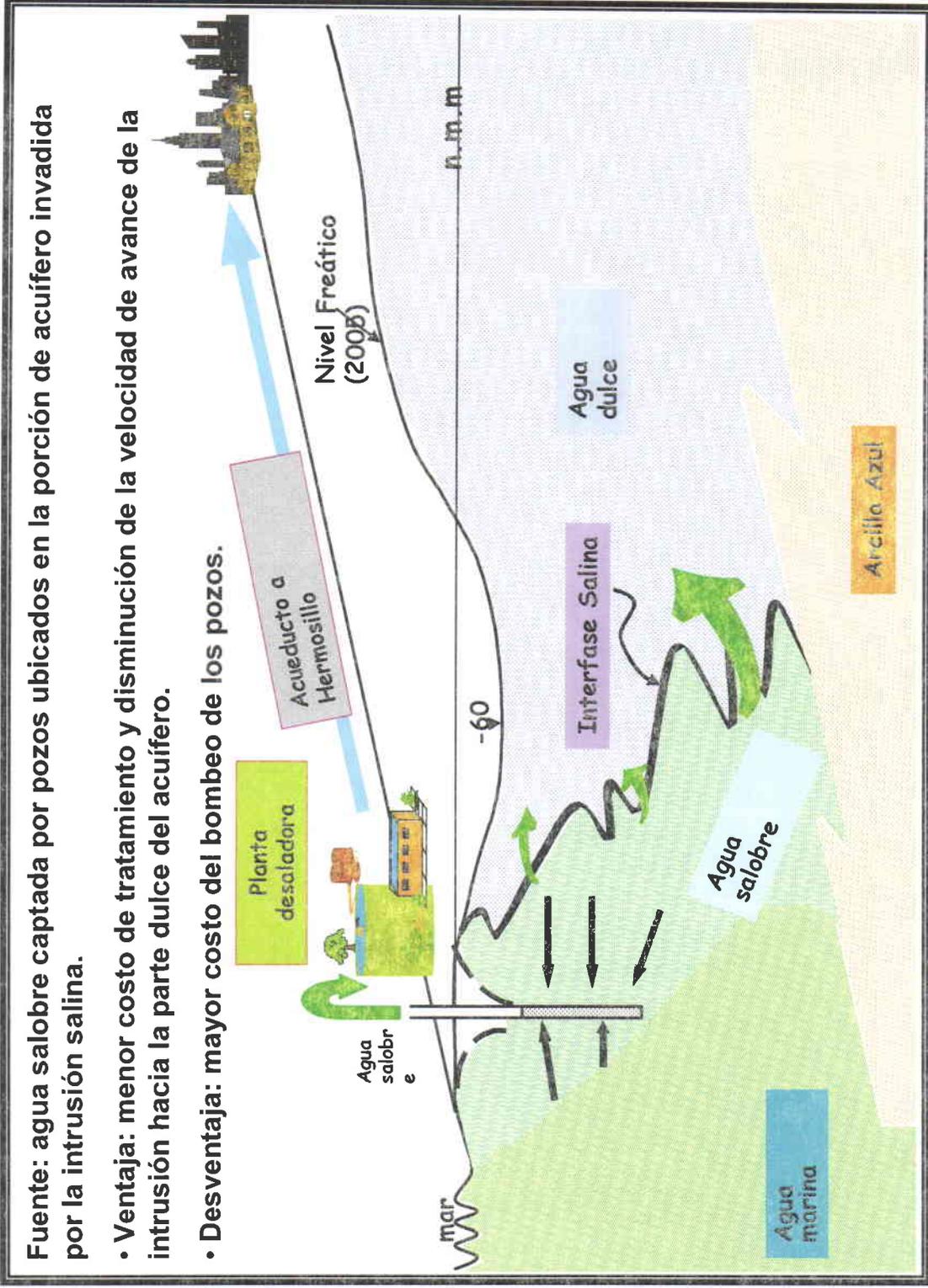


FIGURA 16

# PROYECTO PARA ABASTECER A LA CIUDAD DE HERMOSILLO, SON.

Fuente: agua marina extraída mediante pozos “playereros”.

- Ventaja: la proximidad del mar, como fuente del nivel constante, se traduciría en menores costos del bombeo de pozos.
- Desventaja: mayor costo de tratamiento.

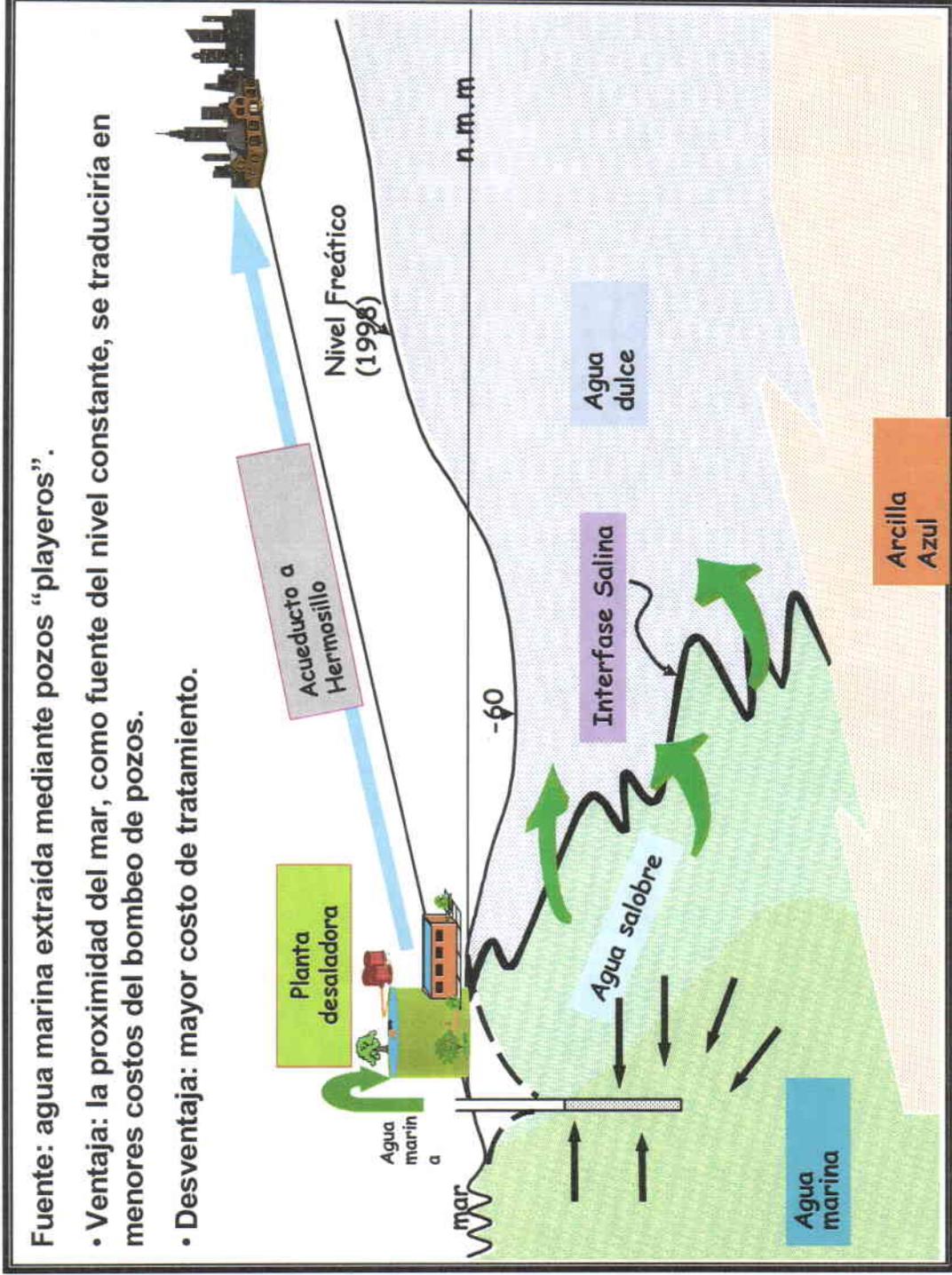


FIGURA 17

No se puede argumentar que se trata de captar agua salobre o salina, porque en el concepto de “Disponibilidad de Agua” (en los términos de la NOM-011-CNA-2000) sólo se considera su cantidad, no su calidad; ni que se va a captar agua marina, porque una vez que ésta ingresa al acuífero se convierte en agua subterránea y queda sujeta a las disposiciones de la veda; ni tampoco que la extracción se va a llevar a cabo en la parte casi inutilizada del acuífero, porque la veda tiene una cobertura geográfica fija, definida en parte por la línea de costa, y no hace distinción alguna en la salinidad del agua (Figura 18).

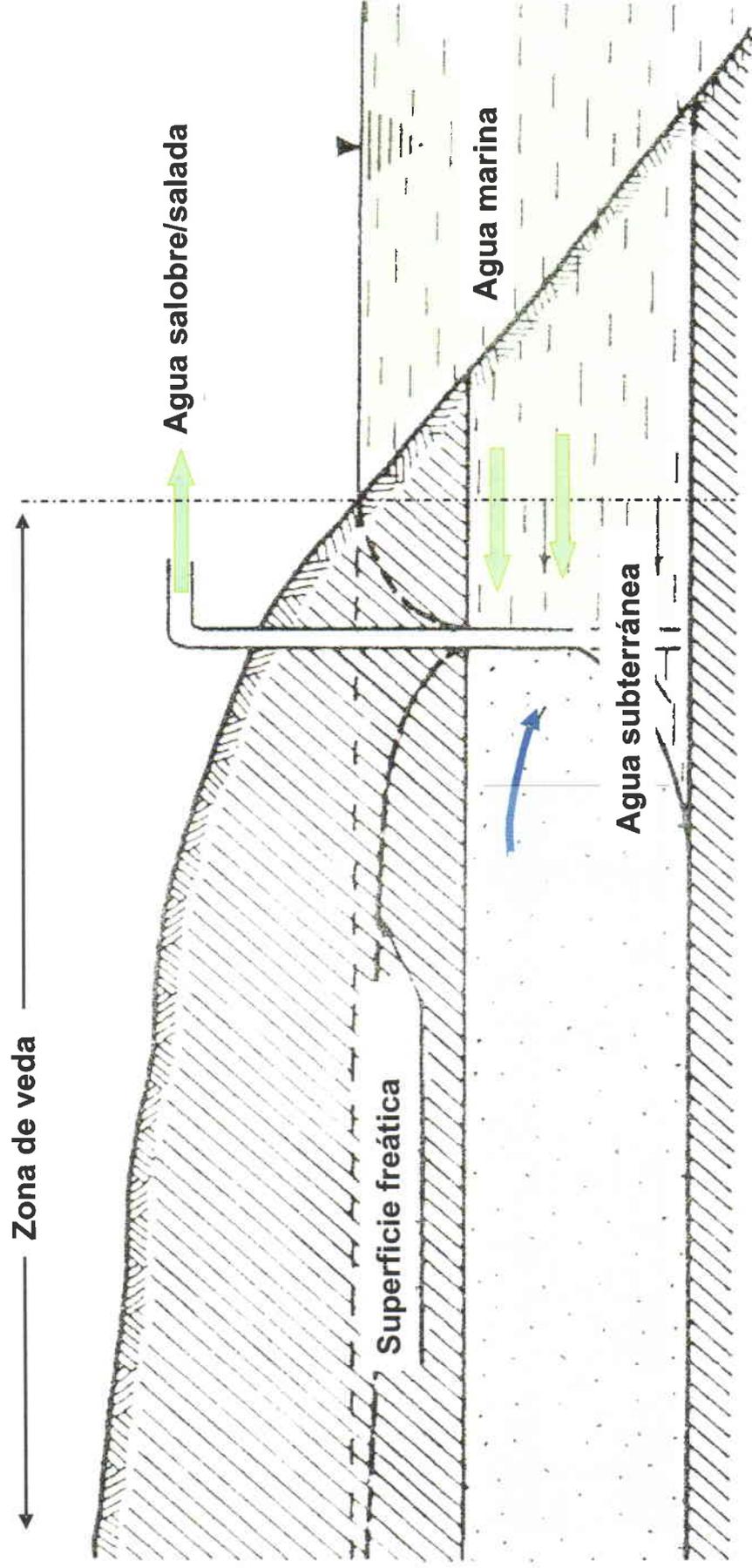
Sin embargo, cabe la posibilidad de apoyarse en una disposición que es común a casi todos los decretos de veda –que siguen “...produciendo sus efectos legales...”-, según la cual: “Las solicitudes de permisos para nuevos alumbramientos serán tramitados ante la Secretaría de Recursos Hidráulicos y se resolverán de acuerdo con el estudio geohidrológico respectivo” (Figura 19).

Conforme a esto, un estudio local o dictamen técnico podría demostrar si la extracción de agua salobre/salina como parte de un proyecto específico, tendría o no un impacto negativo hidrogeológico, ambiental o de otra índole. Con base en lo expuesto en apartados anteriores, en muchos de los casos es demostrable que la captación del agua salobre/salada es viable sin riesgo de provocar impacto ambiental negativo ni cambios desfavorables en el balance o en la calidad del agua de la porción de los acuíferos no afectada por la intrusión salina y, aún más, que puede incrementar significativamente la disponibilidad del agua para usos de alta rentabilidad.

Para una justificación más rigurosa del otorgamiento de concesiones de agua salobre o salada en acuíferos costeros vedados, por una parte, se tendría que modificar la NOM-011-CNA-2000, para considerar la calidad del agua en el concepto de disponibilidad media anual, dentro del peculiar contexto hidrodinámico de esos acuíferos. Y por otra parte, se tendrían que establecer disposiciones al respecto en sus reglamentos particulares, para establecer por separado la disponibilidad de agua salobre o salada, las áreas donde ésta puede ser captada y las restricciones para prevenir afectación a terceros o impacto ambiental negativo.

Otra forma de librar este obstáculo legal es la construcción de captaciones horizontales o inclinadas -pozos direccionales o pozos tipo “Ranney”-, cuya sección de entrada esté ubicada bajo el mar, esto es, fuera de la zona de veda. Esta solución es viable cuando se requiere captar el agua en sitios muy cercanos a la costa; pero presenta las desventajas de que se tendría que desalar agua marina y de que ese tipo de captaciones presentan mayores problemas constructivos y operativos (figuras 20 y 21).

# RESTRICCIONES LEGALES



**FIGURA 18**

## RESTRICCIONES LEGALES Y NORMATIVAS

a LAN, las vedas y la NOM correspondiente, condicionan el otorgamiento de concesiones a que haya disponibilidad de agua. o consideran expresamente su calidad.

n los acuíferos costeros sobreexplotados no se puede incrementar la extracción argumentando que se está captando agua marina, porque la veda tiene una cobertura geográfica fija ue se extiende hasta el litoral.

na vez que el agua marina ingresa al subsuelo del continente e convierte en agua subterránea nacional y queda sujeta a las isposiciones de la veda.

**as vedas condicionan el otorgamiento de concesiones a los resultados de estudios técnicos.**

FIGURA 19

# CAPTACION FUERA DE LA ZONA DE VEDA

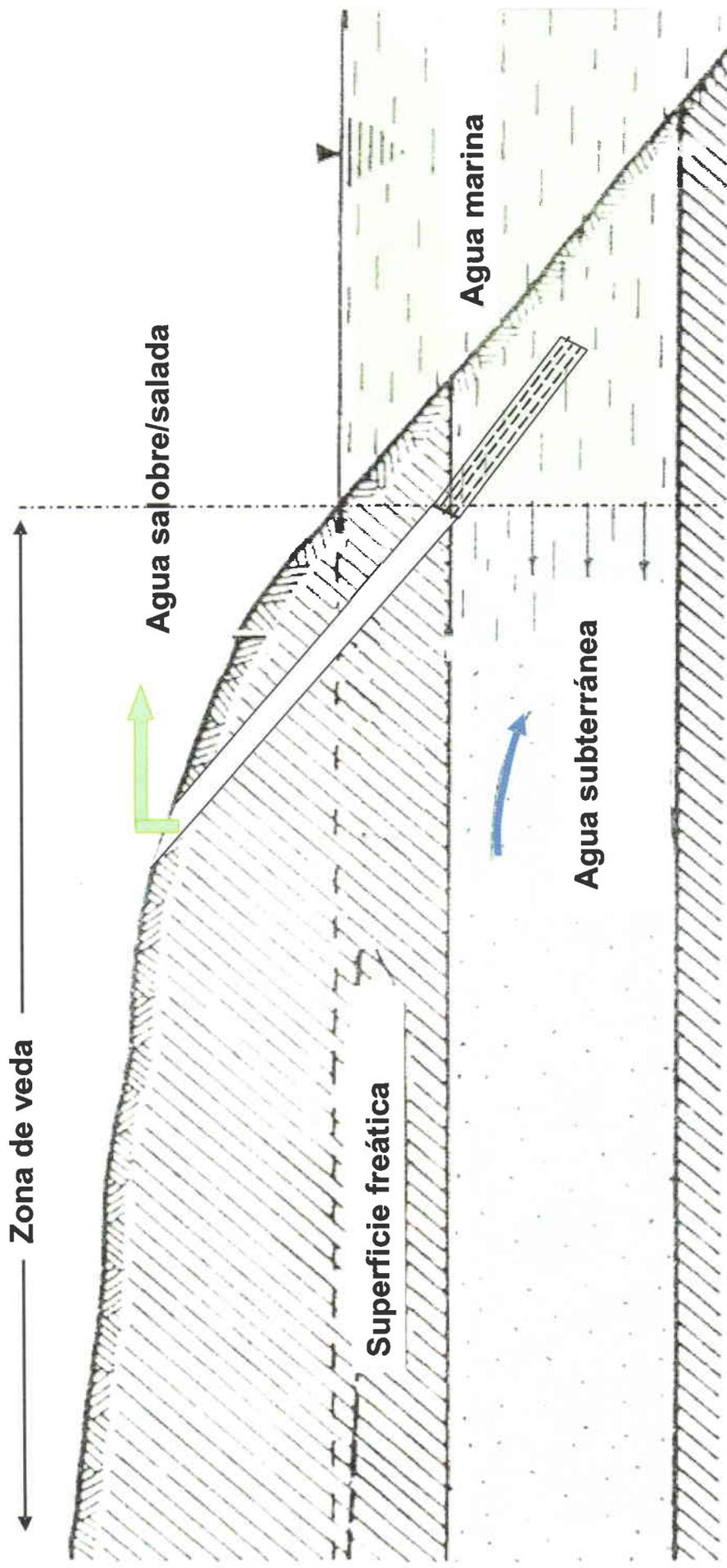


FIGURA 20

# CAPTACION FUERA DE LA ZONA DE VEDA

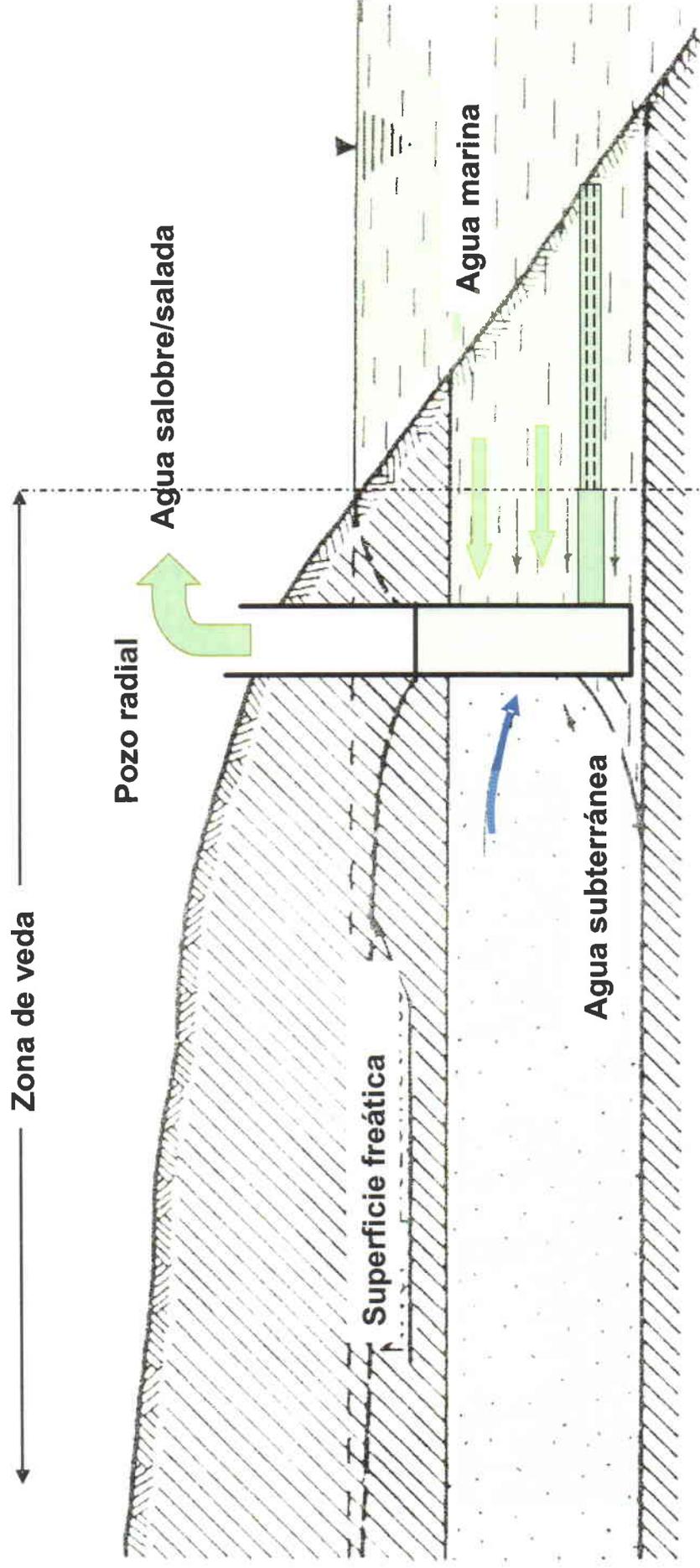


FIGURA 21

## **CONCLUSIONES**

**PRIMERA.-** En los acuíferos costeros subexplotados puede aprovecharse parte de su descarga subterránea al mar, mediante captaciones someras (puyones, galerías, pozos cortos...), sin provocar intrusión salina.

**SEGUNDA.-** En los acuíferos costeros sobreexplotados, su porción ya invadida por la intrusión salina puede considerarse como una fuente aprovechable de agua – en su caso, previa desalación- para propiciar el desarrollo de actividades productivas (acuicultura, turismo, entre otras).

**TERCERA.-** La extracción de agua salobre o salada en las proximidades del litoral no afecta a la porción dulce del acuífero, si las captaciones son adecuadamente localizadas, construidas y operadas; por el contrario, en algunos casos puede frenar la migración de agua salada hacia tierra adentro y generar una disponibilidad adicional de agua al inducir una alimentación subterránea desde el mar.

**CUARTA.-** Aun en acuíferos sobreexplotados, es viable otorgar concesiones para extraer agua salobre o salada en las inmediaciones del litoral, condicionadas a que estudios locales específicos demuestren su factibilidad técnica y que no se provocará impacto ambiental negativo ni afectación a terceros.

**QUINTA.-** La disponibilidad de agua salobre o salina puede ser muy cuantiosa si el acuífero tiene una conexión más o menos directa con el mar y si su transmisividad es alta.

**SEXTA.-** En etapas posteriores, la regulación de concesiones de este tipo deberá ser considerada en la LAN, en la NOM correspondiente y en la reglamentación de la veda de cada acuífero.