



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN
INGENIERÍA**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**SIMULACIÓN HIDRODINÁMICA DEL ACUÍFERO LA PAZ Y SU
APROVECHAMIENTO COMO FUENTE DE DESALACIÓN**

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA

INGENIERÍA CIVIL – ESPECIALIDAD HIDRÁULICA

PRESENTA

MARIBEL MONZALVO MIRELES

TUTOR

Dr. Rafael Bernardo Carmona Paredes



2010



Universidad Nacional
Autónoma de México



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: Dr. Oscar A. Fuentes Mariles

Secretario: Dr. Ramón Domínguez Mora

Vocal: Dr. Rafael B. Carmona Paredes

1er Suplente: M.I. Víctor Franco

2do Suplente: Dr. Oscar Arnoldo Escolero Fuentes

Lugar donde se realizó la tesis:
México D.F.

TUTOR DE TESIS:
Dr. Rafael Bernardo Carmona Paredes

FIRMA

Agradecimientos

A **Jesucristo**, por la vida nueva que me ha dado

A mi **familia** por creer en este proyecto de vida y por su apoyo para lograrlo

A mis **profesores** por su tiempo, dedicación y paciencia

A mis **compañeros y amigos** que me han colaborado conmigo a lo largo de este camino.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. MARCO DE REFERENCIA

GENERALIDADES

Introducción	7
Objetivos general y específicos	8
Justificación y alcances	9
Estudios previos	15
Localización, extensión y sitio evaluado	24
Condiciones ambientales	26
Condiciones sociales	37
Condiciones económicas	41
Condiciones políticas	47

MARCO GEOLÓGICO

Fisiografía	51
Geomorfología	52
Estratigrafía y geología superficial	56
Geología del subsuelo	57
Geología Estructural	62
Modelo geológico conceptual	63

MARCO HIDROGEOLÓGICO

Climatología	65
Hidrología	67
Usos del agua	68
Red actual de pozos y acueductos	79
Piezometría	90
Profundidad al Nivel Estático	93
Elevación del Nivel Estático	96
Evolución del Nivel Estático	98
Unidades hidrogeológicas	101
Medio poroso	103
Medio fracturado	103
Modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico	104
Geometría del sistema	104
Sistema de flujo regional	107



Sistemas de flujo intermedio y local	110
2. METODOLOGÍA: Modelo de flujo hidrodinámico y transporte de solutos	
Ecuaciones	113
Formulación física del modelo	115
Geometría del sistema acuífero	115
Discretización temporal	117
Distribución espacial de los materiales	117
Condiciones iniciales de flujo y masa	127
Condiciones de frontera	127
Recarga y descarga	128
Propiedades de los materiales	136
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
Calibración en régimen permanente	138
Calibración en régimen transitorio	140
Simulación de una planta desaladora operando en el acuífero de La Paz	143
Dilución variable	145
Punto de equilibrio	146
Inyección de aguas residuales tratadas	158
CONCLUSIONES	163
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	168
ANEXOS	175



MARCO DE REFERENCIA



Introducción

El agua subterránea constituye la principal fuente de abastecimiento para el desarrollo socioeconómico de México, particularmente en las zonas áridas y semiáridas del norte y noroeste del país. Es por ello que la gestión adecuada de este vital recurso es impostergable y debe considerar aspectos técnicos, sociales, ecológicos y políticos para lograr su manejo integral.

Las zonas costeras requieren de una atención especial, ya que el acelerado desarrollo demográfico y turístico demanda un volumen de suministro cada vez mayor que está siendo extraído de los acuíferos a costa del inminente daño por sobreexplotación e intrusión salina que se les puede inducir, por lo que las políticas de manejo deben estar encaminadas no sólo a satisfacer la demanda requerida, sino también contemplar y atender los aspectos relacionados con los problemas de cantidad y calidad del agua a corto, mediano y largo plazos.

Por otro lado, el abastecimiento de la demanda del recurso hídrico no puede soslayarse, máxime habiendo en la actualidad tecnologías que lo permiten a costos accesibles y sin necesidad de comprometer aún más la precaria disponibilidad de estos acuíferos; tecnologías que pueden incluso, contribuir a la recuperación y saneamiento del recurso a mediano y largo plazos. Tal es el caso de la desalación de agua de mar y/o salobre para abastecimiento de agua potable a la población y para uso público.

Para ello existen diversos esquemas de desalación que se han aplicado exitosamente en zonas costeras con problema de abastecimiento, pero estos esquemas deben analizarse integralmente desde el punto de vista técnico, económico, ambiental, político y social.

Con respecto a las fuentes de agua para alimentar a las plantas desaladoras que se han construido a nivel mundial, un 56% proviene de agua de mar directa; 24% de agua subterránea salobre, 9% de agua de ríos y el resto (11%) de agua residual o de salmueras. Asimismo, para la captación del agua se han desarrollado diversas técnicas entre las que destacan: tomas marinas abiertas o sumergidas, baterías de pozos playeros, lechos filtrantes y galerías.

El diseño y tipo de obra de toma ya sea directa del mar o mediante baterías de pozos depende principalmente de la capacidad de captación, así como de la aplicabilidad y relación costo – beneficio, de tal manera que uno de los aspectos fundamentales a conocer es la geohidrología de la zona de captación porque de ello dependerá el tipo, tamaño y forma de la estructura, al igual que la disponibilidad de agua en cantidad y calidad adecuada, además de los posibles impactos ambientales que se pudieran generar por la ubicación y operación de dicha estructura.



Cabe mencionar que entre estas opciones la captación mediante pozos playeros constituye actualmente una gran ventaja técnica y ambiental debido a que una batería de pozos como obra de toma implica de manera natural obtener un primer filtrado del agua; en tanto que, la opción de toma marina requiere de pretratamientos para eliminar entre otros: sólidos, bacterias o demás organismos presentes en el medio acuático, con el correspondiente incremento en costos y posibles efectos adicionales al ambiente por la succión de organismos.

Por otro lado, la toma de agua como fuente de abastecimiento para agua potable cuando se realiza a través de baterías ubicadas estratégicamente, puede ayudar a mitigar el avance tierra adentro de la intrusión salina al formar una barrera hidráulica que evite el deterioro de la calidad del agua dulce.

El presente trabajo analiza el impacto que tendría una batería de pozos que funcionaría hipotéticamente como obra de toma de una planta desaladora sobre el acuífero de La Paz B.C.S. Lo anterior se llevó a cabo a través de un modelo de simulación hidrodinámica y transporte de soluto tridimensional, haciendo análisis de sensibilidad a la profundidad de extracción a la ubicación de la batería y su distancia con respecto a la línea de costa. Finalmente se analizó un esquema de inyección de agua residual tratada para observar el comportamiento del desplazamiento de la cuña salina.

Objetivo general

Realizar los estudios hidrogeológicos, geofísicos y de calidad del agua necesarios que permitan modelar distintos escenarios para determinar la mejor ubicación de una batería de pozos que funcionaría hipotéticamente como obra de toma de una planta desaladora para abastecer parte del uso público urbano de La Paz B.C.S.

Para lograr este objetivo se establece la siguiente metodología:

- Recopilación, análisis y depuración de información disponible para el área de estudio.
- Realización de estudios hidrogeológicos y geofísicos necesarios para análisis de distintos escenarios.
- Elaboración de un modelo hidrogeológico conceptual.
- Aplicación de un modelo de simulación computacional que resuelva las ecuaciones de flujo y transporte de masa.
- Determinación de la potencialidad, disponibilidad y sustentabilidad de los recursos de agua subterránea.
- Delimitación de zonas para ubicación de la obra de toma.



Objetivos específicos

Conocer las condiciones actuales de la calidad del agua subterránea en el acuífero de La Paz, así como determinar si el acuífero muestra una zona propicia para la toma de agua para desalación y abastecimiento de agua para uso público urbano, sin afectar la calidad de las aguas dulces del propio acuífero estudiado.

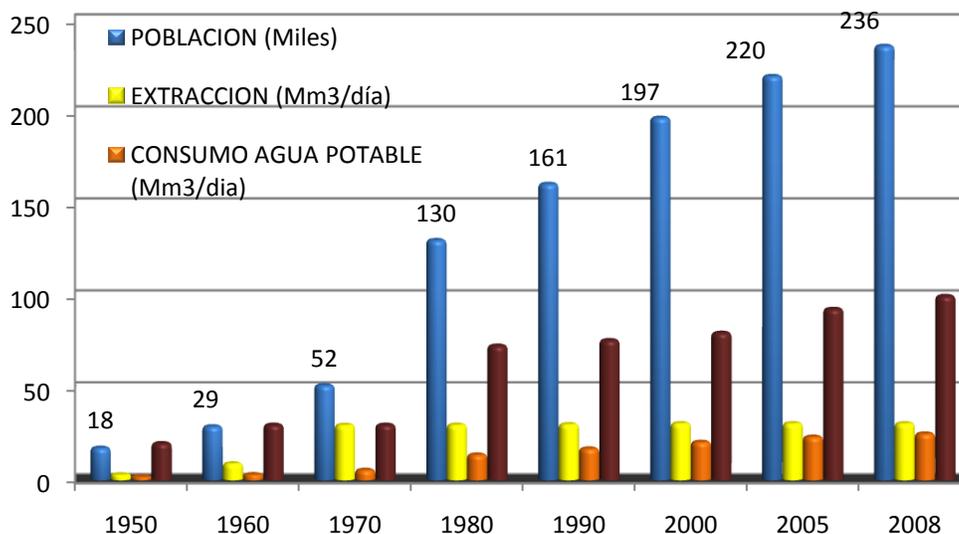
Para estos objetivos específicos se establecen los siguientes pasos a seguir:

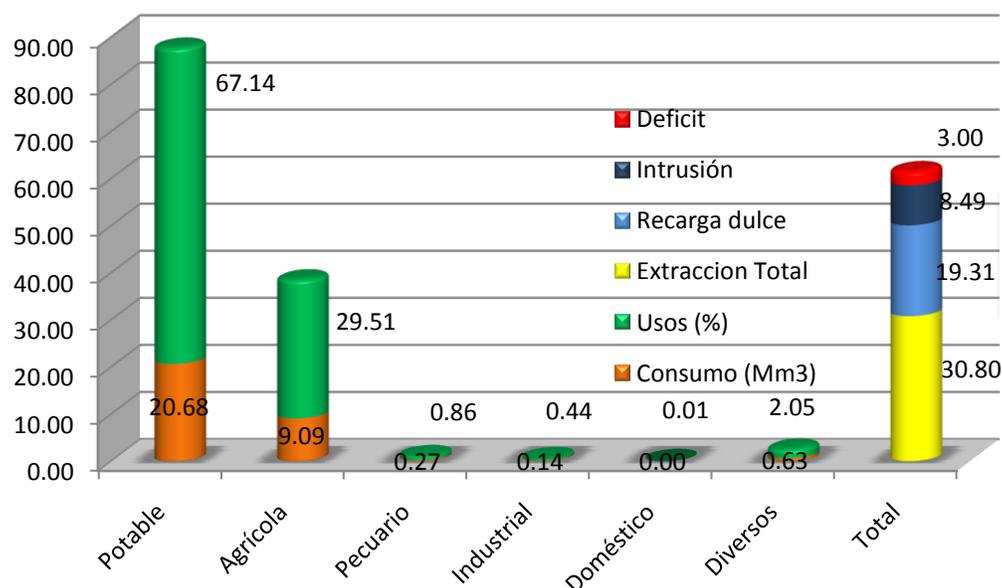
- Recopilación, análisis y depuración de información disponible para el área de estudio.
- Delimitar la zona de intrusión marina y determinar el grado de avance tierra adentro.
- Evaluar el efecto por instalación de una batería de pozos suficiente para alimentar a una desaladora hipotética y cuya localización contribuya a generar una barrera hidráulica que mitigue el avance de la intrusión marina.
- Evaluar el impacto al acuífero por implantación del proyecto.

Justificación y alcances

Particularmente en el caso del acuífero de La Paz es necesario llevar a cabo este tipo de estudios porque su viabilidad se encuentra ya en situación de riesgo por abatimiento y salinización por exceso de bombeo, ya que ha sido sujeto a explotación intensiva para usos agropecuario, industrial, doméstico y otros diversos, pero principalmente por el uso para agua potable que representa cerca del 70% de la extracción total; esto en virtud de que la ciudad de La Paz y su área conurbada concentra más del 46% de la población total del Estado y cerca ya del 65% de las actividades productivas, destacando el desarrollo turístico e inmobiliario también a nivel estatal (FIGURA 1.1).

FIGURA 1.1 EVOLUCIÓN DEMOGRÁFICA, EXPLOTACIÓN Y USOS DEL ACUÍFERO





Fuentes: La población de los municipios de México 1950-1990, CONAPO, 1994. XII Censo General de Población y Vivienda 2000 efectuado por el INEGI.* II Censo de Población y Vivienda del 2005. CONAGUA-CICSA Acuífero de la Paz 2000

Según datos de la Comisión Nacional del Agua, la extracción media ha sido mayor ($31\text{Mm}^3/\text{año}$) que la recarga ($28\text{Mm}^3/\text{año}$) y se estimaba en el año 2000 que ésta era aportada ya en un 30% por intrusión marina (FIGURA 1.2), con lo que el abatimiento del nivel freático y la transgresión se calculaban en promedio del orden de 2.05 m/año y 8 km en dirección hacia el sureste de La Paz, principal zona de recarga y extracción para agua potable (FIGURA 1.2.), ocasionando a su vez disminución en la calidad del agua subterránea con el consecuente cierre de pozos.

Ello ha provocado que el balance hídrico se mantenga negativo y que el abasto a la población sea insuficiente, con lo que la extracción y suministro del recurso se condiciona y encarece cada vez más, siendo el costo al consumidor entre $\$5$ y $\$54$ (pesos)/ m^3 según el volumen de consumo, conforme a las tarifas actuales únicamente para el servicio doméstico.

Así, considerando que la demanda actual estimada de agua potable es del orden de $1,200\text{ l/s}$ ($37.8\text{ Mm}^3/\text{año}$) y que el abasto es de 500 l/s ($15.8\text{ Mm}^3/\text{año}$), se tiene entonces un déficit de 700 l/s , exclusivamente para uso público-urbano, sin contemplar el abasto para otros usos.

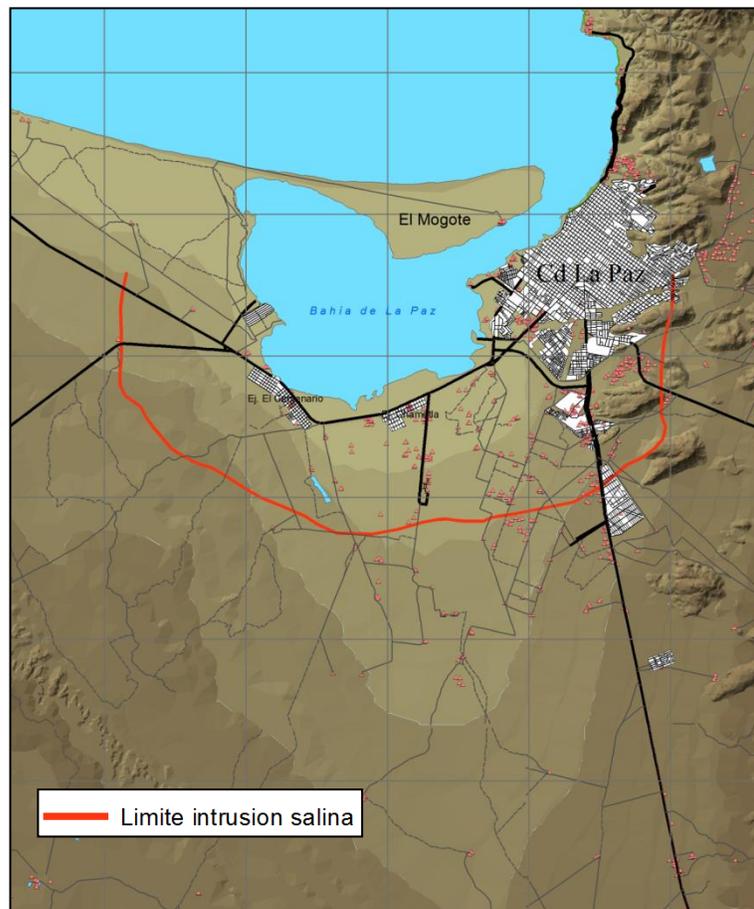
Es de esta manera que para poder subsanar el suministro de agua a la población se aplican políticas de distribución controlada, de manera que sólo el 60% de los usuarios recibe el servicio las 24 horas del día; 20% lo recibe durante 12 horas y el resto lo recibe tandeado



de 6 a 12 horas cada tercer o cuarto día (FIGURA 1.3, TABLA 1.1); problemática en la que contribuyen también el cierre de pozos, las pérdidas en tuberías urbanas y acueductos (40%), los asentamientos humanos de difícil acceso y las instituciones o comercios que requieren abasto diario mediante pipas (1,900 m³/día).

Es obvio entonces que para lograr la gestión integral del recurso se requiere de planeación estratégica a corto, mediano y largo plazos, así como inversión en infraestructura hidráulica, equipamiento y particularmente en investigación y aplicación tecnológica de opciones tanto para reutilización del agua (10.95 Mm³/año por aguas residuales) y potabilización así como para desalación de agua de mar (realizada ya por particulares), dado que la viabilidad del acuífero y la sustentabilidad social y económica de la localidad se encuentran definitivamente en riesgo.

FIGURA 1.2 DELIMITACIÓN DE LA TRANSGRESIÓN SALINA



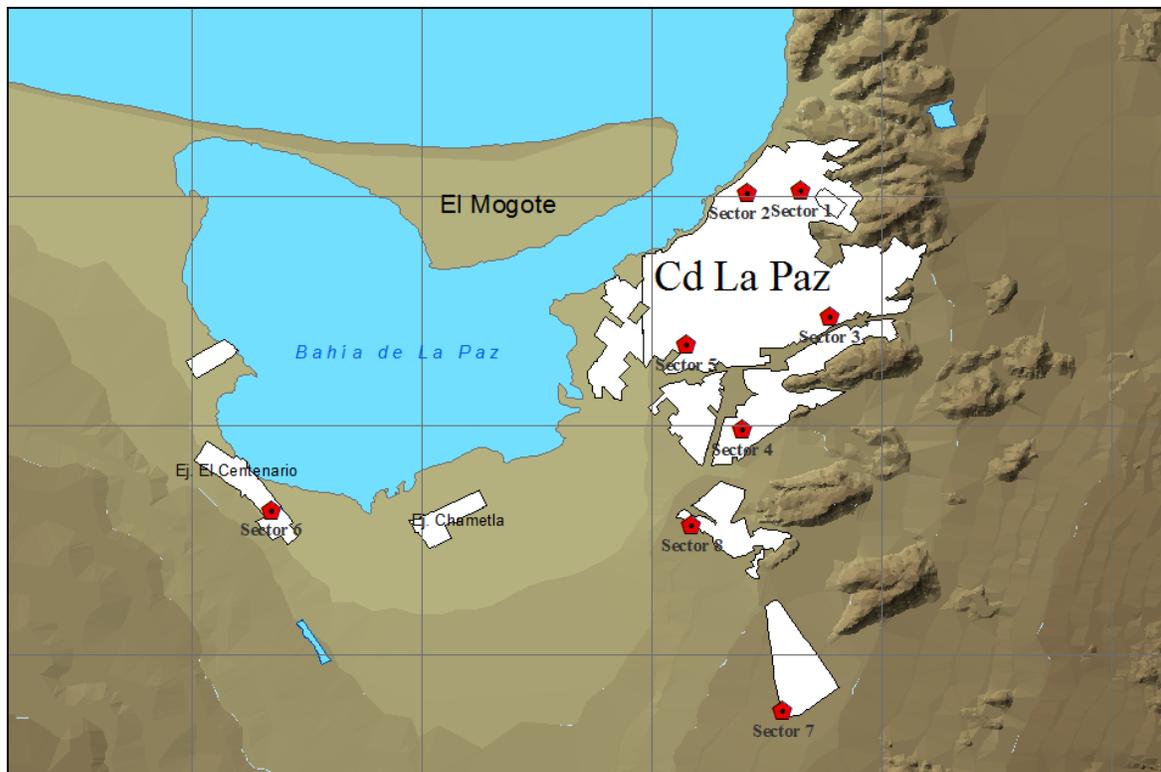
Fuente: CONAGUA-CICSA Acuífero de la Paz 2000.

Así pues, dado que la sustentabilidad del desarrollo social y económico en la localidad se vincula fuertemente a la disponibilidad y calidad del recurso hídrico subterráneo, así como a la política de manejo y uso eficiente del recurso en su contexto regional a mediano y largo plazos; independientemente de la problemática implícita en otras opciones de



manejo del recurso como podrían ser: el cierre de pozos y la prospección para apertura de nuevos; el trasvase del agua entre cuencas; la aplicación de tecnologías para tratamiento y reutilización del agua; la conformación de acuerdos de concesión o transferencia de estas aguas para fines agrícolas o de riego en desarrollos turísticos; la creación de infraestructura hidráulica para recarga y/o la reparación de redes de distribución para corregir pérdidas; es un hecho que la tecnología de desalación constituye ya una alternativa viable para solventar a corto plazo el déficit en el suministro a la población así como para mejorar la disponibilidad natural del recurso que en la región se clasifica como muy baja ya que con ella se podría evitar a costo razonable mayor extracción y alteración al acuífero.

FIGURA 1.3 DELIMITACIÓN DE SECTORES URBANOS CON SERVICIO DE AGUA POTABLE.



Actualmente los costos por desalación son competitivos a nivel internacional (\$1 USD/m³) y los impactos ambientales asociados a su operación se han estimado a nivel mundial en grado de poca significancia adversa al ambiente siempre y cuando la ubicación de esta industria analice previamente como sustento las características de las componentes técnicas, ambientales y sociales en su entorno, así como la magnitud de sus efectos por implantación y operación, a fin de establecer las medidas técnicas de control y mitigación pertinentes para la protección del ambiente y el beneficio a la sociedad.



TABLA 1.1 ANÁLISIS DEL SUMINISTRO POR FRECUENCIA Y HORARIO

SUMINISTRO DEL SERVICIO DIARIO Y POR TANDEO (horas/día)										
O.O.M.S.A.P.A.S	No. COLONIAS	Diario		Cada 3er. día				Cada 4to. día		No Recibe
		(3 a 6)	(6 a 12)	(3 a 6)	(6 a 12)	(12 a 18)	(18 a 24)	(3 a 6)	(6 a 12)	
Sector 1	14	4	--	3	7	--	--	--	--	--
Sector 2	21	--	--	5	9	3	--	1	3	--
Sector 3	21	--	3	4	11	2	1	--	--	--
Sector 4	6	--	--	--	--	--	3	--	1	2
Sector 5	17	--	17	--	--	--	--	--	--	--
Sector 6	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Sector 7	21	3	--	4	10	3	--	--	--	1
Sector 8	11	--	--	--	4	--	7	--	--	--
TOTALES	111	7	20	16	41	8	11	1	4	3

Fuente: Organismo Operador Municipal del Sistema de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de La Paz, 2008.

Es en este sentido que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) considera la posibilidad de instalar una planta desaladora en el entorno de la ciudad de La Paz, operada por osmosis inversa (OI) con capacidad de 200 litros por segundo (6.3 Mm³/año), como una opción que permitiría satisfacer a corto plazo el exceso de la demanda de agua potable requerida por la población. Por tal motivo contrató al Instituto de Ingeniería de la UNAM para desarrollar dicho trabajo.

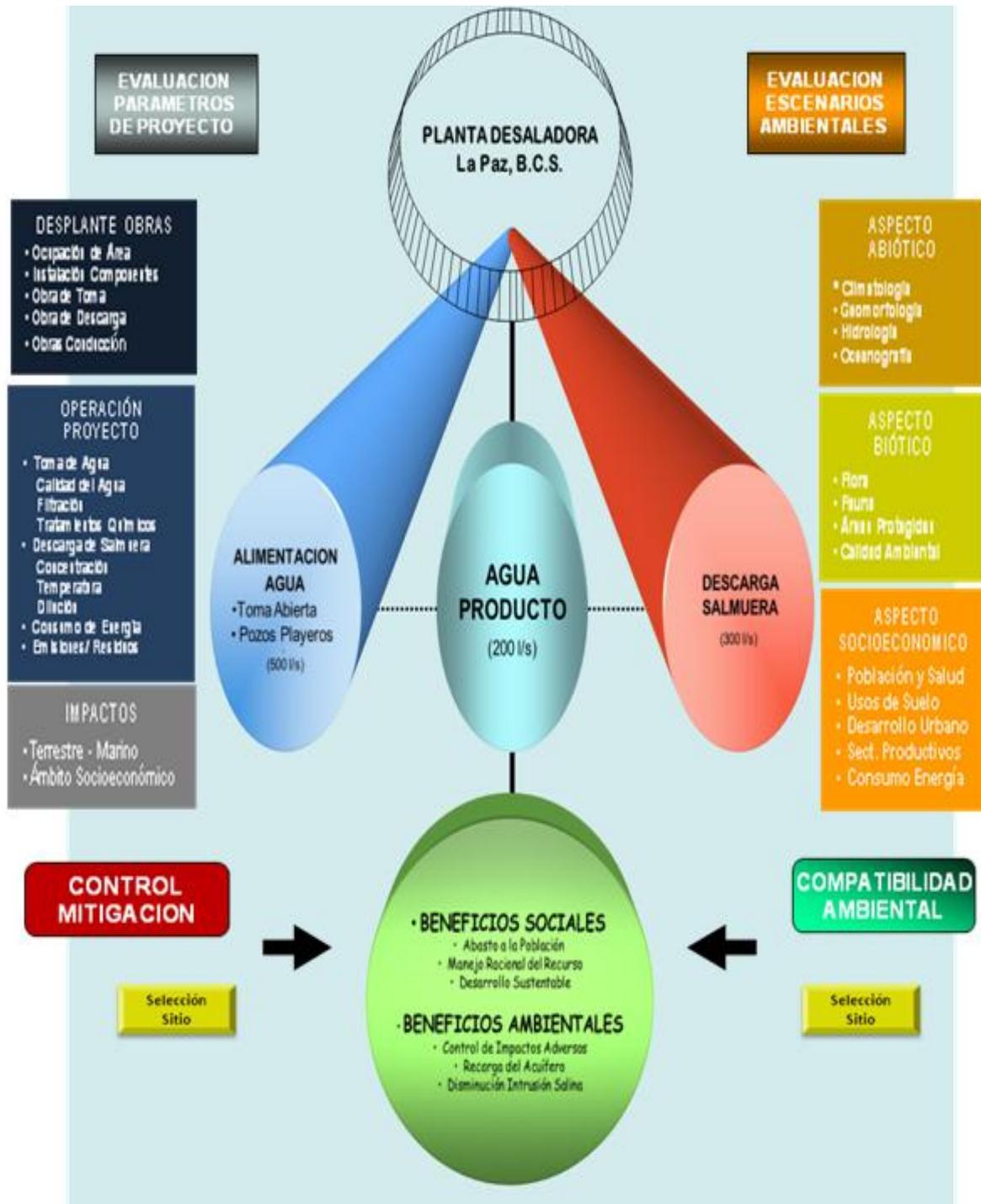
Aunque en el trabajo original realizado para la CONAGUA se incluyeron análisis de tipo técnico de desalación, económico y de impacto por descarga de salmuera (FIGURA 1.4), el presente trabajo de tesis se enfoca en el análisis de la ubicación de la obra de toma, su impacto en el acuífero y el avance de la intrusión marina.

Para ello se verificaron los siguientes aspectos:

- Evaluación del potencial hidrogeológico del acuífero
- Localización de la cuña salina
- Análisis del comportamiento histórico de los niveles del agua subterránea
- Modelación computacional del sistema acuífero
- Identificación de los sitios potenciales para ubicar la toma de la desaladora
- Impacto de la batería de alimentación al acuífero y su influencia en la cuña salina.



FIGURA 1.4 DELIMITACIÓN DE SECTORES URBANOS CON SERVICIO DE AGUA POTABLE.



Estudios previos

Para tener un punto de partida se realizó una compilación, análisis e integración cronológica de los diversos trabajos hidrogeológicos y geofísicos, que se han realizado en la zona por diferentes instituciones y empresas privadas, ya que ésta ha sido motivo de diferentes estudios encaminados a determinar las características físicas, avance de la intrusión salina y grado de explotación a que ha estado sujeto el acuífero de la región. A continuación se realizó una síntesis de tan solo algunos de ellos.

- ESTUDIO GEOFÍSICO EN LAS ZONAS DE LA PAZ, EL CARRIZAL, ARROYOS SAN JOSÉ DEL CABO Y SANTIAGO, EN EL TERRITORIO DE BAJA CALIFORNIA SUR.

En 1971, la empresa GEOFIMEX, S.A. realizó el estudio geofísico en las zonas: La Paz, El Carrizal, Arroyos San José del Cabo y Santiago, en el territorio de Baja California Sur, teniendo como finalidad primordial definir la configuración del basamento para los valles de la Paz, Arroyo Cajoncitos y Arroyo San José del Cabo. Para la zona de El Carrizal y Juan Márquez. El objetivo fue la localización de los niveles acuíferos salados. Mientras que en la zona del Arroyo Santiago, informa sobre la estructura de los terrenos permeables o impermeables del subsuelo del valle.

Según este estudio, para el valle de La Paz, se tienen formaciones superficiales del reciente desde 120 hasta 200m de espesor y para Cajoncitos, la profundidad del recubrimiento reciente sobre el volcánico del grupo semipermeable es de 80 a 110m.

Los estudios en el área del Carrizal – Juan Márquez, los rellenos del Carrizal se realizaron en materiales de los periodos geológicos recientes en régimen endorreico y aún, actualmente, se forma una zona inundada junto al lugar de El Carrizal donde las medidas geofísicas tienen por objeto determinar las áreas más saladas así como su extensión en profundidad y en el caso de Juan Márquez explorar la estructura de los rellenos y la posición del fondo a lo largo de un perfil de unos 7km. Los resultados obtenidos en el Carrizal indican resistividades más bajas, atribuidas a zonas salobres son bastante superficiales y las aguas que puedan aparecer por debajo de unos 30 – 40m, serán probablemente poco a nada salobres y la zona más salada debe encontrarse únicamente entre 10 – 15m.

- ESTUDIOS GEOHIDROLÓGICOS DE LOS VALLES DE LA PAZ Y CARRIZAL, TERRITORIO DE BAJA CALIFORNIA

En 1972 la Secretaría de Recursos Hidráulicos, encomendó a la Cía. Ingesa, ingeniería y Geotécnia, S.A. el estudio mencionado, del cual se consultaron los planos de igual contenido de cloruro, sulfatos, calcio, magnesio, boro, sílice, magnesio y calcio,



conductividades eléctricas; así como configuraciones de los niveles estáticos del Valle de la Paz y Carrizal del año de 1970-1972; las configuraciones de precipitaciones media mensual y anual de 1961-1970.

- ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DEL VALLE DE LA PAZ DE BAJA CALIFORNIA

La empresa Técnicas Modernas de Ingeniería, S.A., en diciembre de 1974 fue encomendada por la Secretaría de Recursos Hidráulicos a realizar este estudio geohidrológico en el cual se recomienda disminuir en lo posible las extracciones para reducir la velocidad de avance del agua salada así como redistribuir los pozos simultáneamente.

El suministro de agua para usos municipal, industrial y turístico será cada vez mas costoso, por lo que es necesario estudiar la factibilidad económica y social que esto conlleva de suprimir parcial o totalmente la agricultura para destinar el escaso recurso hidráulico.

Es recomendable la construcción de bordos a lo largo del cauce del Arroyo el Cajoncito con el objeto de frenar el escurrimiento y dispersar el agua en áreas extensas, propiciando así la infiltración y se podrían construir con el mismo material del arroyo, así que sería relativamente económico.

- ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO COMPLEMENTARIO DE LAS CUENCAS LA PAZ – EL CARRIZAL, PARA PROPORCIONAR AGUA EN BLOQUE A LA CIUDAD DE LA PAZ, B.C.S.

En febrero de 1986, la Secretaría de Recursos Hidráulicos realizo este estudio en conjunto con la Universidad Autónoma de Baja California Sur, en el cual se ofrece un panorama global de la situación geohidrológica de la región. Prácticamente nada del agua precipitada por una lluvia normal y alrededor del 20% durante un ciclón alcanza a escurrir y llegar al mar.

El área de estudio presenta zonas favorables para: captación en su flanco este, infiltración y recarga en la franja centro, principalmente a través de los arroyos mientras que hacia el flanco oeste el potencial para la infiltración y captación es menor.

Un logro importante del estudio fue el ordenamiento de gran cúmulo de información parte de la cual fue vertida en el censo de pozos. Por primera vez no se marcaron los pozos en el campo, sino que fueron localizados en un mapa un total de 735 aprovechamientos. De estos, 231 son pozos profundos, 43 pozos exploratorios, 405 norias, 46 norias telescopiadas y 10 manantiales.

En las inmediaciones de la bahía de la Paz fueron detectadas 3 zonas contaminadas, la central asociada probablemente al arroyo La Paz. En la costa del Océano Pacífico una zona



de buena calidad en la desembocadura del arroyo el Carrizal separa en los extremos dos áreas contaminadas. Por lo demás, el avance de la intrusión de agua de mar ha sido relativamente lenta, del orden de 200m/año y la Ensenada de la Paz parece que actúa, hasta cierto punto como un freno dinámico.

- **MODELO MATEMÁTICO DE LOS ACUÍFEROS DE LA PAZ – CARRIZAL, B.C.S.**

La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, en conjunto con la Universidad Nacional Autónoma de México, el Instituto de Geofísica y el Departamento de Modelación Computacional, efectuaron el estudio e modelación en diciembre de 1986, el cual está disponible y en condiciones de predecir el comportamiento del acuífero frente a diferentes alternativas de explotación.

Se observó que el avance de la intrusión salina es más rápido se continúan explotando pozos en la posición actual en vez de reubicarlos. Esto se deduce de la comparación de las alternativas consideradas. Cabe mencionar, que el basurero municipal no representa un problema de contaminación del acuífero bajo las condiciones actuales, sin embargo; un evento puntual de precipitación relevante como lo es un huracán puede traducirse en un aumento de contaminación.

Una de las conclusiones a las que se llegaron en este trabajo fueron que con respecto a la primera alternativa propuesta, que indica explotación con incremento de 30% cada 10 años; con el modelo se obtuvo que se general abatimientos que llegan hasta 40 metros en 40 años, por lo que según este trabajo esta propuesta es aceptable.

Otra alternativa dice que la reubicación de pozos da lugar a un incremento de los niveles piezométricos (1 a 2m) respecto a lo obtenido en la alternativa 1, esto se observa en la zona del Centenario.

Se modelaron secuencias de transporte para las alternativas 1 y 2, y se observó una velocidad de avance del frente salino de 1.5km por cada 10 años, en promedio.

- **SINOPSIS GEOHIDROLÓGICA DEL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA SUR**

La Comisión Nacional del Agua, y la Secretaría de Recursos Hidráulicos, realizaron el estudio aquí mencionado donde se tiene que Baja California Sur dispone de un volumen medio anual de agua de 405Mm³, donde 300Mm³ corresponden al rendimiento permanente de los acuíferos, y 105Mm³ al escurrimiento medio anual de las corrientes superficiales.

A causa de la sobreexplotación, los acuíferos Santo Domingo, La Paz – Carrizal y Los Planes están perdiendo anualmente unos 352Mm³, lo cual implica el incremento de la intrusión marina.



La escasez del recurso hidráulico constituye la limitante principal para el desarrollo de la entidad. Si se mantienen las condiciones actuales de aprovechamiento y renovación de los acuíferos, no habrá disponibilidad suficiente de agua para realizar los programas de desarrollo que se han concebido para horizontes de planeación tan cercanos como el 2005.

- CENSO DE CAPTACIONES DE AGUA SUBTERRÁNEAS Y COLECCIÓN DE DATOS GEOHIDROLÓGICOS EN LA ZONA LA PAZ – EL CARRIZAL B.C.S.

En 1997 la empresa ADI construcciones, S.A. de C.V. realizó para la Comisión Nacional del Agua el citado estudio. El objetivo de este trabajo fue la actualización del conocimiento de las condiciones de funcionamiento de los acuíferos y, en particular, hacer un bosquejo de su geometría y fronteras con base en la información existente, así como actualizar el censo de captaciones de agua subterránea, la piezometría y aportar información hidrogeoquímica para la vigilancia y control permanente de la calidad del agua.

De los resultados obtenidos en este estudio destaca que en este valle la calidad del agua está dominada por aguas de tipo sódico clorurado, lo que es atribuible a la abundancia de sedimentos marinos en el subsuelo que ocupa el acuífero del Valle de la Paz. El contenido de sales varía dentro del rango de 430 hasta 3900ppm de STD y las concentraciones mayores de 1000ppm de STD se registran en las llanuras costeras.

Se determinó que los principales contaminantes corresponden a sales y diversos compuestos en solución derivados de las aguas excedentes del riego, así como de la aplicación de pesticidas y fertilizantes, también existen contaminantes orgánicos como inorgánicos que so acarreados por las aguas originadas en las zonas urbanas e industriales.

Finalmente, en el valle de la Paz, se tiene un relleno sanitario al oriente del valle y cercano a una de las baterías de pozos de agua potable que abastece a la ciudad de la Paz. Existe también una laguna de oxidación que se localiza entre la costa y el borde norte de la zona agrícola que aporta sus aguas para el riego de cultivos ubicados en la porción noroccidental del valle, factores que generan una amenaza pues provocan la degradación de la calidad del agua subterránea, por lo que se consideran como focos de contaminación.

- REACTIVACIÓN DE REDES DE MONITOREO EN LOS ACUÍFEROS DE LOS VALLES DE: SANTIAGO, SANTO DOMINGO, LA PAZ Y SAN JOSÉ DEL CABO, EN EL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA SUR.

Para 1997 la Compañía Técnicas Geológicas y Mineras S.A. de C.V. publicó este estudio, donde se hace una evaluación de la red de monitoreo actual, estableciendo las



modificaciones necesarias para su optimización, dando como resultado el diseño de la red definitiva y la inclusión de pozos piloto y piezométricos en la nueva red.

En dicho estudio se determinó que el ritmo de explotación generó depresiones piezométricas y por lo tanto la inversión del gradiente hidráulico en la zona costera del valle de la Paz, fenómeno que ha propiciado la intrusión marina y que fue determinado por la configuración de las curvas de igual evolución del nivel estático, las cuales muestran un descenso de la superficie freática hasta de 4 metros.

El acuífero se manifiesta sobreexplotado, ya que se observa un abatimiento anual promedio de 0.30m en el periodo de 1996-1997.

- ESTUDIO DE SIMULACIÓN HIDRODINÁMICA DE LOS ACUÍFEROS DE LA PAZ Y SAN JOSÉ DEL CABO BAJA CALIFORNIA SUR.

La empresa Proyectos Antares S.A. de C.V. en el año de 1998 llevó a cabo para la Comisión Nacional del Agua este estudio, el cual tuvo como objetivo el diseño de la red óptima de pozos de observación, que considere la variación de los niveles de agua subterránea y su calidad, así como la realización de un modelo tridimensional de simulación y predicción con Visual Modflow.

Otro problema al que se pretendía dar solución fue conocer la disponibilidad del acuífero de la Paz y de igual manera determinar la distribución espacial de los parámetros hidráulicos y la geometría espacial del sistema acuífero.

Durante los años 70s, la explotación en la costa generó abatimientos en los niveles piezométricos por debajo del nivel del mar y en particular, los centros de bombeo se localizaban en el área de riego, paralelo al aeropuerto y en la parte urbana de la Ciudad de La Paz, esto provocó la inversión del flujo subterráneo en la línea de costa y la reducción paulatina de la descarga natural de agua dulce hasta su extinción. Para los 80s se realizó la reubicación de los pozos de bombeo, con el fin de evitar la extracción de agua salina en las captaciones de uso doméstico además se construyeron tres acueductos destinados al abastecimiento de la ciudad de la Paz pero esto no fue suficiente y la extracción siguió superando la recarga y el déficit no permitió la recuperación de los niveles por arriba del nivel del mar y el avance de la cuña salina continuó en dirección de la línea de costa hacia el centro de bombeo.

Como resultado se recomendó la reubicación de los pozos y reducción del bombeo en función de la recarga media anual, así como el tratamiento de las aguas salobres y finalmente llevar a cabo recarga artificial con agua residual tratada.



- INFORME DE DETECCIÓN DE FUENTES DE CONTAMINACIÓN E INICIO DE RESTAURACIÓN DEL ACUÍFERO ASOCIADO A LA SUPERINTENDENCIA LOCAL DE VENTAS EN LA PAZ B.C.S. PEMEX – REFINACIÓN.

Este estudio tuvo como objetivo tener información directa de las condiciones geológicas del subsuelo; es decir, determinar el tipo, distribución y los espesores de los materiales que lo conforman, así como estimar en forma cualitativa las características de permeabilidad de los mismos, con la finalidad de seleccionar las mejores áreas para la ubicación de los pozos de monitoreo y extracción de producto libre.

En este informe se presentan 5 secciones geoelectricas en donde se pueden distinguir las unidades geoelectricas así como la resistividad en diferentes puntos.

De igual forma, se cuenta con un breve marco geológico de la zona.

- USO Y DESTINO DE LAS AGUAS NEGRAS DE LA CIUDAD DE LA PAZ

Elaborado por Graziella Sánchez Mota, profesora e investigadora de la Facultad de Ciencias Políticas y Administración Pública de la Universidad Autónoma de Baja California Sur. Este artículo tiene como finalidad describir la problemática que se tiene en la Ciudad de la Paz, B.C.S. debido al uso de aguas residuales.

Para 1992 tan sólo se lograron regar 80 hectáreas con aguas residuales, así que para el año de 1993 se construye el sistema de colectores de las aguas residuales, el cual resuelve la descarga y contaminación directa de la bahía y el control de la filtración de agua de mar al drenaje, finalmente para 1994 se construye una planta de tratamiento de aguas residuales por Triturados Basálticos y Derivados S.A. de C.V.

- DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN EL ACUÍFERO LA PAZ, ESTADO DE BAJA CALIFORNIA SUR.

Elaborado por la Comisión Nacional del Agua, en el año 2000, dentro del cual se define de manera general la localización de la cuenca de la Paz así como los vértices de control que definen la poligonal de la cuenca, el clima, la hidrografía y la geología que gobiernan esta zona.

Se determinó de acuerdo a los diagramas de Piper dos familias de aguas predominantes, la sódica clorurada, la cual es característica de la intrusión marina y la sódica clorurada y mixta cálcica clorurada las cuales se localizan hacia la parte poniente y sur de la zona.

La evolución media de los niveles estáticos dentro de La Paz B.C.S. muestra un abatimiento progresivo del orden de 30cm/año y que desde 1977 se encuentra en una



posición media bajo el nivel del mar lo cual hace que la intrusión marina avance tierra adentro, además de la excesiva concentración de pozos que se tienen sobre la línea de costa.

Los valores de transmisividad obtenidos en la reinterpretación de las pruebas de bombeo por el método de Jacob varían de 1.22 a 14.3×10^{-3} m²/s.

Se tienen 212 pozos titulados, de los cuales 54 son de uso agrícola, 15 agrícolas – pecuarios – domésticos, 134 pecuarios – domésticos, 4 servicios, 2 públicos urbanos y 3 industriales.

El volumen actualmente concesionado es de 29.66Mm³, de los cuales 18.27Mm³ son para uso público – urbano, 10.59Mm³ para uso agrícola, 469 390 para uso pecuario – doméstico, 152 222 para servicios y 175 000 para uso industrial.

Finalmente, en el acuífero de la Paz B.C.S. el volumen anual concesionado, de acuerdo con los títulos de concesión inscritos en el REPGA, de la Subdirección General de Administración del Agua al 15 de octubre de 2000 es de 30'850,182 m³/año.

- ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN Y MODELACIÓN DE LA INTRUSIÓN MARINA EN EL ACUÍFERO LA PAZ, ESTADO DE BAJA CALIFORNIA SUR.

Este estudio fue realizado para la CONAGUA por CIGSA en el 2001, el objetivo principal del estudio fue el de elaborar un modelo de flujo y transporte de masa para conocer las condiciones de afectación por salinización mediante la revisión del modelo conceptual del funcionamiento hidrodinámico, así como determinar el volumen de agua de mala calidad que se incorpora al acuífero.

Los rasgos indicadores de sistemas de flujo determinan que topográficamente la zona de recarga del sistema hidrológico del área estudiada se inicia en los extremos poniente y sur del valle de La Paz, hasta alcanzar las áreas de las sierras mas prominentes de la parte oriental.

La piezometría muestra que los pozos con mayor profundidad y niveles estáticos mas profundos se ubican en las zonas de recarga y por el otro la zona de descarga la determina flujos verticales hacia arriba, lo que está representado por los pozos con niveles estáticos menores a 20 m de profundidad, el dominio del flujo de las aguas subterráneas está controlado por un flujo lateral, que de acuerdo con los datos de los niveles tiene un sentido hacia el mar. La actualización del censo de las obras de captación contiene un total de 171 aprovechamientos de aguas subterráneas (ADI, 1997).



Los hidrógrafos muestran una clara tendencia de abatimiento, que de manera generalizada, en los 10 últimos años, ha sido en promedio de 10 m. Los datos piezométricos más recientes son del año 2000 y muestran que las áreas de mayor explotación se presentan en la porción centro y norte del valle, con valores de profundidad cercanos a los 10 m. Las zonas con mayores profundidades se presentan hacia la zona de sierras, en donde existen aprovechamientos con más de 50 m de profundidad al nivel estático.

Los datos de elevación del nivel estático del año 2000, manifiestan que en el sur de Chametla los niveles están por debajo de los 25 m bnm, de igual forma en Villas de la Paz los valores son inferiores a los 20 m bnm. De acuerdo con lo anterior la dirección de flujo es principalmente hacia el valle en donde existen áreas que presentan abatimientos que provocan la inversión del gradiente hidráulico, fenómeno que genera la intrusión salina, la cual avanza hacia la zona más interna del valle. La evolución del nivel estático en el periodo comprendido entre los años 1997 y 2000, presenta valores generalizados de abatimiento de 1 m pero que pueden llegar hasta los 10 m, sin embargo el hidrógrafo regional muestra un abatimiento general de 2.05 m en el periodo 1999-2000. La reinterpretación de las pruebas de bombeo, en general muestran datos consistentes con la composición de los materiales descritos en el modelo geológico, sin embargo, estos fueron tomados bajo condiciones que no cumplen con los requisitos de la metodología de los ensayos de bombeo. Por la distribución espacial de las pruebas se considera que las conductividades hidráulicas en los primeros 60 m de espesor del acuífero son del orden promedio de 0.00055 m/seg, los coeficientes de almacenamiento específico (Ss) que se presentan son en promedio de 0.003 1/m y el rendimiento específico (Sy) se tomo como base el valor 0.1.

Se considera que la mayor parte de los pozos profundos están extrayendo una mezcla de flujos intermedios y locales en donde la salinidad de las aguas deriva de la formación y no por contaminación de agua salada marina, ya que en su composición química (Na HCO₃), no se presenta el intercambio catiónico de Na⁺ del agua marina por el Ca²⁺ del agua del acuífero cambiando del tipo Na Cl al tipo Ca Cl, como se manifiesta en los pozos someros del medio poroso. La solución de la ecuación de balance determina que la recarga total al acuífero es de 21.911 Mm³. Sin embargo la recarga total de agua dulce al acuífero presenta un valor de solo 13.4192 Mm³, por lo cual el ritmo de explotación del acuífero (31.796 Mm³) provoca el abatimiento del nivel de las aguas subterráneas (2.05 m anuales) lo que se ve traducido en la aportación de un volumen de agua marina de 8.4918 Mm³/año ya que el cambio de almacenamiento presenta un valor de -9.579 Mm³/año.

- CARACTERIZACIÓN Y DIAGNÓSTICO DEL ACUÍFERO DE LA PAZ, B.C.S. MEDIANTE ESTUDIOS GEOFÍSICOS Y GEOHIDROLÓGICOS



Se refiere a una tesis doctoral presentada por Arturo Cruz Falcón en el año 2007 para el CICIMAR, de la cual se tomaron en consideración los siguientes aspectos:

El modelo de capas del acuífero de La Paz está representado por seis unidades hidroestratigráficas. Las tres capas superiores de donde se extrae el agua conforman un acuífero libre, el cual tiene como basamento una capa volcánica poco permeable. Las tres capas inferiores conforman un acuífero semiconfinado, el cual tiene un basamento cristalino a mayor profundidad.

Con base en la interpretación gravimétrica, se encontró que la geometría del basamento en el valle de La Paz se caracteriza por ser irregular. Más somero en la parte central-este y sur del valle, y se profundiza hacia el oeste, nornoroeste y nornoreste, con un basculamiento general hacia el WNW y la Bahía de La Paz. Las zonas más profundas son los bajos estructurales: Bonfil (1500 m), El Coyote (1400 m), y La Paz-El Carrizal (1200 m). De acuerdo a los cálculos de capacidad de almacenamiento, el volumen potencial de agua que se puede contener en la zona de explotación acuífera (hasta el basamento del acuífero), considerando una profundidad media del nivel estático de 30 m y una porosidad de 19.5%, es de 9,467 Mm³, pero solo se puede disponer de una décima parte equivalente a 947 Mm³. Una porción no determinada de este volumen es de agua salobre o salada, que ha invadido el acuífero.

El frente de la cuña de agua de mar (contorno de 2000 mg/l) se localizó aproximadamente a 5.25 km en la parte este, y 6.25 km en la parte oeste de la zona de explotación acuífera (datos del año 2004).

La cuenca de La Paz recibe un promedio de 410 Mm³/año de agua de lluvia. Dentro de ésta, la subcuenca de El Novillo capta cerca del 50%, pero además forma parte de las principales zonas de recarga. Del total de precipitación que recibe la cuenca de La Paz, un 82% se evapotranspira, un 2% escurre superficialmente y un 16% se infiltra en el terreno. El volumen infiltrado en la cuenca es de aproximadamente 67 Mm³/año. Parte de esta recarga se transporta al acuífero por escurrimiento subsuperficial y por flujo subterráneo, y el resto se distribuye en forma subterránea a otras partes de la cuenca.

La recarga total de agua dulce estimada para la zona de explotación acuífera con una superficie de 200 km² (año 2004), es de 18.5 Mm³/año. Con una extracción de 31.8 Mm³/año se estimó un balance hidrológico de -13.3 Mm³/año, pero debido a la recarga estimada de agua de mar de 4.3 Mm³/año, el balance se reduce a -9 Mm³/año. Del déficit total de agua dulce provocado anualmente (2004) por la sobreexplotación del acuífero, una tercera parte es ocupada por agua de mar. La recarga promedio anual en la zona de explotación acuífera, asumiendo que la recarga estimada para cualquier año corresponde a las precipitaciones del año anterior, con datos de las precipitaciones de 1980 a 2004, se estimó en 13.02 Mm³/año, y el balance promedio en -17 Mm³/año.



Localización, extensión y sitio evaluado

La ciudad de La Paz, capital del Estado de Baja California Sur, se localiza geográficamente a los 24° 09' 41" de latitud norte y a los 110° 18' 50" de longitud oeste, a una altitud de 30 metros sobre el nivel medio del mar (s.n.m.m.). Se ubica en la porción sureste del estado de Baja California Sur, el cual se sitúa entre los paralelos 24°19'52" y 23°48'22" de latitud norte y los meridianos 110°06'18" y 110°21'53" de longitud oeste.

El área que comprende el acuífero de La Paz se sitúa en un amplio valle colindante con la Ensenada de La Paz y con la Bahía de La Paz en el Golfo de California, la cual se ubica entre los paralelos 24°48' y 24°12' de latitud norte y los meridianos 110°42' y 110°18' de longitud oeste (FIGURA 1.5).

FIGURA 1.5 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

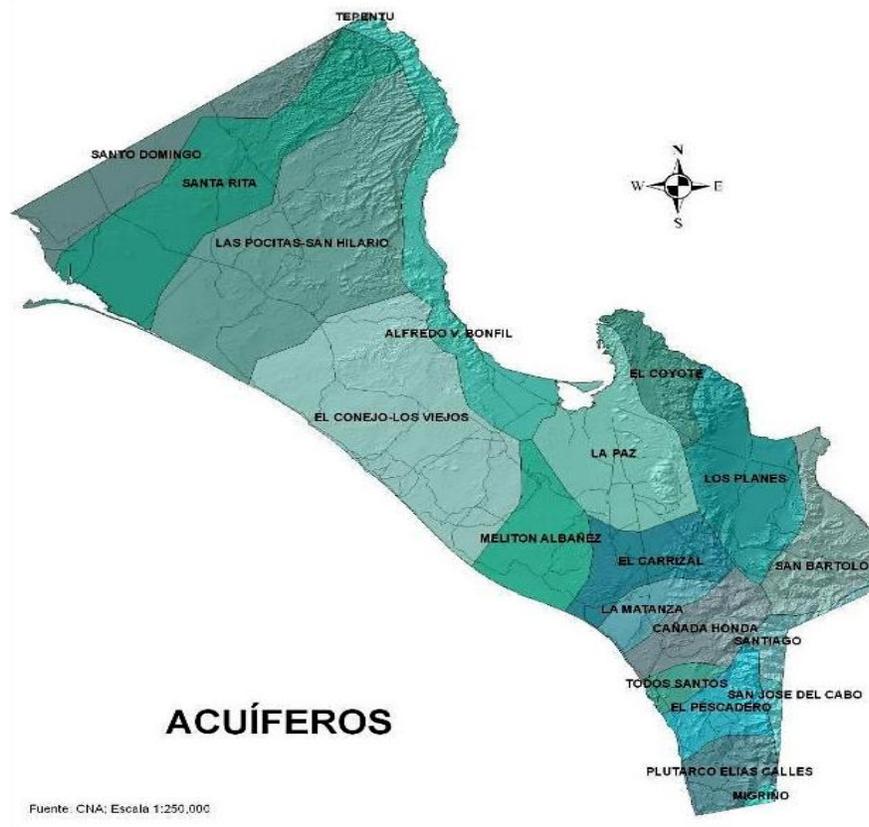


El acuífero La Paz se ubica a su vez dentro del Municipio de La Paz, el cual por su extensión y características geográficas se ha diferenciado espacialmente en acuíferos asociados a fallas geológicas y estructuras orográficas (cuencas hidrológicas), siendo los de mayor importancia por su vecindad con el área de estudio los siguientes: El Coyote, San Juan de los Planes, El Carrizal, Melitón Albañes y Alfredo V. Bonfil, mismos que por estar sujetos a diferentes usos y niveles de extracción presentan diversas condiciones de calidad del agua y de abatimiento en su nivel freático (FIGURA 1.6).

Entre las principales localidades urbanas o rurales del área, dentro de la zona de influencia del acuífero La Paz, destacan: ciudad de la Paz, El Centenario, Chametla, El Cardonal y Cajeme.

Con la finalidad de promover un impacto directo al avance de la cuña salina y de proteger la batería de pozos de agua potable que abastece actualmente a la población de La Paz, se propuso el sitio de Chametla para realizar un análisis de la ubicación de la batería de alimentación de la planta desaladora.

FIGURA 1.6 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS ACUÍFEROS EN EL MUNICIPIO DE LA PAZ.



Condiciones ambientales

En cuanto al ecosistema terrestre se describen las características generales del ambiente terrestre en sus contextos regional y local.

Flora Regional y Local

Regionalmente se localizan cuatro ambientes de vegetación terrestre de los cuales dos son los que predominan en el área de estudio, determinados por: cactáceas, palmáceas, matorrales y arbustos, así como especies leguminosas espinosas y manglar. Esta vegetación se distribuye en laderas de montaña, llanuras de la franja costera y zonas ribereñas de inundación (FIGURA 1.7). Entre las especies características se encuentran grandes cactáceas como son los cardones, emblemáticos en la región, pero también se encuentra biznaga, yuca, choya, pitahaya, garambullo, gobernadora, jojoba, torote, lomboy, palo de Adán, palo blanco y mangle.

En áreas de altitud media predomina la selva baja, determinada por árboles menores a 15 metros y en la parte alta de la sierra de La Laguna, con mayor precipitación y climas templados o semifríos, fuera de la zona de ubicación del proyecto, crecen los bosques de pino y encino. Localmente, la vegetación de cactáceas, palmáceas, matorral, arbustiva y de manglar se encuentra alterada en La Paz y su área conurbada por usos urbanos, turístico-inmobiliarios, agropecuarios o industriales, pero aún se tienen algunos sitios en el entorno de Punta Prieta, así como en la Ensenada de La Paz que no han sido significativamente modificados, destacando El Zacatal y El Mogote, integrados a un área de protección natural.

Respecto al Mogote, pese al desarrollo turístico - inmobiliario *Paraíso del Mar* que ya se desarrolla en su litoral Este, la vegetación presenta aún poca alteración en sus márgenes Norte, Sur y Oeste, en donde exhibe rasgos singulares que caracterizan ambientes de duna (VD), salitral (SAL) y manglar (MAN), con riqueza específica y diversidad de especies superior a zonas menos expuestas del litoral y con suelo más estabilizado, en donde se reportan hasta 43 especies diversas. Particularmente aquí predomina la vegetación de duna que se distribuye de Norte a Sur cubriendo prácticamente todo el frente de playa de suelo inestable que colinda con la Bahía de La Paz, seguida por matorral que se distribuye hacia la zona central de mayor estabilidad en suelos; denotándose también, zonas de manglar asociadas con salitrales, ambos básicamente inundables que se ubican en el extremo Oeste y en el frente Sureste de El Mogote, hacia el interior de la Ensenada de La Paz.



FIGURA 1.7 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA VEGETACION EN EL AREA DE ESTUDIO.

AREA PUNTA PRIETA



AREA EL ZACATAL-CHAMETLA



AREA EL MOGOTE – ENSENADA DE LA PAZ



Fuente: Visitas de campo realizadas por Instituto de Ingeniería UNAM



En general, la vegetación del área de estudio se encuentra en grave riesgo por el crecimiento urbano, inmobiliario-turístico y demográfico que se está experimentado a nivel regional y local, al grado que ya se tienen invasiones de Zona Marítima Federal y de áreas naturales consideradas en estatus de protección por SEMARNAT y organizaciones internacionales, principalmente en el litoral de la Ensenada de La Paz y en El Mogote, situación que alerta a grupos ecologistas y asociaciones civiles de la localidad, enfocadas al cuidado de estas áreas. De acuerdo a diagnósticos recientes de instituciones académicas nacionales y locales es posible que la flora de Baja California Sur, rebase las tres mil especies, de las cuales más del 20% se consideran endémicas, pero en el caso de algunas familias como las cactáceas sobrepasa el 70%.

Fauna Regional y Local

La distribución de la fauna silvestre está relacionada con los diferentes tipos de vegetación que predominan, así como con la altitud u orografía que se presenta a nivel regional. En las llanuras donde hay menor densidad vegetal se encuentran varias especies de aves, roedores, carnívoros y herbívoros tales como: la "chacuaca" o codorniz, la huilota, liebre, conejo, coyote y zorra. En regiones con vegetación densa de arbustos y matorrales se localiza generalmente animales como: paloma torcaza, mapache, "babisuri" o cacomixtle y gato montés. Asimismo, varias especies de aves como: águila, "aura" o zopilote, gavilán, lechuza y cuervo.

En las sierras más altas se encuentran entre otros: paloma de collar, "pitorreal", venado bura (*Odocoileus Hemionus*), zorrillo y puma, éste que generalmente habita donde abundan venados, ya que éstos son su principal alimento. También existen innumerables reptiles por toda la región, como: las "cachoras" o lagartijas, las iguanas y diferentes especies de víboras entre las que destacan: cascabel, "sorda", falso coralillo y la "chirriónera". Localmente, aunque el área de estudio se encuentra perturbada por actividades antrópicas y esto en general ahuyenta a la fauna, se pueden encontrar en la zona de acueductos y pozos, así como en la serranía de Punta Prieta-Pichilingue, algunas de las especies de aves, mamíferos y reptiles antes señaladas.

Respecto al área de la Ensenada de La Paz, precisamente por las llanuras de inundación y la vegetación de manglar presente en el estero El Conchalito y en El Mogote, predomina el grupo de las aves playeras que migran por la Península en otoño y primavera (FIGURA 2.6), ya que este sitio se ha constituido como uno de los últimos punto de alimentación utilizado por más de 20.000 aves al año siendo la más abundante el Playero Occidental (*Calidris mauri*). Asimismo, en la zona se encuentra más del 1% de las poblaciones biogeográficas de cinco especies como son: chorlo nevado (*Charadrius alexandrinus*; 1.13%), chorlo pico grueso (*Charadrius wilsonia*; 10.61%), chorlo semipalmeado (*Charadrius semipalmatus*; 1.8%), zarapito trinador (*Numenius phaeopus*; 1.01%) y picopando canelo (*Limosa fedoa*; 1.12%), por lo que en Marzo del 2006 la Ensenada de La



Paz fue declarada como Zona Natural Protegida dentro de los sitios RHARP (Red Hemisférica de Reservas para Aves Playeras).

Particularmente la zona de El Centenario-Chametla-Zacatal-El Mogote, al conformar gran parte de la Ensenada de La Paz, queda incluida en el AICA 93 (Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves en México), categoría G-1 (global), siendo esta categoría la más alta, misma que le fue adjudicada por la presencia de nidos del gallito marino menor (*Sterna antillarum browni*), subespecie en peligro de extinción; además, ahí anidan dos especies de chorlos (*Charadrius wilsonia* y *Charadrius alexandrinus*) y una de ostrero (*Haematopus palliatus*). En estas zonas de manglar anidan también diferentes especies de garzas como: garza azul (*Ardea herodias*), garza rojiza (*Egretta rufescens*), garza nocturna (*Nycticorax nycticorax* y *Nictanassa violacea*), garcitas verdes (*Butorides virescens*) y los íbices blancos (*Eudocimus albus*) (FIGURA 1.8).

Áreas Naturales Protegidas y/o de Conservación

Por su cercanía a la zona de estudio las áreas naturales de mayor importancia son: Isla Espíritu Santo, Isla Cerralvo y Ensenada de La Paz, única que tendría relación directa con el proyecto (TABLA 1.2), considerando además que ésta y la Bahía de La Paz han sido declaradas por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) como Áreas Prioritarias Marinas conforme al Programa de Ordenamiento Ecológico Marino del Golfo de California por lo que a nivel regional constituyen áreas críticas para la conservación de especies y sus hábitats; con un índice de fragilidad alto, debido a que son ecosistemas costeros con presencia de humedales, biodiversidad y de especies con estatus de riesgo o sujetas a protección especial.

Pese a lo anterior y dada la falta de algún programa serio de protección ambiental, se tienen entonces riesgos en la Bahía y Ensenada de La Paz debido a las tendencias del desarrollo socioeconómico, entre las que pueden citarse las siguientes:

- Construcción y desarrollo de megaproyectos turísticos, habitacionales y marinas en las márgenes de la Bahía y Ensenada de La Paz, principalmente en El Mogote
- Descargas de desechos líquidos (aguas residuales domésticas) y sólidos (plásticos, hules, etc.), así como derrames ocasionales de gasolina y lubricantes por la actividad náutica.
- Perturbación a la vegetación y fauna (aves) por actividades que implican rellenos con material terrígeno y por cambios en los patrones de corrientes o de sedimentación, que ocasionan la alteración y posible degradación del área.



FIGURA 1.8

FAUNA PROTEGIDA PREDOMINANTE EN EL AREA DE ESTUDIO.



Chorlo Pico grueso (*Charadrius wilsonia*)



Playero Occidental (*Calidris mauri*).



Gallito Marino Menor (*Sterna antillarum rowni*)



Garza Azul (*Ardea herodias*)



TABLA 1.2 PRINCIPALES ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS EN LA REGIÓN DE LA PAZ.

NOMBRE	CARACTERÍSTICAS	PROBLEMÁTICA
<i>Isla Espíritu Santo</i>	Superficie 9,591.16 ha. Forma parte de la Bahía de La Paz y se separa 6 km de la península por el Canal de San Lorenzo. Cuenta con paisaje espectacular por su erosión eólica e hídrica. Su vegetación predominante es de matorral xerófilo pero cuenta con manglar y pasto marino en parte de la Bahía de San Gabriel.	Fuerte erosión eólica e hídrica
<i>Isla Cerralvo</i>	Superficie 21,093.83 ha. Se ubica al Sur fuera de la Bahía de La Paz, separada de la península aproximadamente 12 km por el Canal Cerralvo. Sus costas son acantiladas, playas arenosas y de grava. Presenta gran población de subespecies endémicas de (<i>Cardinalis cardinales</i>); (<i>Picoïdes escalaris</i>) y <i>Amphispiza biineata</i>). Su vegetación es selva baja caducifolia, matorral xerófilo y sarcocrasicaule	Introducción de especies domésticas (gatos, cabras y ratones) que alteran a las poblaciones endémicas.
<i>Ensenada de La Paz</i>	Superficie 14,148.48 ha. Forma un Humedal costero rodeado de desierto sarcocaule con zonas de manglar y pastizal halófito. Por su planicie de inundación es sitio de invernación de numerosas especies playeras.	Manglar muy impactado por actividad antrópica asociada al desarrollo de la Ciudad de La Paz. Posee especies en peligro como: <i>Sterna antillarum</i> , <i>Hylocharis xantusii</i> y <i>Toxostoma cinereum</i> .

Fuente: Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP)

En lo tocante al ecosistema marino se describen las características ambientales que se relacionan básicamente con la operación del proyecto en cuanto a la toma y descarga del agua de proceso, tales como: batimetría, tipo de sedimento, mareas, corrientes, oleaje y propiedades fisicoquímicas del agua de mar.

Condiciones Litorales y Propiedades Fisicoquímicas del agua

La Ensenada de La Paz ocupa un área de 45 km² y queda limitada al Norte en su totalidad por la barrera arenosa El Mogote. Al Este se comunica con la Bahía de La Paz por un canal de 800 m de ancho, 8 m de profundidad y 16 km de longitud, siendo esta barrera el frente visual de la ciudad de La paz que se extiende por la margen Sur de la Ensenada. Al Oeste se tiene el litoral interior y cabecera de la Ensenada.

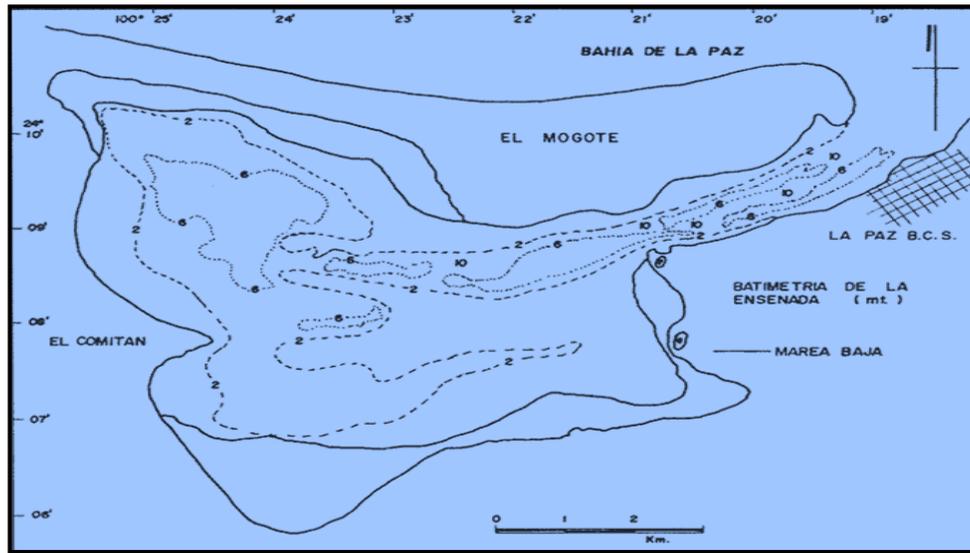
En la Ensenada de La Paz se distinguen cuatro rasgos batimétricos importantes (FIGURA 1.9):

- a) El Mogote que es la barra arenosa y se extiende en dirección Noreste hacia Punta Prieta.
- b) Un par de canales de marea dentro del canal principal, uno en la parte Norte de él paralelo al litoral de El Mogote y otro al Sur, paralelo a la costa de la ciudad, a través de los cuales tiene lugar el intercambio de agua entre la Ensenada y la Bahía.



- c) Un par de depresiones ubicadas una al Noroeste y otra al Suroeste de la Ensenada, con profundidades medias de 6 y 4 metros respectivamente.
- d) Extensas planicies de marea e inundación que la circundan y cubren aproximadamente el 50% del fondo, con pendiente muy suave y profundidades menores a 2 metros.

FIGURA 1.9 BATIMETRIA EN LA ENSENADA DE LA PAZ



Fuente: Espinoza-Avalos; HIDROGRAFIA DE LA ENSENADA DE LA PAZ CalCOFI 1979

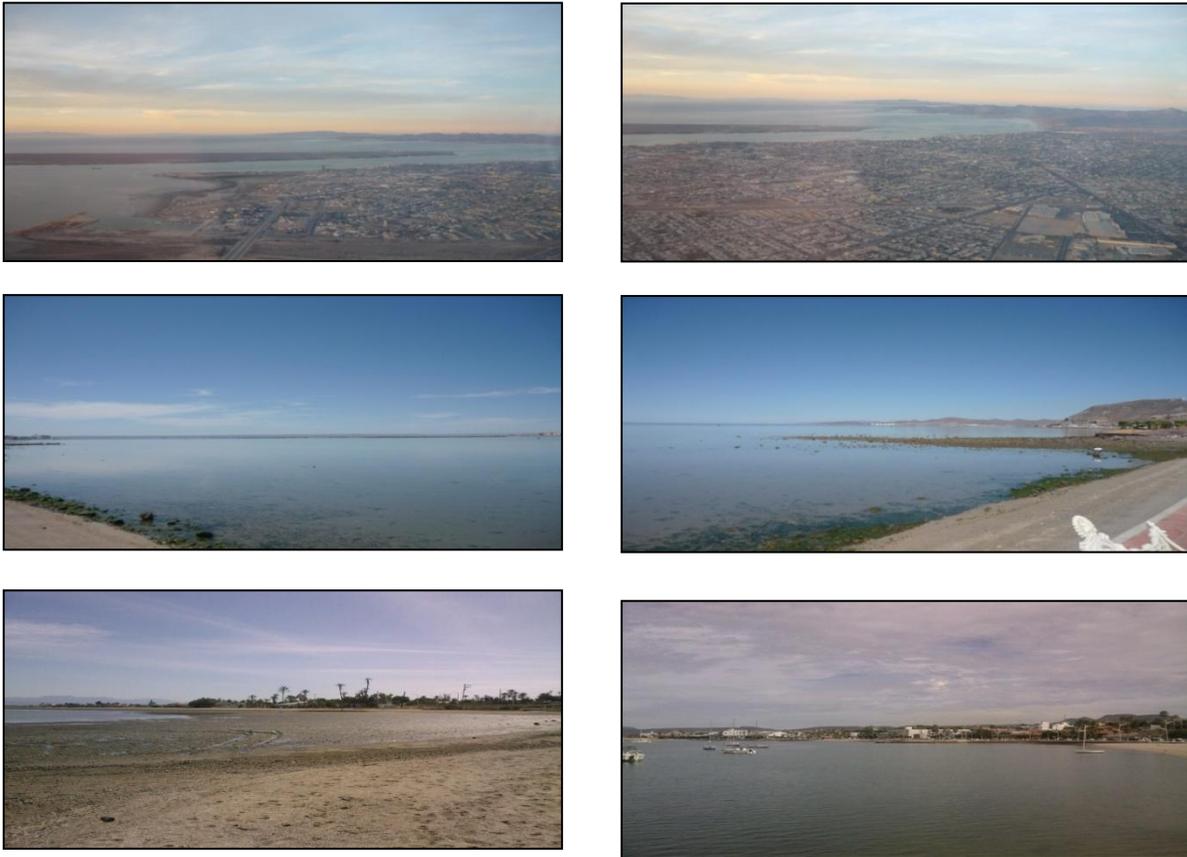
La Ensenada presenta un litoral formado por sedimento arenoso en su mayor parte, con algunos lugares lodosos en el Sureste y pequeñas zonas de sustrato formado por fragmentos de conchas. No existen zonas rocosas dentro de la Ensenada; sin embargo, aproximadamente en el 20% de su periferia, principalmente en la parte Norte que conforma el litoral de El Mogote, se observa un horizonte resistente constituido por canto rodado (FIGURA 1.10).

El fondo de la Ensenada presenta cuatro tipos de sustrato o facies sedimentarias:

1. Sustrato arenoso en los canales de marea, así como en la parte central y Norte
2. Sustrato de arena lodosa en una franja amplia que se extiende en sentido Este-Oeste desde Punta Conchuelas al Centenario en la parte Sur
3. Sustrato lodoso en el fondo de la depresión Noroeste y franja costera frente a Chametla
4. Sustrato lodo-arenoso en el fondo de la depresión Suroeste



FIGURA 1.10 DISTRIBUCIÓN SEDIMENTARIA Y CARACTERÍSTICAS DEL LITORAL EN LA ENSENADA



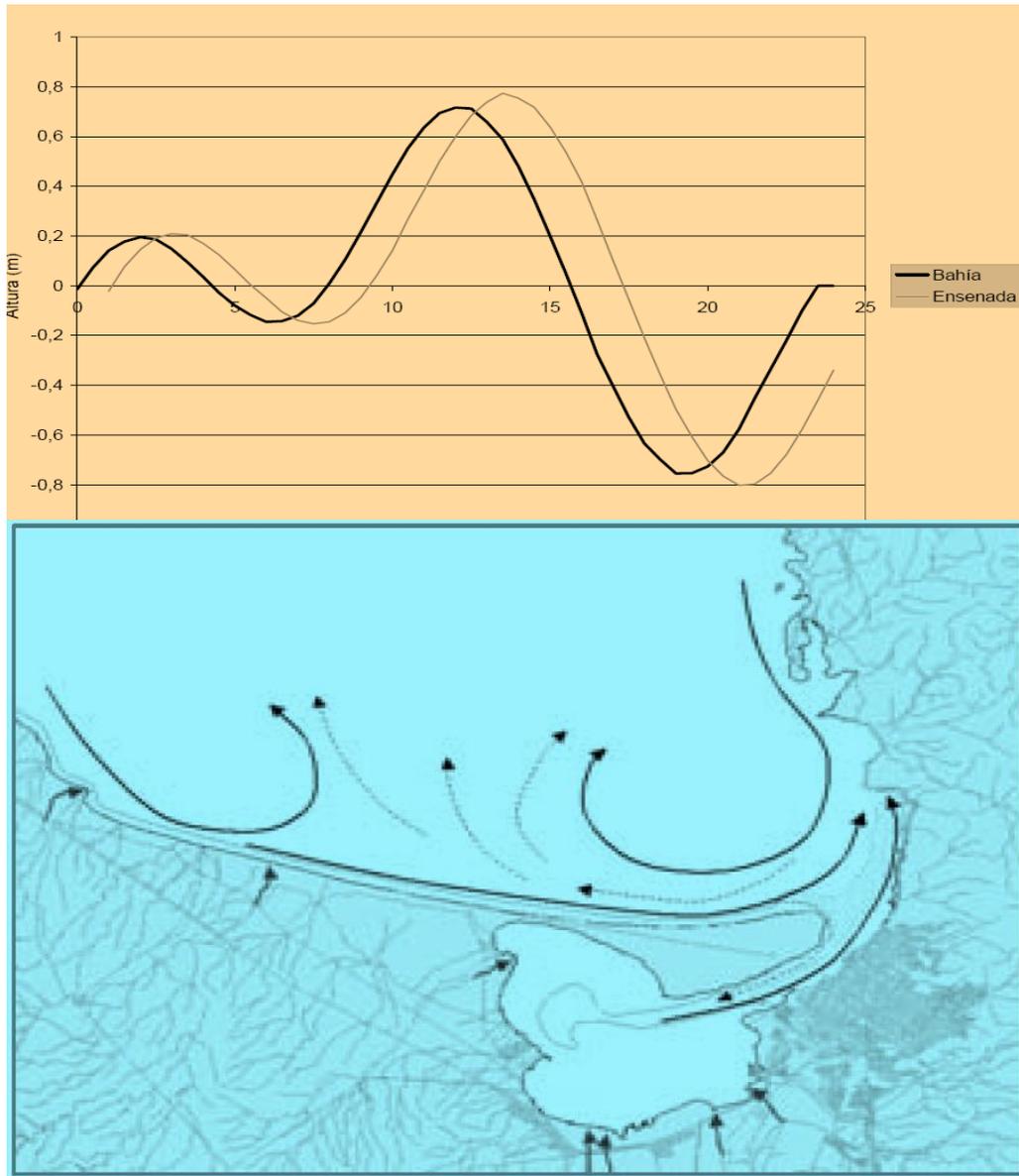
Fuente: Visitas de campo realizadas por Instituto de Ingeniería UNAM

Básicamente el movimiento del agua en el interior de la Ensenada se debe a la influencia del viento dominante del Noroeste, pero principalmente por el flujo y reflujo de la marea que tanto del lado de la Bahía como de la Ensenada, presenta un comportamiento semidiurno y un rango máximo de 1.6 m con la secuencia pleamar inferior, bajamar superior, pleamar superior y bajamar inferior, pero con una diferencia de tiempo entre el máximo de la pleamar superior en la costa Sur de la Bahía y la cabecera de la Ensenada, del orden de 90 minutos (FIGURA 1.11), lo que representa un retraso que implica una diferencia de niveles entre los dos cuerpos de agua, sobre todo durante el reflujo y en mareas vivas, siendo del orden de 0.54 m.

Las velocidades de corriente generada en el canal de comunicación con la Bahía y en el interior de la Ensenada para flujo y reflujo de marea (TABLA 1.3), varían en magnitud y dirección siendo intensas en el canal principal (1 m/s en reflujo), en tanto que disminuyen hacia las zonas de almacenamiento en la parte interna de la Ensenada (depresiones y cabecera), en donde la circulación se realiza a través de vórtices ciclónicos (reflujo) y anticiclónicos (flujo), en algunos casos con velocidades en el giro que alcanzan los 0.35 m/s.



FIGURA 1.11 ESQUEMA DE MAREA Y CORRIENTES EN LA ZONA DE ESTUDIO



Fuentes: Ángel R. Jiménez Illescas, et al. EFECTOS DE LA CONSTRUCCIÓN DE UN CANAL ARTIFICIAL ENTRE LA ENSENADA Y LA BAHÍA DE LA PAZ; Proyecto ENTRE MARES, MIA Regional

Cabe destacar que el canal de comunicación presenta una importante estabilidad ya que no ha sido necesario su dragado para mantener la navegabilidad de embarcaciones mayores y de las que se dedican a las actividades náuticas-recreativas, dado que las corrientes de refluo en mareas vivas mantienen una profundidad mínima de 7 m en el eje del canal, conservando en la entrada de la Ensenada un prisma de marea del orden de $4.50 \times 10^6 \text{ m}^3$. Con base en lo anterior, se ha estimado que el recambio de agua en la



Ensenada varía entre 3.5 y 5.4 ciclos de marea, es decir, presenta una tasa de recambio de hasta 29% por ciclo de marea lo que implica que el agua en su interior se renueva aproximadamente cada cuatro días.

TABLA 1.3 COMPORTAMIENTO GENERAL DE CORRIENTES EN LA ENSENADA Y BAHIA DE LA PAZ

PERIDOS	CANAL PRINCIPAL (Velocidad m/s)		INTERIOR ENSENADA (aumento/disminución)	BAHIA DE LA PAZ		
	Flujo NW	Reflujo SE	Intensidad vórtices (aumenta/disminuye)	Sitio	Dirección (incidencia)	Velocidad (m/s)
1	0.24		↓	El Mogote	NW	1
2		0.46	↑			
3		0.43	↓			
4	0.83		↑	Punta Prieta	NE	0.4
5		0.32	↓			
6		1.01	↑			
7		0.42	↓			
8	0.33					
Media	0.46	0.53	0.35	Resultante NE		0.7

Fuentes: F.J.Sandoval, J.Gómez Valdez Tides and Tidal Currents in Ensenada de La paz Lagoon, 1997; adecuación Instituto de Ingeniería UNAM

El flujo hidrodinámico en la Bahía corresponde a entradas con dirección Norte-Sur desde la Isla Partida y por entradas en dirección Este-Oeste por el canal de San Lorenzo; pero en este caso, los vientos dominantes del Noroeste tienen un efecto más intenso que las mareas generando una corriente que impulsa agua hacia fuera de la Bahía a través del canal de San Lorenzo, siendo éste el principal mecanismo de renovación neta de las aguas superficiales.

Las corrientes en la Bahía con un campo constante de vientos de 5 m/s presentan una distribución con velocidades intensas (>1m/s) a lo largo de la costa Oeste y dirección predominante al Este en la zona de “El Mogote”; en tanto que las corrientes en la costa Este y Sur (<1m/s) predominan en dirección contraria hacia el Oeste, encontrándose ambas donde se localiza la parte más angosta del Mogote, por lo que se genera ahí una zona de convergencia que finalmente se dirige como resultante neta al Noreste hacia el canal de San Lorenzo (TABLA 1.3, FIGURA 1.11).

Respecto al oleaje se tienen rangos de variación en altura de ola significativa ($H_{1/3}$) desde 0.25 a 2 metros generado por viento con velocidades entre 10 y 20 nudos respectivamente, que se originan a distancias entre 8 y 600 millas náuticas (Fetch) con predominio del Norte y Noroeste, dependiendo de la época del año. En general el oleaje se mantiene muy bajo en el interior de la Ensenada y áreas protegidas de la Bahía y sólo



durante el verano se pueden presentar oleajes importantes (>5m) por efecto de ciclones y tormentas tropicales.

Para la Ensenada de La Paz que presenta profundidad mucho menor y condiciones de circulación menos dinámicas, sobre todo en las fosas y hacia su cabecera, tanto la salinidad como la temperatura aumentan significativamente durante primavera-verano por alta tasa de evaporación, escasa precipitación pluvial y escurrimientos de agua dulce prácticamente nulos (excepto en verano por ciclones y tormentas), por lo cual se define como un sistema lagunar antiestuarino (TABLA 1.4).

La temperatura aumenta regularmente desde la boca hacia el interior del cuerpo de agua con valores que van de 22° a 30°C y es evidente una diferenciación de zonas con temperaturas mayores hacia el Sur por sus amplias áreas someras y menores al Norte, donde hay mayor profundidad y circulación; en tanto que, la salinidad media es de 37.3 ppm, con rangos entre 35.5 en la boca y 39 ppm hacia la cabecera. Durante otoño-invierno las condiciones se mantienen más estables con rangos de 20 a 25°C y salinidad entre 35 y 37 ppm.

Por estas características fisicoquímicas la Ensenada de La Paz es considerada como una laguna costera particularmente valiosa debido a su influencia en el ecosistema de manglar y en las poblaciones de fauna litoral y marina en el entorno de la Bahía, de manera que su calidad de agua no sólo es importante para la prevalecencia del ecosistema, sino también lo es para la salud pública, las actividades recreativas y la estética visual que sin duda constituyen ya un aspecto fundamental para el desarrollo sustentable de la localidad.

La contaminación antrópica por residuos, la causada por el escurrimiento de aguas torrenciales y los cambios en la sedimentación derivados de construcciones; aunado a la alteración del manglar, están consideradas como la fuente de los más serios impactos sistémicos y a la flora y fauna en este ecosistema, incluido su efecto sobre toda la Bahía de La Paz.

TABLA 1.4 VALORES MEDIOS REGISTRADOS EN PARAMETROS FISICOQUIMICOS

PARAMETRO	ENSENADA DE LA PAZ	BAHIA DE LA PAZ
Temperatura (°C)	24.3	21.5
Salinidad (ppm)	37.3	35.1
Potencial Hidrógeno (pH)	7.5	8
Oxígeno disuelto (ml/l)	5.7	6.5

Fuentes: Espinoza-Avalos: HIDROGRAFIA DE LA ENSENADA DE LA PAZ CalCOFI 1979



Condiciones Sociales

En la Paz y en general en Baja California, el proceso histórico de colonización y desarrollo socioeconómico se impuso por los conquistadores españoles (1534-1596) y posteriormente por la evangelización Jesuita (1697-1767) que definitivamente sentó las bases religiosas, culturales y económicas en el territorio. Desde entonces, diversos acontecimientos nacionales tuvieron impacto en el crecimiento poblacional, así como en la estructura de la sociedad, su perfil económico y político (1804-1974), lo cual favoreció la inversión en infraestructura de servicios y en consecuencia, generó un desarrollo demográfico y turístico-inmobiliario acelerado (1980-2000) que actualmente se prevé irreversible. Como ya se señaló, esta situación ha tenido serias consecuencias de sustentabilidad, destacando sus efectos en la disponibilidad del agua y en la conservación general del ecosistema.

En cuanto a los aspectos demográficos y sus tendencias, el Estado de Baja California Sur registró en el Censo General de Población y Vivienda del año 2000 una población de 424,041 habitantes, lo que representa 0.4% del total nacional. Por su parte, el municipio de La Paz contabilizó una población de 196,907 habitantes, correspondiente al 46.4% de la población total del estado, con una densidad poblacional de 9.71 Hab/km², seguido en orden de importancia por el municipio de Los Cabos.

No obstante, la tasa de crecimiento promedio de INEGI para la zona entre 1990 y 2000 fue de 1.9%; en tanto que entre éste año y el 2005 creció al 2% según datos del Consejo Nacional de Población (CONAPO). Estas cifras, comparadas con el 3% reportado por el Plan Municipal de Desarrollo 2005-2008 son demasiado conservadoras, considerando la oferta de bienes y servicios públicos particularmente en vivienda y tomas de agua, ubicando a La Paz después de Los Cabos en crecimiento estatal como centro de población (TABLA 1.5).

La Paz y Los Cabos son los municipios que en la última década han concentrado más de la mitad de la población estatal, siendo de 64.5 y 71.3% respectivamente y la mayor concentración de población corresponde a la disminución de residentes en otros municipios. Por ello, la población urbana creció a 85.9% para 2005, situación que se percibe diferente para la población rural, probablemente por el fenómeno de conurbación en comunidades originalmente agrícolas como: El Centenario y Chametla.

Por otro lado, todo crecimiento poblacional viene asociado de un incremento en la demanda de servicios como son: educación, salud, agua potable, electricidad, drenaje o disposición de residuos sólidos, entre otros y en particular en el municipio de La Paz, se espera que la población crezca en un 15% para el año 2025, lo que hace indispensable prever la satisfacción adecuada de dichos servicios, principalmente el del abasto de agua.



TABLA 1.5 PROYECCIONES DE CRECIMIENTO DE POBLACIÓN 2005-2030.

	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Baja California Sur	502,623	566,904	630,405	692,379	751,374	805,327
Comondú	68,058	70,388	72,362	73,987	75,205	75,920
Mulegé	52,783	58,039	63,110	67,945	72,421	76,318
Paz, La	222,588	242,108	261,026	279,196	296,196	311,347
Cabos, Los	144,658	179,496	214,676	249,685	283,731	315,811
Loreto	14,536	16,873	19,231	21,566	23,821	25,931

Nota: Las cifras para el año 2000 provienen del XII Censo de Población y Vivienda, 2000, las del año 2005 provienen del II Censo de Población y Vivienda, 2005, en tanto que las de los años de 2010 en adelante son estimaciones elaboradas por CONAPO, 2007.

Fuente: XII Censo de Población y Vivienda, 2000; II Censo de Población y Vivienda, 2005; CONAPO, 2007, Proyecciones de población 2005-2030 municipales.

De acuerdo al INEGI hasta 1990 el 65.7% de la población residente era nativa de la entidad; el 32.5% provenía de otros estados y el 0.7% del extranjero. En el año 2000, estas cifras se incrementaron en 2% para residentes de otros estados y 0.1% para residentes de otro país. Particularmente en el municipio de La Paz, el 28.7% provenía de otros estados, pero esta cifra disminuyó 1.9% con respecto a 1990.

Las causas que motivan el cambio de residencia son principalmente: búsqueda de empleo (23.2%); reunión con familiares (21%); cambio de trabajo (9.8%); matrimonio o unión (2.9%); estudios (2.7%); salud, violencia o inseguridad (1.5%); otras causas (12.8%).

Para el año 2000, el equivalente a 7.2% de la población estatal había emigrado, mientras que los inmigrantes representaban el 33.1%, lo cual arroja un *saldo neto migratorio* positivo de 25.9%, mismo que indica que la entidad es receptora de población en incremento, ya que en 1990 este saldo también fue positivo (23%).

Respecto a indicadores tales como educación, salud, vivienda, bienes, ingresos, servicios e infraestructura, los resultados de INEGI indican que en el estado de Baja California Sur el 89.4% de la población de 6 a 14 años sabe leer y escribir; el 62.8% es derechohabiente de alguna institución de salud (IMSS, ISSSTE, PEMEX, SEDENA, SEMAR); más del 90% cuenta con vivienda digna; 60% dispone de bienes de consumo duradero y 66% tiene ingresos económicos básicos, además de que la entidad cuenta con buen nivel de servicios e infraestructura (TABLA 1.6), lo cual denota que las condiciones sociales en general están por arriba de la media nacional. En cuanto a preferencia religiosa, el 90% de la población profesa la religión católica.



TABLA 1.6 RESUMEN COMPARATIVO DE LAS CONDICIONES SOCIALES

SECTOR	CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA SOCIAL							Nivel Estatal	Nivel Nacional
	EDUCACION	Primaria incompleta (15%)	Primaria (17%)	Media básica (26%)	Media superior y superior (35%)	Alfabetas (93%)	Escolaridad media (9años)		89%
SALUD	IMSS (72%)	ISSSTE (26%)	PEMEX, SEDENA, SEMAR (3%)	Otras (0.3%)	Discapacidad (1.6%)			59%	40%
VIVIENDA	Nuclear (77.7%)	Ampliada (23.7%)	Compuesta (1.7%)	Unipersonal (8,5%)	2 a 4 miembros (58.4%)	5 a 7 miembros (29.5%)	> 8 (3.6%)		
BIENES	Televisión, Radio, Grabadora (87%)	Refrigerador, licuadora (81%)	Vehículos (61%)	Lavadora, Teléfono, video (46%)	Calentador de agua (38%)	Computadora personal (11%)	Otros (39%)	2.5%	5%
INGRESOS	25.2% de población obtiene 4.8% del ingreso	40.8% de población obtiene 23.1% del ingreso	11.3% de población obtiene 48.2% del ingreso					33.6%	23.4%
SERVICIOS	Energía eléctrica	Agua potable	Drenaje y Alcantarillado	Tratamiento de aguas residuales	Mercados y Centros de abasto	Prensa y Medios de comunicación			
INFRAESTRUCTURA	Carreteras Transpeninsular, estatales y caminos rurales	Aeropuerto internacional y aeropistas diversas	Puertos La Paz, Pichilingue y San Juan de la Costa	Hotelería	Desarrollos turísticos e inmobiliarios	Marinas y clubes náuticos			

Fuentes: XII Censo General de Población y Vivienda; II Censo de Población y Vivienda; INEGI

Es un hecho que el municipio de La Paz tiene un alto índice en la tasa media de atención educacional (98%) debido a su extensa infraestructura en cada uno de los niveles educativos. Aquí se concentra el total de las escuelas superiores: Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS), Instituto Tecnológico Regional (ITR), Normal Superior, Centro Regional de Educación Normal, Universidad Pedagógica Nacional (UPN) y Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR). En el área rural la asistencia educativa se recibe a través del servicio indirecto de albergues escolares, Centros de Educación Básica para Adultos, dos aulas rurales móviles, grupos comunitarios, una misión cultural, una sala popular de lectura y una brigada para el desarrollo rural.

La atención a la salud es brindada por instituciones como el Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado (ISSSTE), Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), Secretaría de Marina (SM), Secretaría de la Defensa Nacional (SEDENA) y clínicas privadas.

La solución a las necesidades de vivienda recae específicamente en tres instituciones: Fondo de la Vivienda del Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del



Estado (FOVISSSTE), Instituto de Vivienda de Baja California Sur (INVI) e Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (INFONAVIT).

De acuerdo al XII Censo General de Población y Vivienda el municipio contaba al año 2000 con 48,299 viviendas particulares. Para 2005, el II Conteo de Población y Vivienda reporta un total de 55,445 viviendas, de las cuales 49,332 son particulares. En general, el tipo de vivienda que predomina es el de construcción a base de ladrillo o block, la mayoría con techo de concreto y algunas con lámina de cartón o asbesto y en un menor porcentaje, existen casas de materiales como la madera con techo de palma.

En cuanto a los servicios públicos, el municipio presta los servicios de energía eléctrica, agua potable, alcantarillado, mercados y centrales de abasto en la ciudad de La Paz; rastro y vialidad en la ciudad de La Paz y Todos Santos y en lo referente a parques, jardines, centros recreativos, instalaciones deportivas y seguridad pública, se atiende en cada delegación municipal.

Existe un sistema amplio de vías de comunicación con arribo terrestre, aéreo y marítimo. La transportación terrestre se efectúa principalmente por la carretera transpeninsular que atraviesa todo el municipio y desde luego al estado de Norte a Sur. Así mismo, se utilizan otras carreteras menores que llegan a las principales localidades del municipio. También cuenta con una red de carreteras de terracería y caminos rurales que conducen a la mayoría de las rancherías.

El servicio aéreo se realiza primordialmente en el aeropuerto internacional "General Manuel Márquez de León" con entrada tanto de líneas nacionales como extranjeras, principalmente de los Estados Unidos de Norteamérica (Arizona y Texas), con lo que el municipio está conectado con el estado, con la capital del país y con diversas entidades de la República. Además, se cuenta con aeropistas en los alrededores de las comunidades: Las Cruces, San Juan de la Costa, Bahía de las Palmas, Pescadero, Punta Arenas, Los Planes y Todos Santos, mismas que son utilizadas para dar servicio a diversos aviones privados.

Mediante tres puertos: La Paz, Pichilingue y San Juan de la Costa, es posible llevar a cabo la navegación marítima. La Paz cuenta con condiciones físicas de protección natural por la presencia de El Mogote y su actividad principal se orienta al turismo, dadas las condiciones actuales del desarrollo. Dispone de muelles utilizados para descarga de productos del mar, combustible, carga en general, atraque de lanchas deportivas y barcos oficiales.

El puerto de Pichilingue es un puerto pesquero y de cabotaje situado a 17 km al Norte de La Paz, a través del cual se realiza la mayor parte del movimiento de carga y pasaje, así como la descarga de productos pesqueros para su proceso. Sus instalaciones (muelles y atracaderos) permiten el movimiento general del cabotaje, destacándose dentro de sus



funciones el arribo y salida de los transbordadores de y hacia Mazatlán, Topolobampo, Sinaloa y Guaymas, Sonora.

En el año 2000, el índice de desarrollo humano de La Paz (0.8369) estaba por arriba del promedio nacional (0.8070). Asimismo, para 2005 este índice subió a 0.8989, dadas las condiciones de mejoría en: la tasa de alfabetismo (aumentó de 96.68 a 97.13), la tasa de asistencia escolar (aumentó en 6.5%) y la tasa de mortalidad infantil (disminuyó en 51.35%), impactando en el incremento de los índices de educación y de salud (11.28%). Por su parte, el ingreso per cápita en el municipio subió en 55.09%, pasando de 12,074 PPA (Paridad del Poder Adquisitivo en dólares internacionales) a 18,726 PPA, de manera que el índice de ingreso para La Paz subió de 0.8001 a 0.8733. Estos indicadores señalan mejoría en la calidad de vida de los habitantes, además de que ésta es superior a los estándares nacionales.

Condiciones Económicas

De acuerdo al XII Censo General la Población Económicamente Activa (PEA) en el estado, de 12 años y más, era de 54.9%, misma que se incrementó 7.6% en relación a 1990. Esto representó además un valor superior (5.6%) al nivel nacional (49.3%) y particularmente en el municipio de La Paz fue mayor (6.8%). Asimismo, el municipio mostraba una tasa de participación económica estatal del 54%, siendo la tercera después de Los Cabos (62.0%) y Loreto (54.2%). Para el 2008, los datos estadísticos de INEGI muestran que la PEA estatal ocupada fue del 99.1%, siendo para el municipio de La Paz de 99%, por lo que la población ocupada aunque se incrementó, no varió significativamente en la proporción estatal y se mantiene por debajo de Los Cabos (99.4%) y Loreto.

Al respecto, el tema es crítico para la población desempleada, ya que el mercado laboral se está ocupando en mandos medios y operativos por inmigrantes de otros estados, y del extranjero, en posiciones directivas y comerciales. La población estatal económicamente inactiva estaba conformada en el 2000 por 138,565 personas básicamente dedicadas a: quehaceres del hogar (42%) estudiantes (29%) y otros inactivos (jubilados, pensionados, incapacitados permanentes, etc.) también con 29%. Sin embargo, esto representó en relación a 1990 disminución de inactivos en el hogar (53%) y por estudios (34%); pero se incrementó para jubilados, pensionados y otros (12.7%).

En cuanto a los sectores de actividad, la distribución estatal de ocupados por sector laboral registra cambios importantes, ya que la población ocupada en el sector primario (10.4%,1990) reduce su participación en 6.4% (1,597 hab. en 1990), contrario al comportamiento de los sectores secundario (11,784 hab.) y terciario (28,559 hab.), cuya proporción se incrementa en 1.5 y 5.3%, respectivamente (TABLA 1.7). De los ingresos por trabajo en la entidad, el 16% de la población recibe más de 5 salarios mínimos; 42.8% se encuentra en el rango de 2 y hasta 5 salarios, mientras que el 41.2% percibe menos de 2



salarios mínimos. No obstante, estas cifras superan el estándar a nivel nacional (4.1% más de 5 salarios y 31.7% menos de 2 salarios).

TABLA 1.7 PORCENTAJE DE OCUPACION POR SECTORES DE ACTIVIDAD

SECTOR	%
Primario (Agricultura, ganadería, caza y pesca)	7.99
Secundario (Minería, petróleo, industria manufacturera, construcción y electricidad)	19.60
Terciario (Comercio, turismo y servicios)	69.36
Otros	3.05

Fuente: Página oficial Gobierno del Estado de Baja California Sur

En el municipio de La Paz y en general en Baja California Sur, se desarrollan los sectores productivos básicos: primario, secundario y terciario. De estos, el terciario es el que mayor auge ha tenido en las últimas 2 décadas, fomentado por el desarrollo de actividades turísticas y comerciales que en gran medida han permitido subsanar las deficiencias de crecimiento en los otros dos. No obstante, en todos se ha realizado importante explotación de recursos naturales, destacando el agua subterránea, por lo que dada su escasez cada día es más difícil de abastecer.

Sector primario

En este sector destacan la agricultura, explotación forestal, ganadería y pesca.

En la actividad agrícola sobresalen las comunidades de El Carrizal, San Juan de los Planes, Chametla, El Centenario, Alfredo V. Bonfil y San Pedro, siendo sus principales cultivos: frijol, maíz, chile, tomate, alfalfa, cebolla, calabaza, trigo y algodón. Con la fruticultura se obtiene aguacate, mango, naranja, papaya y caña de azúcar, cultivados principalmente en Todos Santos y Pescadero. El sistema de riego más utilizado en la región es por gravedad, seguido por el de aspersión y al último por goteo. La sobreexplotación de los acuíferos ha propiciado una reducción de las áreas destinadas a la agricultura a nivel estatal y por su rentabilidad, los principales cultivos fueron hasta el 2005 el trigo, algodón y garbanzo, que representaron alrededor del 70% de la superficie total sembrada.

Esta rentabilidad agrícola entre los pequeños productores disminuyó por la problemática del agua y sólo resultó interesante para aquéllos con posibilidad de hacer fuertes inversiones en la implementación de cultivos tecnificados y de bajo consumo como las hortalizas, ya que los productos básicos y de forraje experimentaron fuertes variaciones a



lo largo de los años. Esto, aunado a un incremento en la industria de la construcción, impulsado por el aumento de la demanda turística, ha promovido la migración de personas de zonas rurales a zonas urbanas.

Paralelamente a esta aparente reducción de la población rural, Baja California Sur ha tenido un gran auge en la agricultura empresarial privada para exportación de hortalizas, por lo cual las empresas demandan mano de obra barata fundamentalmente entre los meses de noviembre a junio, que no es cubierta en el ámbito local, por lo que recurren a la contratación de jornaleros agrícolas migrantes. Estos provienen principalmente de Oaxaca, Guerrero, Veracruz, Michoacán y Puebla, lo cual plantea a su vez una demanda de servicios básicos que en general supera las posibilidades de oferta de las localidades que los acogen, generando así condiciones de marginación y miseria entre los nuevos pobladores.

En cuanto a la explotación forestal, ésta es una actividad rural que se ha realizado como complementaria en la entidad por la potencialidad de los recursos, de manera que su aprovechamiento no ha sido de carácter persistente. En la producción maderable destacan leña para combustible, carbón y postes, y entre los no maderables, la damiana, hoja de palma, jojoba, orégano y corteza para curtientes.

Respecto a la ganadería, la actividad está comprendida por las especies bovina, caprina, ovina y equina. Otras especies explotadas son: las avícolas y apícolas.

La explotación ganadera es de tipo extensivo en su mayoría y de libre pastoreo. Se desarrolla principalmente en Todos Santos y San Antonio con producción limitada, dado los bajos índices de agostadero en casi la totalidad de las áreas destinadas a ello (80 ha/unidad animal) esto, debido a la escasa precipitación pluvial y por la falta de fuentes de abastecimiento de agua para abreviar el ganado. Respecto a las actividades avícolas y apícolas, aportan al mercado el 98% de huevo y hasta el 20% de miel y cera en la entidad, respectivamente.

Por su parte, la actividad pesquera tiene gran tradición en el estado, ya que desde sus inicios fue practicada por pescadores nativos (perleros) y posteriormente por pescadores libres de la zona, pero es a partir de los años 40's que adquiere mayor importancia en la economía estatal, dada la organización de los pescadores en sociedades cooperativas de producción. Estas comienzan a explotar especies de alto valor comercial como el abulón, la langosta y el atún entre otros; situación que dio lugar a un éxodo hacia la zona Pacífico Norte del estado, donde se crearon las primeras comunidades pesqueras importantes.

Esta actividad ha sido prioritaria para el desarrollo integral de Baja California Sur, tanto por su aportación como fuente de alimentos, así como por empleo y divisas, dadas las ventajas que ofrecen su situación geográfica y el potencial pesquero disponible. En el municipio de La Paz, la pesca ha sido fundamentalmente ribereña en localidades como la



Bahía de La Paz, Todos Santos, El Sargento, La Ventana, El Conejo y Pescadero, con especies como: langosta, mantarraya, almeja, camarón, tiburón, tortuga, cazón y diversas especies de escama que se comercializan en pescaderías propiedad de las cooperativas; pero también en otras de particulares. No obstante, la actividad en el estado no ha logrado desarrollarse de manera significativa por su precaria infraestructura que le impide alcanzar estándares internacionales de rentabilidad así como cumplir con requisitos de sanidad para la exportación. Por otro lado, los nuevos permisos de pesca se han reducido y los pescadores buscan diversificarse, de manera que cuando cuentan con recursos logran su reconversión al turismo con la pesca deportiva, o los recorridos en lancha por las orillas de las islas.

No obstante, en el subsector acuicultura, se cuenta con 220 mil hectáreas de aguas protegidas que confieren a la entidad un lugar privilegiado por sus condiciones ecológicas, no sólo en el contexto nacional sino mundial, de manera que en los últimos años se han canalizado fuertes inversiones principalmente para cultivos de ostión japonés, almeja catarina, camarón y experimentalmente de callo de hacha.

Sector secundario

En este sector destacan las actividades industriales, principalmente la minería, manufacturas y construcción (FIGURA 1.12).

FIGURA 1.12 PRODUCCION ECONOMICA BRUTA POR SECTORES EN EL MUNICIPIO DE LA PAZ



Fuente: Censo económico 1999 y 2004, INEGI



En cuanto a la minería, ésta constituye la primera actividad industrial realizada en la entidad (Santa Rosalía mina de cobre El Boleo 1885) y que en el municipio de La Paz tuvo gran auge en los años 20's. (producción de oro y plata en El Triunfo y San Antonio), pero ahora se realiza rudimentariamente por mineros ejidales en El Triunfo Ampliación (3,140 ha) y Reducción El Triunfo Fracción I (1,975 ha). Asimismo, en 1975 se creó la compañía Roca Fosfórica Mexicana S.A. de C.V. (ROFOMEX), enfocada a la extracción y embarque de fosforita (pentóxido de fósforo) en el puerto de altura de San Juan de la Costa, cuya producción como base de fertilizantes fue muy importante entre 1998 y 2000 cuando se incrementó a más de un millón de toneladas, con 576 empleos directos, pero ahora ha disminuido significativamente. No obstante, la actividad prevalece por asignaciones para exploración y explotación.

Respecto a la industria de manufacturas, ésta se caracteriza en el municipio por *agroindustria*, con dos plantas enlatadoras de chile (Todos Santos y La Paz), una *pasteurizadora* de leche de vaca y un colectivo lechero en Pescadero. En cuanto a la *industria pesquera*, actualmente funcionan 4 empresas y se tiene también un parque industrial pesquero construido por el Fondo Nacional de Desarrollo Portuario (FONDEPORT), el cual ofrece todos los servicios para la instalación de industrias pesqueras y servicios conexos.

Respecto a la industria de la construcción, ésta representa una actividad de gran dinamismo tanto en el municipio de La Paz como en el estado, dado el acelerado crecimiento demográfico y turístico-inmobiliario. La inversión anual estimada es mayor a mil millones de dólares y tiene una tasa de crecimiento de 35%, por lo que 90% de las playas en Los Cabos y La Paz (bienes de la nación) ya están concesionadas a terceros.

La atracción poblacional de trabajadores por concepto de construcción de estos desarrollos es en promedio de 12 personas por cuarto de hotel o unidad habitacional, de manera que considerando únicamente los principales desarrollos en ejecución en La Paz (TABLA 1.8) se tendría una atracción de 100 mil nuevos habitantes en los próximos años. Esto, aunado al crecimiento industrial, agropecuario y por arribo de embarcaciones turísticas (de 700/año a 1,125 proyectadas), representará un factor de fuerte presión ambiental y para el uso del recurso hídrico en la zona.

Sector terciario

En este sector destacan obviamente las actividades turísticas, comerciales y de servicios.

El municipio de La Paz cuenta con recursos naturales, paisajísticos y culturales, que aunados a su desarrollo turístico-inmobiliario y recreativo, lo convierten en un destino sumamente atractivo para el mercado nacional e internacional, sobre todo para el turismo que busca contacto con la naturaleza y esparcimiento nocturno.



TABLA 1.8 CONSTRUCCION DE PRINCIPALES DESARROLLOS TURISTICOS EN LA PAZ

DESARROLLO TURISTICO INMOBILIARIO	CARACTERISTICAS GENERALES					
	Cuartos hotel	Residencias	Campo de Golf	Plaza comercial	Posiciones en marina	Especiales
Paraíso del Mar	2000	2000	2	x	535	Hotel Boutique
Entre Mares		3420				Canales navegación Manglar
Pedregal de La Paz	200	370		x		
Punta La Paz					100	
Costa Baja	120	50			280	Marina seca (70)
Mar de Cortes		x	1		40	
Condotel		57			170	Estacionamiento subterráneo
Coyote Baja	x	156	2	x		
Bahía de Los Sueños	500	x	1			Aeropuerto
TOTAL	2,820	6,053	6	3	1,125	

Fuente: Página oficial Gobierno del Estado de Baja California Sur

El desarrollo específico de esta actividad no se identifica con objetividad en todas las zonas, sin embargo, la importancia que ha adquirido aunque muy inferior a la de otros municipios en la entidad, como Los cabos y Loreto, se observa en la relativa estabilidad de afluencia turística de visitantes nacionales e internacionales con la derrama económica que ello implica, destacando que aún predomina el turismo nacional particularmente en La Paz.

Respecto al comercio y servicios, las actividades en ambos rubros se vincularon inicialmente a satisfacer las necesidades de la población y de los incipientes sectores productivos, pero es en las últimas décadas que dependen estrechamente del desarrollo turístico e inmobiliario, así como del consecuente crecimiento demográfico.

Respecto a los servicios, adicional a los básicos proporcionados a la población por la federación y el municipio (educación, salud, vivienda, transporte, comunicación, abasto, etc.), también se cuenta con programas para el fortalecimiento municipal (FORTAMUN), para la infraestructura social (FAISM), para la seguridad pública (SUBSEMUN) y para los espacios abiertos, que aunados a los servicios particulares al turismo (hoteles, tráiler park, marinas, campos de golf, restaurantes, bares y centros nocturnos), hacen de La Paz un polo de desarrollo en expansión.



Condiciones Políticas

La ciudad de La Paz, además de ser la sede del gobierno estatal, constituye la cabecera política del municipio del mismo nombre. Las localidades más importantes de acuerdo a su población son: Todos Santos con 3,940 habitantes; El Centenario con 3,472; Chametla con 1,829 y El Pescadero con 1,439.

La división política reside en cinco delegaciones: Los Dolores, Todos Santos, San Antonio, Los Barriles y Los Planes, que se caracterizan por concentrar más de 525 localidades en 51 subdelegaciones, destacándose entre ellas San Pedro, El Triunfo, San Bartolo, El Pescadero, Los Barriles, El Centenario y San Juan de la Costa.

El Ayuntamiento cuenta con una organización conformada por un Presidente Municipal de elección popular, un Síndico, 12 Regidores de mayoría relativa y 7 Regidores de representación proporcional. Además, en su estructura cuenta con 20 *comisiones* especiales de administración y atención ciudadana que van desde Hacienda hasta Parques, Jardines y Panteones. El gobierno municipal cuenta con 11 *dependencias* principales y una *reglamentación* que cubre 22 aspectos generales de control (TABLA 1.9).

El Presidente Municipal se apoya en *Delegados* y *Subdelegados* como autoridades auxiliares y éstos son elegidos por la población mediante plebiscito cada tres años, procedimiento que actualmente se realiza en el mes de junio. El municipio de La Paz pertenece al *Distrito Federal Electoral* número 2 y a los Distritos Locales Electorales número 1, 2, 3, 4, 5 y 6. Desde 1972 a la fecha, han ocupado el cargo 13 Presidentes Municipales.

Cabe destacar que de éstos los últimos han sido de afiliación Perredista (PRD, Partido de la Revolución Democrática), en tanto que la autoridad Estatal (Gobernador) y Federal ha sido predominantemente Panista (PAN Partido Acción Nacional), lo cual significa que básicamente estas autoridades son en ocasiones divergentes en cuanto a sus objetivos y alcances de gobierno.

Esta situación puede influir indirectamente en la toma de decisiones políticas cuando se trata del uso y distribución del recurso agua, así como de la implantación de infraestructura hidráulica para hacer más eficiente su aprovechamiento, sobre todo si se trata de la tecnología de desalación del agua de mar como ha sucedido en otras zonas del país, sin implicar que este pudiera ser el caso actual y específico de La Paz.



TABLA 1.9 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL GOBIERNO MUNICIPAL

ORGANIZACION	ESTRUCTURA		
Ayuntamiento	Comisiones	Dependencias	Reglamentos
Presidente Municipal (1)	Hacienda	Cabildo	Policía y Buen Gobierno
Síndico (1)	Atención Ciudadana	Presidencia	Interior del Ayuntamiento
Regidores de mayoría relativa (12)	Transporte	Secretaría General	Patrimonio Municipal
Regidores de representación proporcional (7)	Atención a la Juventud	Tesorería Municipal	Radiotelefonía Rural
Delegados (5)	Asentamientos Humanos y Obras Públicas	COPLADEM	Mercados
Subdelegados (51)	Registro Público de la Propiedad y el Comercio	Oficialía Mayor	Aseo y Limpia
	Educación y Cultura	Dirección General de Seguridad y Tránsito	Asuntos Internos
	Agua Potable y Alcantarillado	Dirección General de Asentamientos Humanos y Obras Públicas	Espectáculos Públicos
	Atención a la Población de Personas con Discapacidad	Dirección General de Servicios Públicos	Anuncios
	Relaciones Laborales	SAPA	Avalúos
	Jubilados, Pensionados y Personas de la Tercera Edad	DIF	Bomberos
	Rastros y Mercados		Ejercicio de Comercio en la Vía Pública
	Control y Seguimiento		Estímulos y Recompensas
	Legislación y Reglamentación		Músicos
	Comisión de Turismo y Ecología		Nomenclatura
	Desarrollo Urbano		Planeación
	Desarrollo Rural y Electrificación Rural		Cementerios
	Deporte y Recreación		Juzgados Calificadores y Conciliadores
	Salud		Comisión de Nomenclatura y Numeración
	Parques, Jardines y Panteones		Servicio de Rastros
			Box y Lucha
			Parque Funeral



Percepción del proyecto por la sociedad y sus actores políticos

La problemática del agua en la región de La Paz y la opción de solucionarla vía construcción de plantas desaladoras, es una alternativa que ya se ha implantado parcialmente a nivel privado; sin embargo, en el ámbito público, aunque se ha manejado insistentemente, aún no cuenta con un consenso definitivo entre la sociedad y sus principales actores políticos. Sin duda, es uno de los temas de mayor atención en la agenda local y regional por la problemática ambiental que implican sus aspectos de contaminación, disponibilidad y uso del recurso hídrico, así como por todo lo relativo a su financiamiento, ubicación en un contexto de ordenamiento territorial y la distribución que del agua desalada se haría entre los sectores públicos y urbanos necesitados, con sus múltiples implicaciones en los ámbitos económicos, políticos y sociales.

Estudios locales han hecho especial hincapié sobre la importancia clave (histórica, actual y futura) de los recursos ambientales para el desarrollo y bienestar regional, afirmando que “la economía de La Paz aún depende de la salud de sus ecosistemas naturales y su paisaje” de tal manera que, en la medida que la población y la economía crezcan durante las siguientes décadas, se enfrentarán a numerosos problemas y grandes retos, como la provisión de agua potable y la protección de los frágiles ecosistemas marinos y terrestres.

De aquí la importancia de implementar una política de manejo integral del recurso hídrico, donde se incorporen las necesidades de los diferentes usuarios, los requerimientos ecosistémicos y la exigencia de satisfacer las necesidades sociales y económicas en un entorno político cada vez más complejo, ya que el agua no es un simple factor de la producción, sino que es la base de la sociedad y de la vida misma en el planeta. Este ha sido “el mayor reto de La Paz desde su fundación”, dado que la percepción de la población es que la provisión de agua para sus residentes y desarrollo no ha sido en general suficiente para satisfacer las necesidades, tanto en cantidad como en calidad.

Así, se tiene como consenso que los usos del recurso se deberían de favorecer en la región de acuerdo a las siguientes prioridades:

1. Agua como derecho humano.
2. Agua para las necesidades ambientales.
3. Agua para los usos sociales y comunitarios.
4. Agua para el desarrollo productivo.

Debido a que la escasez de agua obedece a la sobreexplotación de los acuíferos como resultado del crecimiento poblacional; el modelo económico en vigor, dispendioso del recurso, y la aparente incapacidad de las instancias en cuyas manos está la toma de decisiones para implementar políticas de conservación, uso, tratamiento y reutilización del agua; algunos actores pugnan por la aplicación de tecnologías alternativas como la



desalación del agua de mar, en tanto que otros por la necesidad de infraestructura hidráulica tradicional, de manera que las opiniones al respecto son diversa y en ocasiones contrapuestas por información insuficiente o incluso malversada y de aquí también la importancia de analizarlas desde su fuente y contexto original.

Los resultados sobre la opinión pública sudcaliforniana en cuanto la construcción de una planta desaladora en la Ciudad de La Paz y su contribución a resolver el problema de sobreexplotación del acuífero de La Paz se pueden resumir en los siguientes puntos principales:

1. Es generalizado el reconocimiento que el acuífero de La Paz es sobreexplotado y hay que tomar medidas para su recarga.
2. Entre las medidas que se proponen para resolver los problemas de abastecimiento de agua, la construcción de desaladoras ocupa uno de los últimos lugares, aunque si se acepta como tal.
3. Existe la preocupación no del todo fundamentada por el costo más alto del agua suministrada por la planta desaladora, en comparación con el agua extraída del acuífero.
4. Existe la opinión que el sector empresarial promotor de desarrollos turísticos debería de asumir la mayor cantidad de costos para la construcción de desaladora(s).
5. Existe preocupación en cuanto el impacto ambiental de una futura planta desaladora.
6. No hay consenso sobre el lugar que pudiera ser apropiado para la ubicación de una planta desaladora.
7. No hay consenso tampoco sobre la existencia de un beneficio real para la sociedad, ya que ésta tiene el sentimiento de que los realmente beneficiados serán los agentes privados usuarios de la posible planta desaladora, es decir, las empresas sobretudo turísticas.



MARCO GEOLÓGICO

Fisiografía

El Estado de Baja California Sur queda comprendido en la provincia fisiográfica denominada Península de Baja California, que se extiende desde el sur de la California estadounidense hasta la región de San José del Cabo. Esta provincia se divide en la subprovincia Sierra de la Giganta y en las discontinuidades Desierto de San Sebastián Vizcaíno, Llano de la Magdalena y Del Cabo.

Discontinuidad Llanos de la Magdalena

El valle de la Paz, está comprendido dentro de la discontinuidad Llanos de la Magdalena, la cual se sitúa al centro – oeste del Estado, conformando una depresión fisiográfica cuyos flancos, al norte y al oriente, son la subprovincia Sierra de La Giganta, al poniente y al sur el océano Pacífico y al sureste la discontinuidad Del Cabo (FIGURA 1.13). Más de la mitad de la zona costera de la discontinuidad está formada por llanuras con dunas, mientras que en los límites con la sierra, al oriente se localizan algunas bajadas y lomeríos. Esta discontinuidad está formada por aluviales, con bajos que suelen inundarse en épocas de lluvias debido a las crecidas de los arroyos que bajan de la sierra y llanuras con dunas.

FIGURA 1.13 Subprovincias fisiográficas en el área de La Paz, B.C.S.



Subprovincia Sierra la Giganta

En Baja California Sur, la cordillera es puramente volcánica y se le conoce como Sierra de la Giganta. La provincia tiene un origen singular ya que se considera que se encontraba pegada originalmente al resto del continente, del que se fue separando por fuerzas tectónicas, formándose así el Golfo de California. La península se sigue alejando hacia el noroeste a razón de 2 a 3cm por año aproximadamente. La falla de la Giganta delimita esta subprovincia del bloque Llanos de la Magdalena.

Esta subprovincia está representada por un sistema montañoso de orientación noroeste – suroeste, que forma parte de la Cordillera Peninsular y cuyo relieve conforma sierras altas con mesetas y mesetas basálticas con cañadas (Raisz, 1962), el panorama geomorfológico que define este bloque es muy variado y litológicamente se compone principalmente de materiales volcánicos pertenecientes a la formación Comondú.

Discontinuidad Del Cabo

Esta discontinuidad se extiende al sur del Trópico de cáncer, presenta un conjunto de sierras que tiene una orientación N-S, desde el costado oriental de la Bahía de la Paz hasta cerca de Cabo San Lucas, está constituida principalmente por un conjunto de rocas plutónicas y en menor proporción por sedimentos metamórficos y materiales de zonas marginales.

Geomorfología

Dentro de la hidrogeología, la geomorfología proporciona elementos que permiten definir de una forma cualitativa las características de las geoformas, con lo cual es posible clasificarlas dentro de un marco hidrológico. Con base en lo anterior, a continuación se hará un análisis cualitativo con el fin de caracterizar geomorfológicamente el área de La Paz. Así mismo, se muestra de manera general la geomorfología y el drenaje principal que presenta la zona en estudio (FIGURA 1.14).

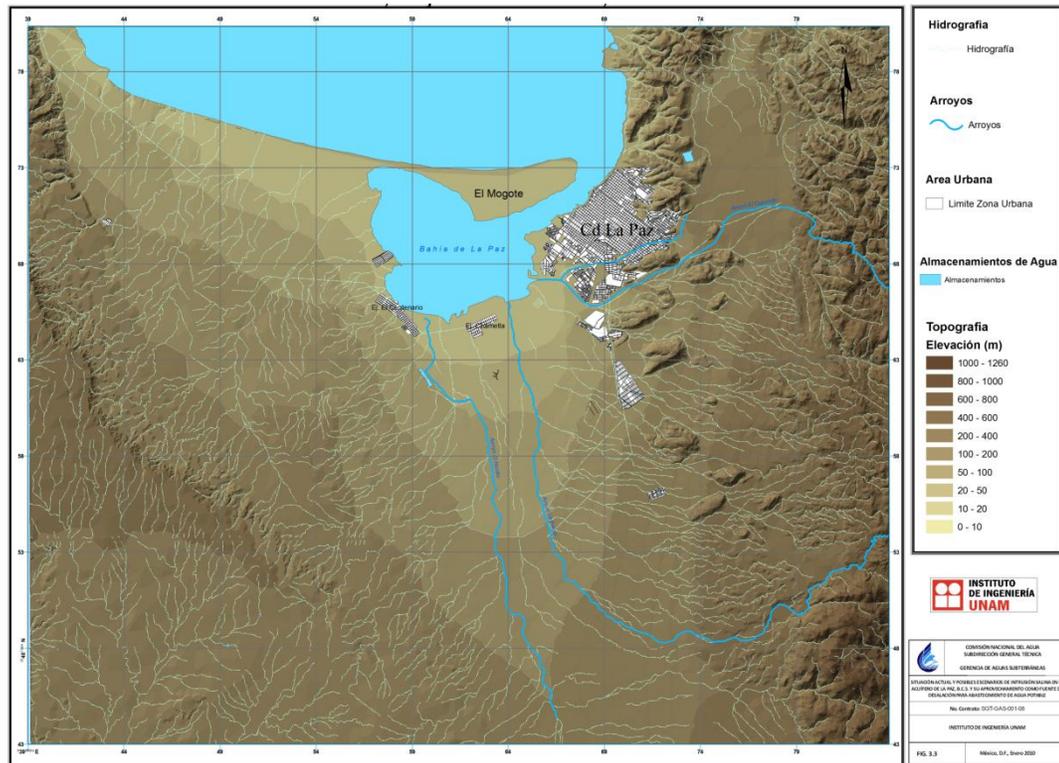
La zona de La Paz presenta tres unidades geomorfológicas principales:

1. Planicies intermontanas (valles)

Los valles constituyen las partes topográficamente bajas. En toda esta región, los valles son sensiblemente planos y están alojados hacia la costa del área y forman parte del arreglo estructural de la zona y que probablemente sean el resultado del relleno de antiguas zonas lacustres. Este extenso valle abarca la porción central del área de estudio con una latitud promedio del orden de 200 msnm.



FIGURA 1.14 HIPSOMETRÍA DE LA ZONA DE LA PAZ, B.C.S.



En cuanto al tipo de drenaje se puede decir que es dendrítico, pero con densidad baja; se encuentra representado por los principales ríos, denominados La Palma, El Cardonal y El Novillo, localizado en la porción central del área, siendo de régimen intermitente, por lo que sus cauces máximos se presentan en épocas de mayor precipitación, es decir en un periodo comprendido entre los meses de Julio y Septiembre.

La tendencia del valle define una tendencia estructural ubicada en dirección NW-SE, y se encuentra delimitado por dos fallas principales denominadas Falla La Giganta localizada en la porción occidental del valle y Falla La Paz ubicada al oriente de la zona de estudio. El valle muestra una ligera inclinación, pero debido a su longitud ésta pendiente es poco significativa, con una inclinación de 0.5°.

2. Mesas

Las mesas dentro de la zona de la Paz, se encuentran distribuidas de manera aislada en la porción centro – oriental y están constituidas por rocas ígneas, las cuales se depositaron en el transcurso del Terciario medio. Estos materiales sufren un intenso intemperismo y erosión, además de localizarse en una zona de constante actividad tectónica, por lo que se considera que sufren un constante proceso de rejuvenecimiento.



En el caso del drenaje aquí es nulo debido al estado geomorfológico de juventud o a la dureza de la roca. Las mesas alcanzan alturas hasta de 200msnm, por lo que sus pendientes son poco pronunciadas.

3. Sierras

La sierra más sobresaliente de la zona es la Sierra de las Calabazas, que se encuentra localizada en la porción Sureste del Valle de La Paz, con una elevación de 900msnm con pendiente de 5º de inclinación. Mientras que en la parte oriente del Valle se encuentran dos sierras denominadas La Palmillosa y la Pintada, estas serranías están compuestas de granito del Cretácico Superior, y hacia la porción oeste del área se localiza la sierra Filos de Treinta y Cinco, que presenta una composición de areniscas del Terciario Medio.

El tipo de drenaje que presentan las sierras del área de estudio corresponde al tipo dendrítico de alta densidad; sin embargo, en la sierra de las Calabazas la densidad es menor o casi nula.

Los lineamientos tienen una tendencia NW – SE siendo producto de los lineamientos N – S que se presentan en el valle de la Paz. Hacia la porción oeste del área donde se encuentra la Sierra Los filos de Treinta y Cinco se localiza la falla La Giganta con una orientación NW – SE, en tanto que en la porción oriente se localiza la falla La Paz la cual tiene la misma orientación. La pendiente en este caso fluctúa entre 5 y 8º.

En resumen se puede decir, que esta zona se compone de tres unidades hidrogeomorfológicas, según se observa en la TABLA 1.10.

TABLA 1.10 UNIDADES HIDROGEOMORFOLÓGICAS DE LA REGIÓN DE LA PAZ Y SUS CORRESPONDIENTES UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS.

UNIDAD HIDRO GEOMORFOLÓGICA	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA	PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS	GRADO DE INFILTRACIÓN
I	Valles	<ul style="list-style-type: none"> • Pendientes suaves • Baja densidad de drenaje • Alta capacidad de infiltración 	Alto
II	Mesas	<ul style="list-style-type: none"> • Características mixtas: en su cima pendientes suaves y baja densidad de drenaje con alta capacidad de infiltración. En sus bordes presenta alta densidad de drenaje y alto grado de escurrimiento 	Medio
III	Sierras	<ul style="list-style-type: none"> • Pendientes abruptas • Alta densidad de drenaje • Alto grado de escurrimiento • Disolución y fracturamiento 	Medio



Unidad hidrogeomorfológica I

Esta unidad corresponde al valle de La Paz y se asoció con geoformas que desarrolla bajas pendientes, en donde las corrientes superficiales prácticamente se encuentran ausentes; las pocas que llegan a presentarse son aquellas de gran magnitud y que por su capacidad de carga pueden continuar su recorrido aún en zonas con baja intensidad de pendiente; por lo tanto, resultan ser zonas con alto potencial de infiltración.

A esta unidad pertenecen los valles y depresiones representando una zona con infiltración, por lo que su importancia radica en la recarga que representa para el acuífero. Las pendientes de baja densidad así como la ausencia de drenaje, son parámetros que indican que el mayor porcentaje de agua que se precipita sobre ellas tiende a infiltrarse al acuífero a través de los materiales granulares y las fracturas que los caracterizan.

Unidad hidrogeomorfológica II

Esta unidad se encuentra constituida por mesas, las cuales se distribuyen principalmente hacia la base de las sierras ubicadas en la porción oriental del área estudiada. Se caracteriza por presentar zonas variables en cuanto a propiedades de infiltración; es decir, la cima muestra generalmente ausencia de drenaje, lo que sugiere que el agua tiende a infiltrarse por las zonas de alto fracturamiento.

Por el contrario, los bordes de las mesas muestran una alta densidad de drenaje, lo que sugiere que el mayor porcentaje de agua al precipitar sobre estas áreas tiende a escurrirse, por lo que el grado de infiltración se considera bajo. Lo anterior aunado a que los materiales que conforman estos elementos los constituyen rocas consolidadas, provoca que en el subsuelo funcionen como barreras tanto laterales como verticales del acuífero, aunque debe considerarse que si existe desarrollo de fracturas sobre las laderas, puede existir buena infiltración hacia el subsuelo.

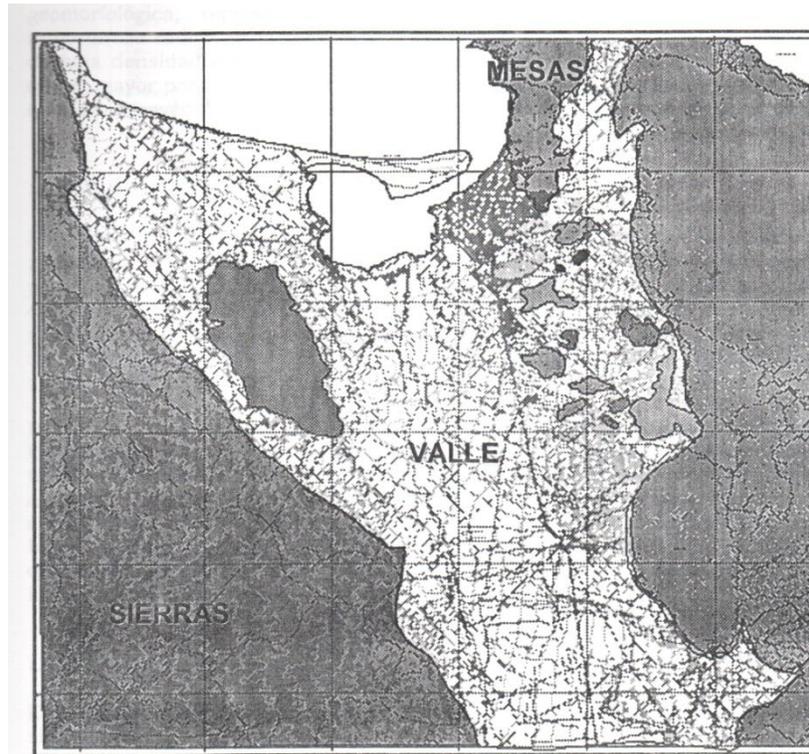
Unidad hidrogeomorfológica III

Está representada por las zonas de pendientes abruptas, que corresponden a las sierras en las que se presenta un mayor porcentaje de escurrimiento en comparación con la infiltración; esto se manifiesta por la alta densidad de drenaje en comparación con las unidades anteriores.

Las características geomorfológicas de las sierras sugieren que el mayor porcentaje de agua precipitada sobre estas áreas tiende a escurrir, por lo que el grado de infiltración se ve altamente disminuido y en los casos en que las rocas son muy compactas, funcionan como barreras laterales y de fondo del acuífero.



FIGURA 1.15 DISTRIBUCIÓN DE LA HIDROGEOMORFOLOGÍA DE LA PAZ, B.C.S.



Estratigrafía y geología superficial

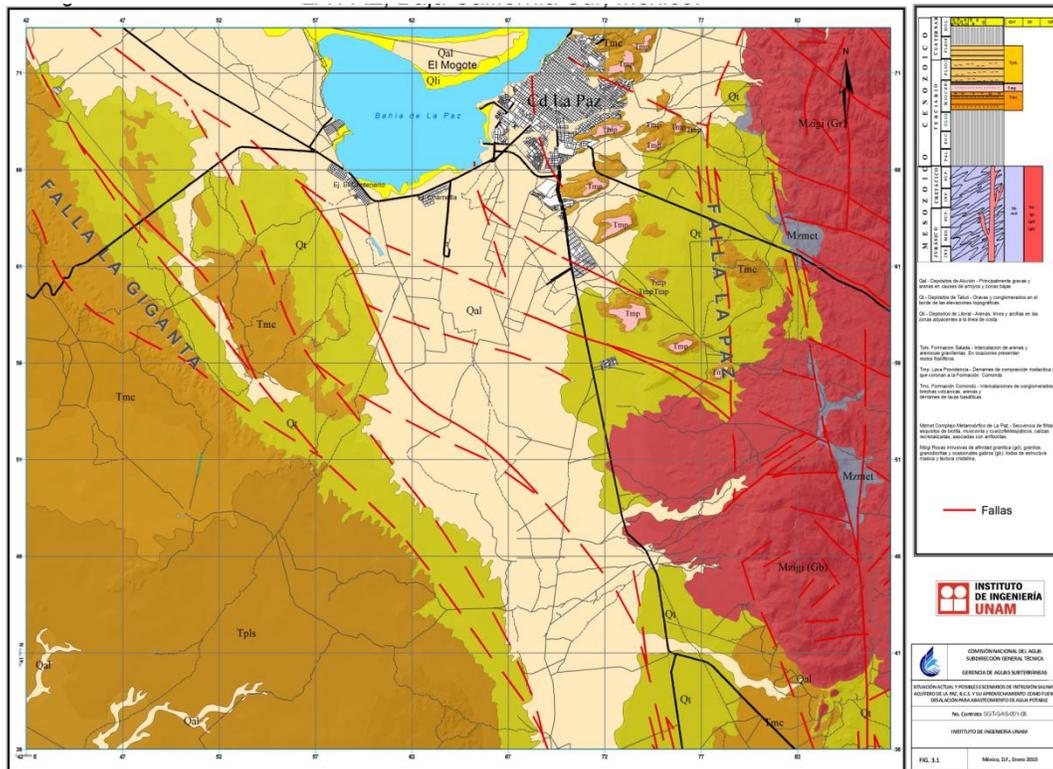
La base de la columna estratigráfica del área la conforma el complejo metamórfico, asociado con rocas arcillosas, que fueron generadas a lo largo de la zona de la falla La Paz, mismo que también es denominado complejo cristalino de La Paz (Ortega – Gutiérrez, 1982) y bloque de los Cabos (Aranda – Gómez y Pérez – Venzor, 1995). Esta secuencia metamórfica consiste de pizarras, filitas, esquistos y sillimanita.

Sobreyaciendo a dicha secuencia en la porción oriental de la falla La Paz, se encuentran rocas intrusivas de composición gabrónica, granítica y granodiorítica sobre las rocas intrusivas descritas y son de edad terciaria. Sobre esta última unidad en la porción oriental de la Ciudad de la Paz, descansa la formación salada.

La columna estratigráfica se encuentra coronada por un conjunto de sedimentos que son producto de la denudación de las rocas preexistentes dando origen a acumulaciones de material aluvial en las partes topográficamente bajas, talud en las laderas de los elementos topográficos elevados y depósitos de litoral, los cuales se encuentran asociados con acumulaciones arenosas de carácter eólico.



FIGURA 1.16 GEOLOGÍA SUPERFICIAL Y COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DE LA PAZ



Geología del subsuelo

La geología del subsuelo del área de La Paz se realizó con cortes litológicos, así como con TEMS, estos últimos realizados durante el estudio de CIGSA en el 2001. A partir de dicha información se construyeron 11 secciones geológicas a lo largo y ancho de la zona de estudio, dentro de las cuales, se trató de correlacionar lo mas objetivamente posible las columnas litológicas con la finalidad de tener una interpretación cuantitativa del subsuelo. Cabe mencionar que estas 5 secciones (1-1', 2-2', 3-3', 4-4' y 5-5') se encuentran dispuestas tanto en sentido longitudinal como transversal al valle.

Sección geológica 1-1'

Esta sección se localiza en el extremo noroccidental de la zona de la Paz, con una dirección N51°E, la cual cruza la Sierra de los Treinta y Cinco y la Falla de la Giganta.

Dentro de esta sección se encuentran los pozos exploratorios No.1 y No. 3, los cuales proporcionaron información del subsuelo. El pozo No.1 corta una columna de 126m de los cuales los primeros 55m corresponden a sedimentos recientes constituidos principalmente por gravas con limos, secuencia que pasa a ser conglomerática inconsolidada, hasta los 128m en donde se detecta la presencia de arcilla, misma que pasa



a formar parte de la matriz de intervalos arenosos y conglomerados; mientras que el pozo No. 3 cruza una sección de 14m de materiales granulares, los conglomerados se extienden en los siguientes 68m, sólo que en este intervalo presentan fragmentos soportados por una matriz arcillosa, en ocasiones arenosa, los últimos 18m se componen de material piroclástico de textura arenosa con láminas de arcilla, lo cual se interpreto como la zona transicional con la Formación Comondú.

La columna sedimentaria muestra un cambio lateral hacia el noreste pues se interdigitan con los materiales existentes en la zona del litoral, los cuales se estiman estén conformados por material principalmente arenoso. La falla la Giganta, al conjugarse con una de sus componentes genera un bloque hundido el cual se encuentra relleno por material granular generado por la erosión (talud). La zona mas profunda que fue interceptada se asocia con la secuencia vulcanosedimentaria de la formación Comondú.

Sección geológica 2-2'

Se localiza al sureste de la sección 1-1' con una dirección inicial de N61ºE y una dirección final de N63ºE. Esta sección se realizó a partir de siete cortes litológicos de los pozos: pozo de bombeo II, pozo CIII, pozo XV, pozo 14, pozo XIV, pozo XVI y pozo 4. Estos pozos presentan una variación de profundidad total entre los 64m y los 170m.

Esta sección se encuentra cortada por una componente de la falla la Giganta en la porción occidental y la falla la Paz en la porción oriente, siendo estas estructuras generadoras de un bloque bajo, dentro del cual se localizan los pozos de bombeo II, pozo CIII, pozo XV, a este bloque se le asignó un salto de 80m tomando como referencia la cima de la Formación Comondú. Este bloque hundido se encuentra relleno de material granular, el cual tiene un espesor de 170m, además de tener la presencia de los arroyos El Novillo, El Cardonal, La Palma y la Huerta.

En esta sección es clara la relación entre los distintos elementos que conforman al acuífero de la Paz ya que en su extremo oriental se muestra la relación estructural entre la columna sedimentaria y las rocas ígneas del complejo cristalino de la Paz, estas últimas afectadas intensamente por fallas y fracturas. En el centro del valle se aprecia la disposición de la Formación Comondú, que ocupa la porción mas profunda de la zona, unidad que es sobreyacida por los materiales granulares del Reciente, los cuales de acuerdo con los cortes litológicos están constituidos principalmente por arenas que en ocasiones se encuentran empaçadas en material mas fino (limos y arcillas), el material grueso frecuentemente alcanza los tamaños de la grava.

Hacia la porción nororiente de esta sección se observa claramente la presencia de material ígneo intrusivo (granodiorita) del cual está constituido el Cerro Vinoramas.

Sección geológica 3-3'



Se localiza hacia el sureste de la sección 2-2', con una orientación inicial de N46°E y finaliza al S77°W. Esta sección cruza la falla la Giganta y su componente así como hacia la porción oriental de la sección se presenta la falla La Paz. La geología de subsuelo de esta sección se interpretó a partir de los pozos Ch1, pozo XII, pozo II, pozo Con 13 y pozo 5. Cabe mencionar que el pozo II es el más profundo en esta sección la cual corta materiales de la formación Comondú.

Esta sección cruza el valle de La Paz, el cual reporta material fino, siendo areniscas y gravillas principalmente de origen ígneo y cuarzosas, con clásticos más gruesos. El valle se presenta integrado por los sedimentos recientes que han sido depositados principalmente por las corrientes fluviales Victoria, El Novillo, y La Palma que lo atraviesan, en ellos se presenta un espesor que llega a los 170m en la porción más profunda del valle.

La sección muestra la presencia de la Falla de la Paz y una componente de la Falla la Giganta, esta última dando origen al pequeño bajo estructural de los Llanos de la Virgen, el cual forma parte del valle de la Paz. En el extremo oriental se muestra la presencia de las rocas ígneas del complejo cristalino de la Paz, las cuales presentan fracturamiento generado por la presencia de las rocas ígneas del complejo cristalino de la Paz.

Sección geológica 4-4'

Se ubica diagonalmente al valle de la Paz, siendo esta sección la más extensa, con una longitud de 61.9km, esta sección inicia con una orientación S26°E y finaliza con una orientación N59°W. La interpretación geológica del subsuelo se realizó a partir de los cortes litológicos de los pozos: XI, exp. No.3, exp. No. 1, pozo I, pozo bombeo II, pozo CH1, pozo III y AO no. 3. Es importante mencionar que el pozo I y el III presentan una profundidad máxima de 550m cada uno, los cuales cortan a la Formación Comondú y a la formación San Isidro.

A lo largo del Valle de la Paz, se observan materiales finos los cuales envuelven a lentes de materiales gruesos como gravas (pozo exp. No. 3 y No. 1) y limos y arenas como ocurre en el pozo Bombeo II. Estos materiales granulares se tienen de igual forma por la presencia de secuencias fluviales de los arroyos La Ardilla, San Pedro, El Novillo, La Paloma y las Tijeras, los cuales han dado origen a la secuencia más superficial del Valle de la Paz.

Subyaciendo la asociación litológica anterior, se presenta un horizonte de material arenoso, cuyos granos son soportados por sedimentos finos (arcillas y limos), los cuales en la parte central de la sección se comienza a manifestar entre 43 y 51m. Existen depósitos de talud, que se estima están integrados principalmente por conglomerados que no presentan gran desarrollo vertical.



De tal forma se consideró que la secuencia clástica que se ubica en el bloque bajo delimitado por las fallas La Paz y la Giganta, y que se acuña contra los bordes de las Sierras Filos del Treinta y Cinco al poniente y la Laguna o Las Calabazas al oriente, se manifiestan depósitos de talud en los extremos, los cuales manifiestan áreas donde las rocas precenozoicas se encuentran cercanas a la superficie.

Hacia el extremo oriental de la sección se manifiesta un pequeño bloque hundido en donde el pozo AO3 cortó 200m de material granular grueso (gravas, conglomerados y arenas de grano grueso) ocasionalmente soportado por arcilla, el cual descansa en material metamórfico. El bloque se encuentra limitado al poniente por la Falla la Paz y una componente de esta misma conforma el límite oriental. Así mismo, en esta porción oriente se encuentra la Sierra Las Calabazas, la cual está formada por material ígneo intrusivo (gabros), a los cuales la Falla de la Paz pone en contacto con granodioritas del mesozoico.

Sección geológica 5-5'

Esta sección se ubica longitudinalmente en la porción oriente de la zona de estudio, con una orientación N8°E, finalizando en una orientación de S1°E. Esta sección se realizó a partir de tres cortes litológicos, los cuales corresponden a los pozos: pozo VII, pozo C No.13 y pozo No. 5; sin embargo, esta información reportada por estos pozos es muy superficial a excepción del pozo VII, el cual tiene una profundidad de 358m.

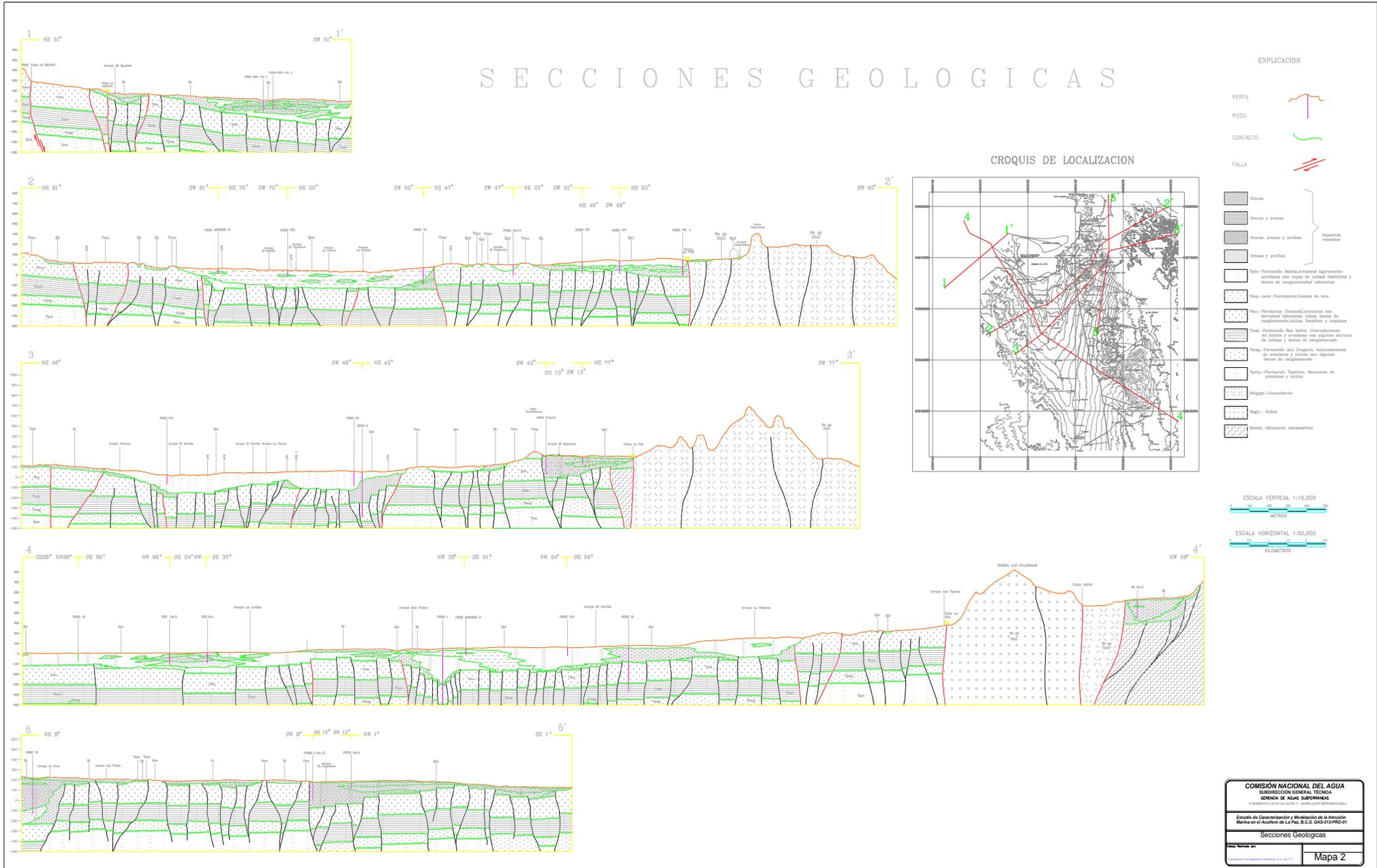
En la porción occidental de la sección, en donde se ubica el pozo VII se tiene un relleno de por lo menos 300m de material granular los cuales se encuentran relacionados con los depósitos de talud, el cual está en vuelto en una matriz arenosa y en los últimos 50m se tiene la presencia de material fino (areno arcilloso). Es importante mencionar que los arroyos que corta esta sección son La Cruz, los Pozos y el Cajoncito.

De acuerdo con la interpretación realizada, en este sector se manifiesta un espesor delgado de materiales recientes (aluvión), lo cual es corroborado por el pozo No.5 que manifiesta 45m de sedimentos granulares, para posteriormente reportar materiales envueltos en una matriz arenoarcillosa.

Como puede observarse, en el extremo occidental en los primeros 53m de profundidad, se manifiestan gravas con arenas, por lo que esta litología se encuentra relacionada con los depósitos de talud, después de este horizonte y hasta los 358m se presentan materiales constituidos principalmente por arcilla con poca arena o gravilla, lo que se interpreta como secuencias vulcanoclásticas pertenecientes a la Formación Comondú. Estas características son claramente correlacionadas con los resultados reportados en el pozo C13.



FIGURA 1.17 SECCIONES GEOLÓGICAS, LA PAZ B.C.S. (CIGSA, 2001)



Geología estructural

Las estructuras que se encuentran presentes en el área de estudio, son el resultado de la intensa actividad tectónica que se ha manifestado a lo largo del tiempo geológico. Esta actividad tectónica se ve claramente reflejada en dos principales fallas que corren a lo largo del acuífero de la Paz (FIGURA 1.18).

La primera corresponde con el accidente estructural de mayor relevancia que se desarrolla dentro del área estudiada y que se denomina Falla La Paz. Esta se encuentra en la porción oriental del área de estudio y presenta una orientación N – S. De acuerdo con los diversos autores que han estudiado su comportamiento, es un elemento estructural que presenta dos componentes principales, uno corresponde con un desplazamiento izquierdo y el otro con desplazamiento normal.

Dentro de los rasgos estructurales que han sido definidos por este accidente se encuentra el alto estructural ubicado en el bloque oriental de la falla. Así mismo, su expresión se encuentra definida por el bloque oriental de la falla. Así mismo, su expresión se encuentra definida por el borde occidental de la Sierra Las Calabazas. En su extremo norte, la falla la Paz genera un sistema de lineamientos con orientación NW – SE que son distinguibles sobre las sierras la Pintada y la Palmillosa.

El desarrollo de la falla se ve truncado hacia la porción sur del área de estudio, por un sistema de fallas con orientación NW – SE los cuales integran un sistema de lineamientos de rumbo W – E.

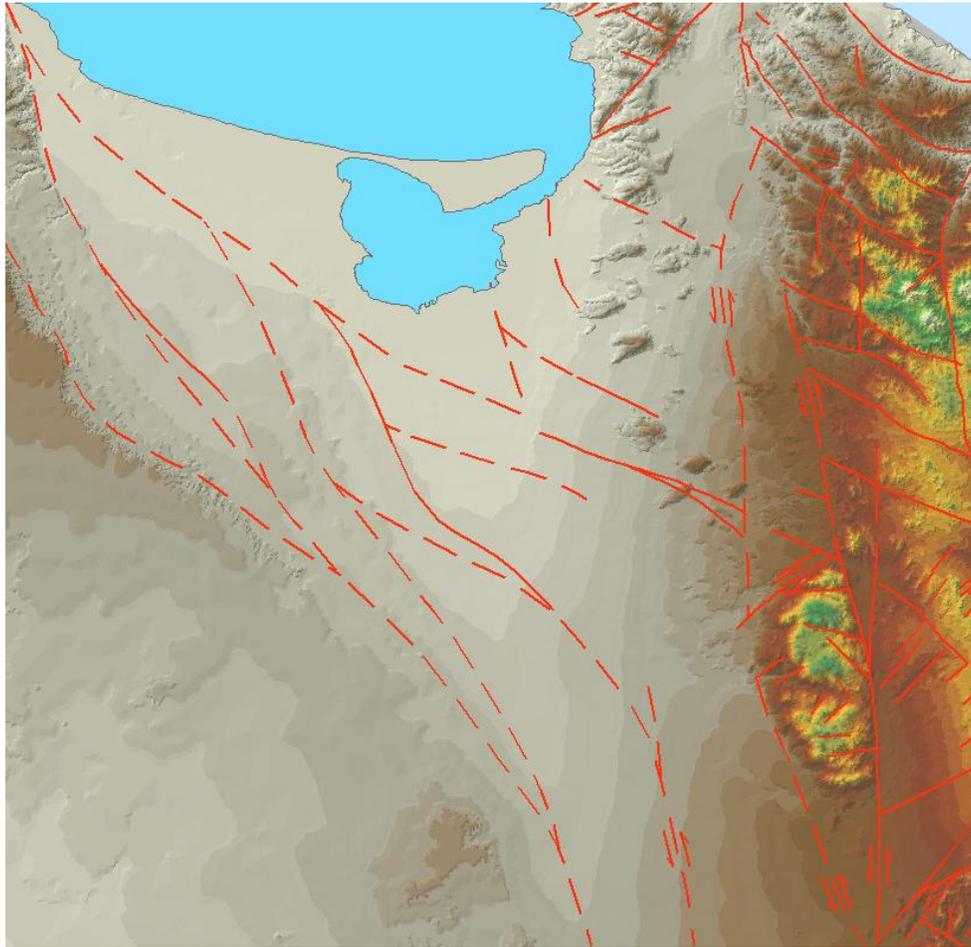
El segundo accidente estructural de relevancia es la denominada falla la Giganta (Falla Carrizal para el Consejo de Recursos Minerales), se localiza en la porción oeste del sector estudiado y presenta una orientación NW – SE. Esta falla ha favorecido el desarrollo de la depresión estructural que conforma el valle de la Paz.

Es un accidente estructural que presenta una componente de tipo normal con el bloque hundido hacia el oriente. Su expresión topográfica está definida por el borde correspondiente a la Sierra los Filos del Treinta y Cinco.

Como respuesta a este elemento estructural se han generado distintas bifurcaciones dentro de los cuales el conjunto de fallas presentes en el sector de Alfredo V. Bonfil ha dado origen al bajo estructural que define al Arroyo de Garambullo. Así mismo a estos accidentes se asocia un fuerte fracturamiento de las rocas.



FIGURA 1.18 UBICACIÓN DE FALLAS PRINCIPALES EN LA ZONA DE LA PAZ, B.C.S.



Otro de los rasgos morfoestructurales definidos en el área de estudio corresponde con la depresión en donde se desarrolla el acuífero de la Paz. Este valle es producto de la interacción de las dos principales fallas que fueron descritas en los párrafos anteriores, es decir, la estructura corresponde con un graben, mismo que se haya delimitado por dos bloques altos que corresponden con las sierras la Victoria y Filos del Treinta y Cinco. Esta fosa tectónica presenta una figura geométrica en forma de “V” cuyo vértice apunta hacia el sur, por lo que su eje central tiene una orientación N – S.

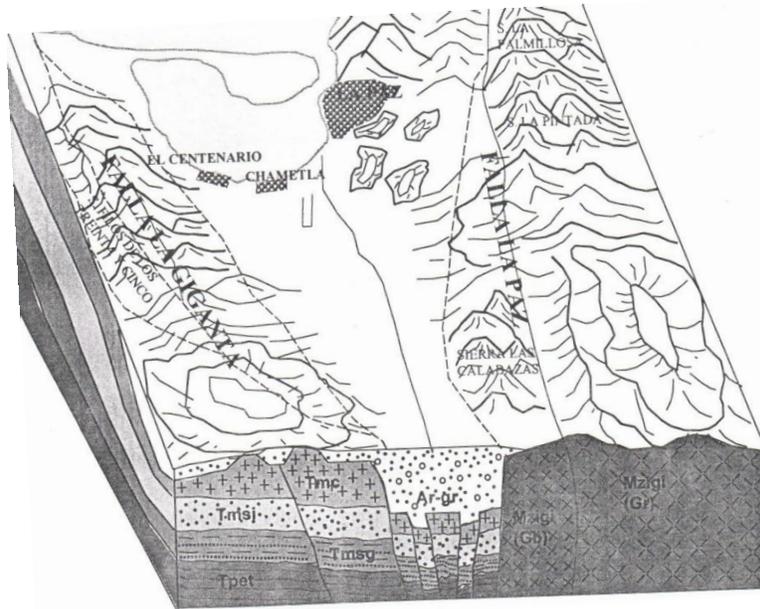
Modelo geológico conceptual

El valle de la paz está constituido por materiales granulares que presentan variaciones texturales que van desde cantos rodados y gravas hasta arenas, arcillas y limos. Las zonas con materiales de mayor tamaño representan las áreas de mayor permeabilidad y se asocian con depósitos de grava de los canales fluviales. Este valle se interpreta que fue



originado a partir de la dinámica de la falla la Paz conformándole una geometría triangular vista en planta (FIGURA 1.19).

FIGURA 1.19 BLOQUE DIAGRAMÁTICO DEL VALLE DE LA PAZ, B.C.S.



Como se mencionó en párrafos anteriores, la columna estratigráfica que se encuentra en el subsuelo del valle de la Paz subyaciendo al medio granular en actual explotación se compone de la base a la cima por las formaciones Tepetate, San Gregorio, San Isidro y Comondú, todas ellas del Mioceno, a excepción de la primera unidad que se considera del Paleoceno – Eoceno. Estas rocas en su gran mayoría contienen materiales porosos, representados por areniscas poco compactadas, conglomerados y materiales volcánicos fracturados, respectivamente. El paquete de rocas volcánicas y sedimentarias Terciaria se estima un espesor superior a los 900m.

Las depresiones que tienen como límites las componentes de la falla de la Paz se consideran como microcuencas y forman parte de una serie de bloques que fueron segmentados por las estructuras frágiles de segundo orden, estas fallas les brindan un potencial acuífero a estos bloques, ya que pueden actuar como conductos o barreras, es decir, que sólo una parte del volumen total almacenado en la zona de la falla descarga en el medio granular dentro del valle, pero también pueden ser conducidos en sentido paralelo a la traza de la falla y otra parte es transmitida en las zonas permeables de la falla al bloque adyacente.



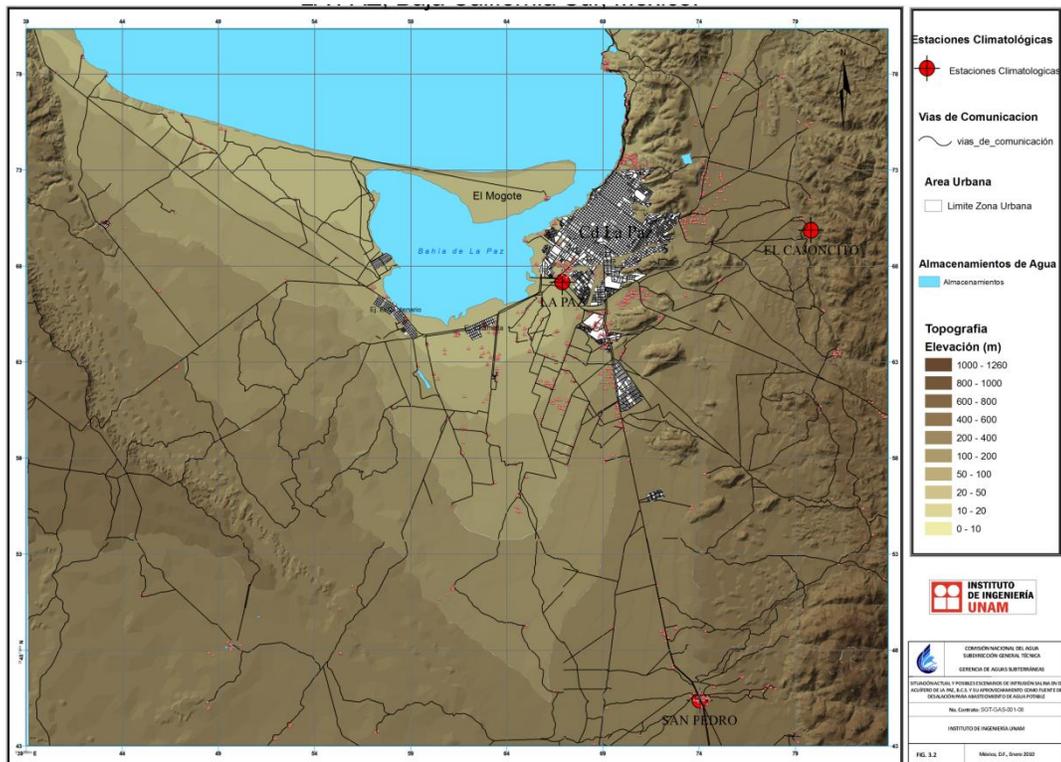
MARCO HIDROGEOLÓGICO

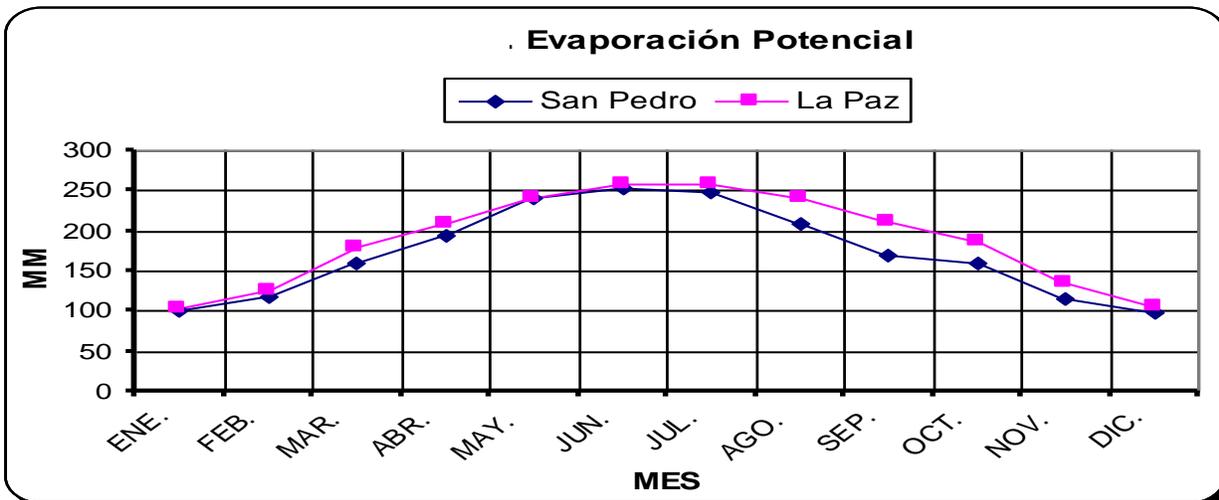
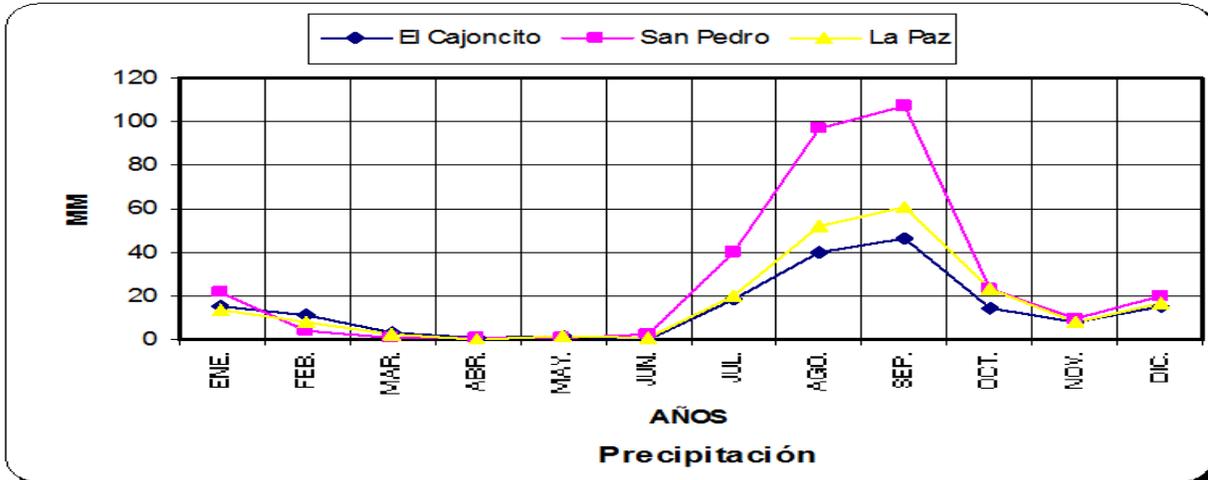
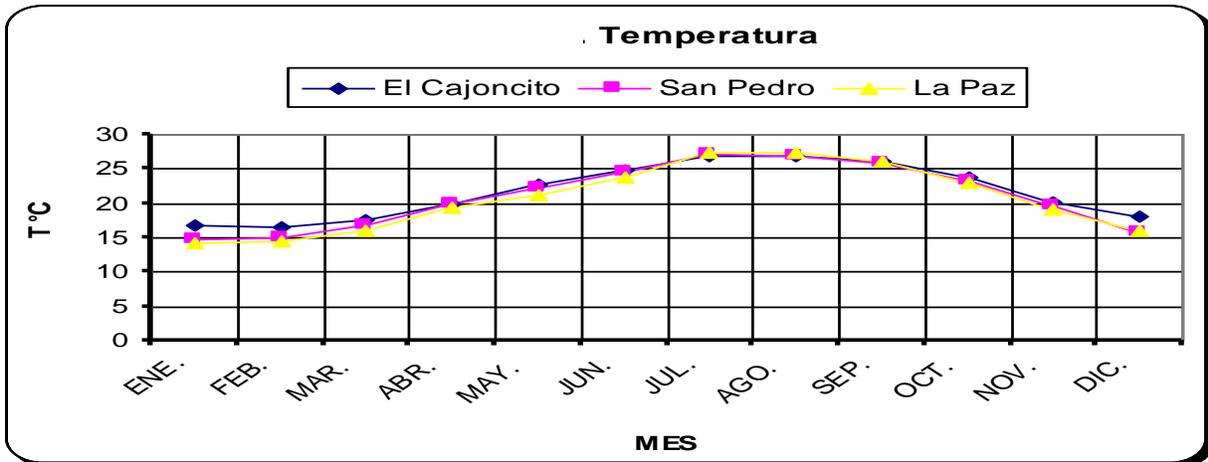
Climatología

Las condiciones climáticas en el área dominan el comportamiento hidrológico en la localidad y se distinguen básicamente por tres tipos de clima: seco-semicálido (BSh); muy seco-semicálido (BWh) y cálido BW(h') por lo que la temperatura ambiente varía entre 13 y 40 grados centígrados, con una media de 22°C.

La zona se caracteriza por muy escasa precipitación entre marzo y junio, con lluvias torrenciales en los meses de julio, agosto y septiembre, propiciadas principalmente por efecto de ciclones y tormentas tropicales originadas en el Océano Pacífico, pero también se pueden presentar eventualmente algunas lluvias en diciembre y enero. La mayor parte del año se tiene vientos de componente Noroeste; aunque durante el verano (julio, agosto y septiembre) son prácticamente nulos, lo cual, aunado a las elevadas temperaturas influye para que la evaporación potencial sea mayor que la precipitación, circunstancia que sin embargo se mitiga por efecto de las tormentas tropicales (FIGURA 1.20).

FIGURA 1.20 DISTRIBUCION GENERAL DE PARAMETROS CLIMATICOS Y LA UBICACIÓN DE ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS





Fuente: CONAGUA-CIGSA Acuífero La Paz 2001. Adecuación Instituto de ingeniería UNAM.



Hidrología

Por su clima, topografía, tipo de suelos y pendientes, el Valle y Ciudad de La Paz cuentan en su entorno con una hidrología superficial a base de escurrimientos que drenan por pequeños cauces (arroyos) hacia la Bahía o hacia la Ensenada de La Paz y donde también se generan áreas importantes de inundación constituyendo en su conjunto la llamada Cuenca de La Paz (FIGURA 1.21).

La Cuenca tiene una extensión aproximada de 1,417 km² y queda comprendida dentro de la Región Hidrológica No. 6 “Baja California Sureste” con una extensión de 6,922.5 km² que termina en Bahía del Fraile donde el litoral sufre un cambio de dirección para inclinarse hacia el Suroeste, rumbo a San José del Cabo y Cabo San Lucas.

Entre los arroyos principales están:

1. El Cajoncito y Piojillo
2. El Salto
3. El Cardonal
4. La Paz y Datilar
5. El Calandrio
6. La Huerta, Los Pozos
7. El Gavilán
8. La Barrosa
9. La Palma
10. El Novillo

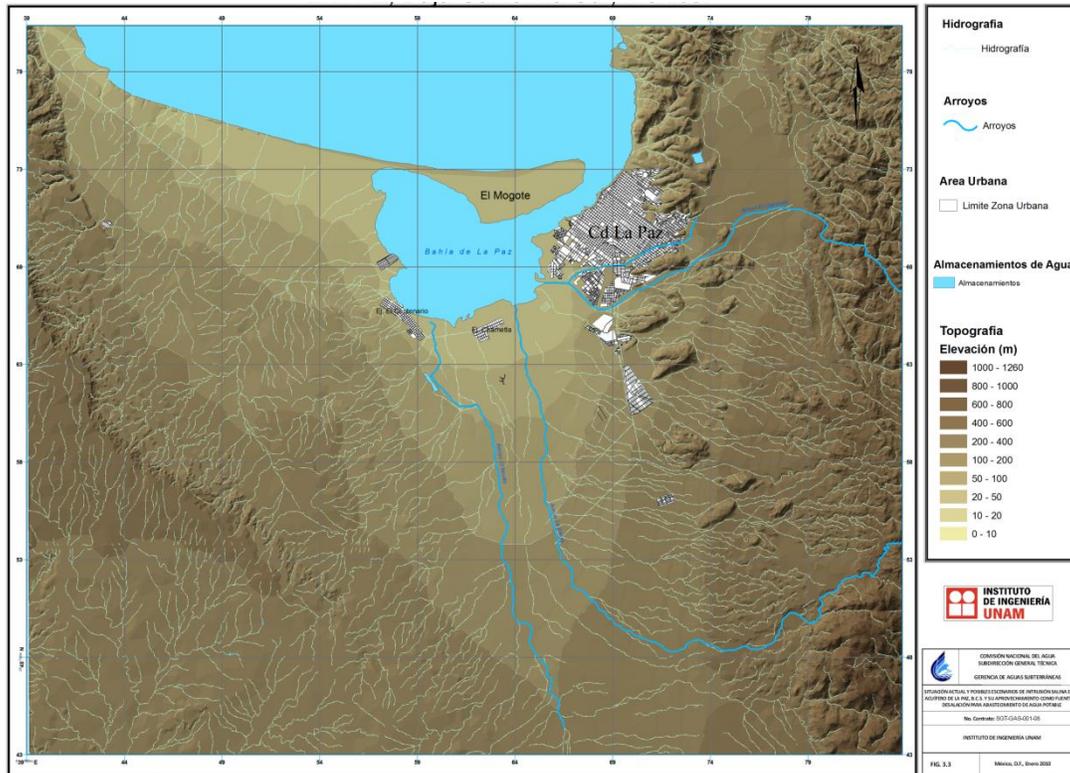
Los escurrimientos extraordinarios que generalmente se presentan en verano por efecto de los ciclones o tormentas tropicales, inundan la mayor parte del valle, se extienden y cruzan la zona urbana con velocidades bajas, causando en ocasiones severos daños a la población. Sin embargo, como control relativo se tienen obras construidas sobre todo el arroyo El Cajoncito que en conjunto con la Presa “Buena Mujer” aguas arriba, favorecen al amortiguamiento de los grandes volúmenes escurridos. No obstante, a pesar que el volumen escurrido por los arroyos se calcula en el orden de 11 Mm³/año, producto de un volumen precipitado de 351 Mm³/año, con un coeficiente de escurrimiento de 0.0329 éste apenas alcanza a reflejar una infiltración horizontal promedio de 0.77 Mm³/año (0.2% del volumen precipitado), ya que por la pendiente del suelo, así como por la carencia de obras de captación en el valle, este flujo se deriva prácticamente sin utilizar hacia la Bahía y Ensenada de La Paz.

Por otro lado, se estima que la infiltración vertical es del orden de 28 Mm³/año (10% de la precipitación total) y que se favorece en gran medida a través de los materiales que sobreyacen en los cauces superficiales, así como por la pendiente y por el tipo de suelo, con lo que esta infiltración se induce hacia el centro del valle, principal zona de recarga,



siendo entonces el drenaje desde el flanco Este del Valle y por los arroyos de El Cajoncito en el flanco Oeste y por el Novillo en la porción Sur, asociado al arroyo El Salto, respectivamente. Sin embargo, este flujo se encuentra severamente afectado por el bombeo asociado al abasto de agua potable que se extrae precisamente de la parte central del valle y por la extracción ampliamente dispersa para Surtimiento a la zona agrícola (1,900 hectáreas) que se irriga casi en su totalidad con agua de origen subterráneo, de manera que el remanente de esta infiltración es mínimo.

FIGURA 1.21 HIDROLOGÍA DE LA PAZ



Usos del Agua

Con base en la concesión para uso del agua del acuífero de La Paz hasta el año 2000 el volumen de $30.8 \text{ Mm}^3/\text{año}$ ya presentaba un déficit de casi 3 Mm^3 conforme a su recarga (27.9 Mm^3 según datos de la CONAGUA), incluido la aportación por intrusión salina. A la fecha, el déficit no se ha podido subsanar mediante obras de recarga o recuperación natural del acuífero y más aún, éste sigue abatiéndose y perdiendo calidad del agua para usos preestablecidos, lo que constituye actualmente la principal problemática para el desarrollo sustentable de la localidad.

Conforme a la información disponible, en el año 2000 la extracción se realizaba en 171 pozos con un gasto de $30.4 \text{ Mm}^3/\text{año}$ donde la distribución del agua correspondía en 68%



a uso público-urbano; 30% agrícola; 1% pecuario-doméstico; 0.6% para servicios diversos y 0.5% para uso industrial (FIGURA 1.22 a). No obstante, en 2002 CONAGUA reporta que la extracción es de 30.8 Mm³/año, con una distribución de 59% para uso público-urbano; 34% agrícola; 2% pecuario-doméstico y 5% en otros que se asumen como servicios e industria, lo que denota diferencias significativas sobretodo en uso público-urbano y agrícola, con -9 y +4 % respectivamente. Esto implicaría una reasignación de volúmenes para beneficio agrícola pero con déficit público-urbano (2.5 Mm³); o bien, inconsistencias de medición, evaluación o en el reporte de datos (FIGURA 1.22 b; TABLA 1.11).

Por otro lado, OOMSAPA reporta que entre 2003 y 2005 el gasto producido para abasto doméstico, comercial o servicios, e industrial (público-urbano) fue de 685 l/s (21.6 Mm³/año), equivalente al 70% de la extracción, desglosando el 94.29% en uso doméstico, 5.47% en comercial y 0.24% en industrial, quedando un remanente de 30% para uso en su mayoría agrícola, incluyendo al pecuario-doméstico, o rural (FIGURA 1.22 c; TABLA 1.11). Con esto se denotaría nuevamente inconsistencias de reporte (nomenclatura de usos) y medición, o bien, un incremento en la extracción (30.9 Mm³) para ser asignada al uso doméstico, comercial e industrial, ya que en estas condiciones el gasto para uso agrícola disminuye.

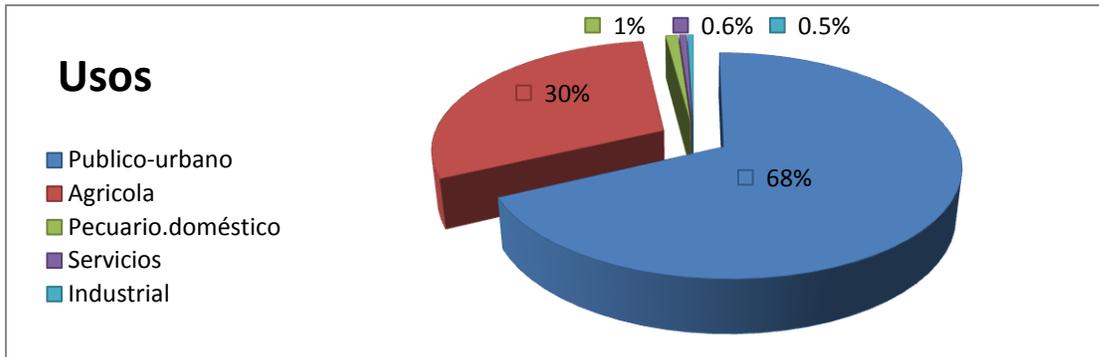
TABLA 1.11 ANALISIS DE USOS DEL AGUA POR SECTORES DE CONSUMO Y PRODUCTIVOS (2000-2009).

USOS DEL AGUA POR SECTORES DE CONSUMO Y PRODUCCIÓN (Mm ³ /año)													APROVECHAMIENTOS PARA AGUA POTABLE Y RIEGO (l/s)		
USOS	Público-Urbano						Agropecuariao-Rural						Gasto integrado por sectores • Público-urbano (Doméstico, comercial, industrial) • Agropecuario (Agrícola, pecuario, rural)		
	Doméstico (Público)		Comercial (Servicios, otros)		Industrial (otros)		Agrícola (Pecuario)		Pecuario (Doméstico)		Doméstico (Rural)				
AÑOS	%	Q	%	Q	%	Q	%	Q	%	Q	%	Q	No. Pozos	Público	Agrícola
2000	68	20.7	0.6	0.18	0.5	0.14	30	9.1	0.9	0.26	-	-	171	666.5	296.8
2002	59	18.2	5.0	1.54	-	-	34	10.5	2.0	0.62	-	-		625.9	352.6
2003	66	20.4	3.8	1.18	0.2	0.05	30	9.3	-	-	-	-		685.9	294.9
2004	66	21.1	3.8	1.22	0.2	0.06	30	9.6	-	-	-	-		709.6	304.4
2005	68	21.6	1.4	0.46	1.0	0.32	27	8.7	2.6	0.84	0.25	0.08	159	709.6	305.0
2006	66	22.7	3.8	1.32	0.2	0.06	30	10.4	-	-	-	-		763.6	329.8
2007	66	22.0	3.8	1.28	0.2	0.06	30	10.0	-	-	-	-		740.1	317.0
2008	66	16.9	3.8	0.98	0.2	0.04	30	7.7	-	-	-	-		568.2	244.2
2009	66	14.9	3.8	0.87	0.2	0.04	30	6.8	-	-	-	-	151	501.3	215.6
Media	70 %		20.2 Mm ³ /año				32%		9.8 Mm ³ /año				160	663.4	295.6

% = Porcentaje de extracción correspondiente a cada uso; Q = Gasto asignado en Mm³/año Fuentes: CONAGUA-CIGSA Acuífero La Paz, 2001; SAPA 2005; OOMSAPA 2009; adecuación Instituto de Ingeniería UNAM

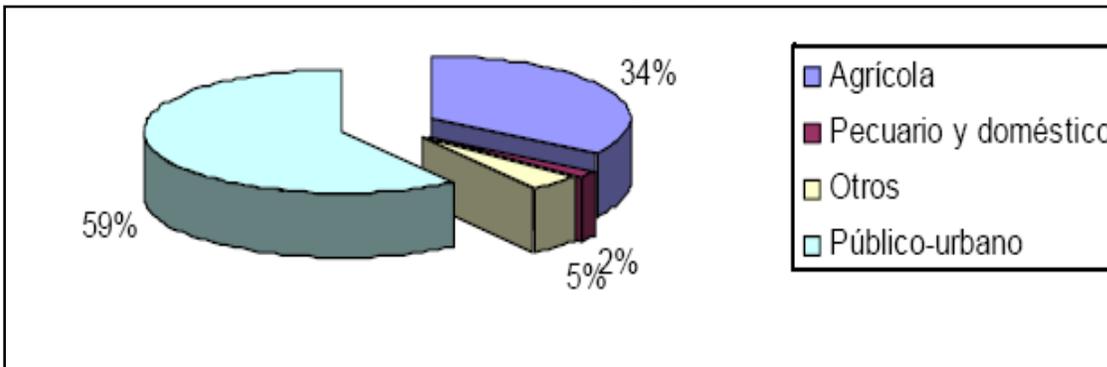


FIGURA 1.22 USOS CONCESIONADOS DEL AGUA EN EL ACUIFERO LA PAZ
a) Año 2000 Volumen concesionado (Extracción 30.4 Mm³/año)



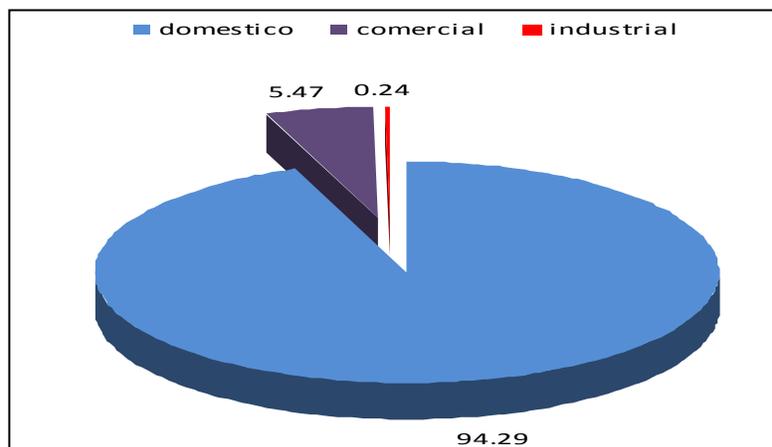
Fuente: Comisión Nacional del Agua. CIGSA 2000; análisis Instituto de Ingeniería UNAM

b) Año 2002 Volumen concesionado (Extracción 30.8 Mm³/año)



Fuente: Comisión Nacional del Agua, Subdirección General Técnica. Gerencia de Aguas Subterráneas, 2002.

c) Años 2003-2005 Volumen concesionado (Extracción 30.9 Mm³/año)



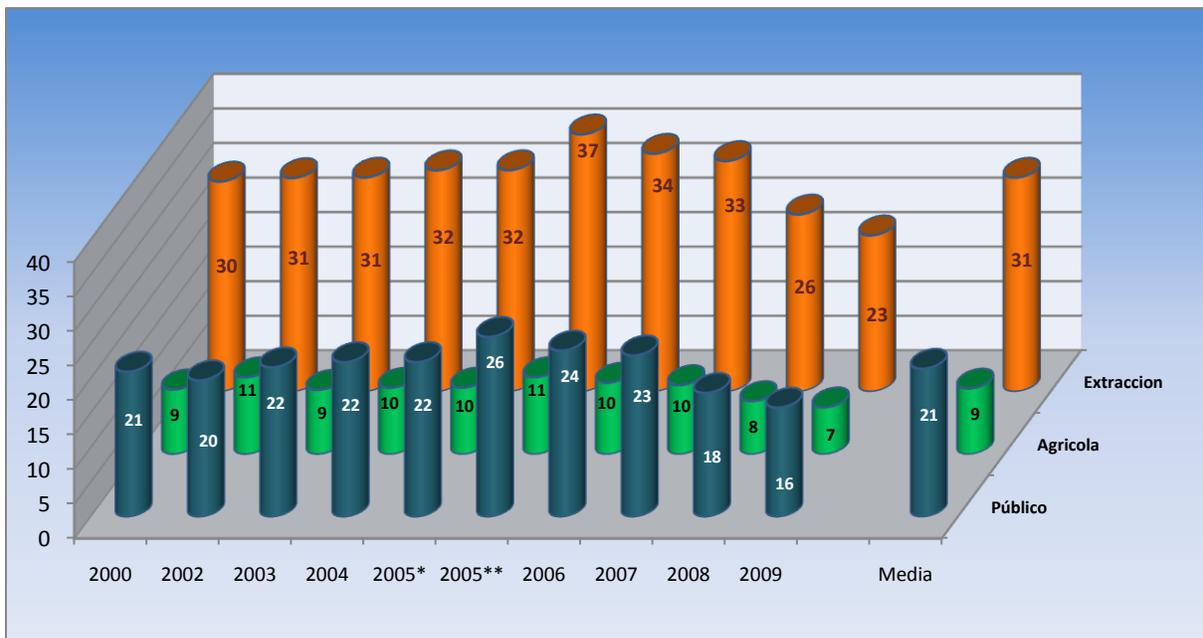
Fuente: OOMSAPA, 2005-2008



Al respecto, un estudio del 2004 infiere que la extracción se habría incrementado a 32 Mm³/año (1,014 l/s), con una recarga de agua dulce de 18.5 y de 4.5 Mm³ de agua de mar (23Mm³), con lo que el déficit pasaría de 3 a 9 Mm³/año, (6 Mm³) en tan sólo 5 años. Esta inferencia se sustentaría con los datos reportados por CONAGUA en 2005 para volúmenes de producción total de agua, el cual es de 31.7 Mm³/año con 159 pozos funcionales, donde el uso público-urbano corresponde a 22.4 Mm³/año y el agropecuario a 9.6 (TABLA 1.11).

Finalmente, OOMSAPA reporta volúmenes de extracción entre 2005 y 2008 que se infieren de uso público-urbano los cuales disminuyen de 26 a 17 Mm³/año (9 Mm³), señalando un gasto de 502 l/s para agosto del 2009, con 22 pozos funcionales (15.8 Mm³/año). Esto implicaría que la extracción pudo haber llegado hasta 37 Mm³/año en 2005, lo que sustentaría el déficit referido, pero también que actualmente ésta ha disminuido significativamente, o bien que prevalecen inconsistencias de medición y reporte (TABLA 1.11; FIGURA 1.23).

FIGURA 1.23 VOLUMEN DE AGUA EXTRAIDA (Mm³/año) Y DISTRIBUCION POR USOS (2000-2009)



Fuente: CONAGUA-CIGSA Acuífero La Paz, 2001; SAPA 2005; OOMSAPA 2009; adecuación Instituto de Ingeniería UNAM

Es obvio entonces que la extracción y uso del agua ha sido predominante en un 70% para servicio público-urbano y 30% agropecuario; sin embargo, el agua producida y su distribución a la población han sido insuficientes desde el año 2000, considerando que se requieren actualmente del orden de 6 Mm³/año adicionales para satisfacer la demanda de agua potable, siendo que desde el 2000 el crecimiento demográfico y económico se ha diversificado e incrementado, más no así la disponibilidad aparente para el abasto. Ello motivó además de mayor extracción, la necesidad de implantar acciones como el cierre de



pozos y establecer políticas de racionalización para la distribución y el consumo del agua, así como la aplicación de opciones para coadyuvar por un lado a lograr ser más eficiente el uso mediante campañas de concientización ambiental, reparación de fugas, regularización de tomas domiciliarias y reutilización de las aguas residuales tratadas a nivel municipal, principalmente en agricultura; y por otro lado, a la aplicación de “nuevas” tecnologías para subsanar el déficit por exceso de demanda mediante desalación de agua de mar a nivel privado.

Es importante señalar que en el año 2000 la población era de 197,000 habitantes con un consumo de agua de 21 Mm³/año, equivalente a 107 m³/hab/año, por lo que esta cifra se habría reducido hasta en un 10 % para el 2005 con una población de 220,000 habitantes y más aún en la actualidad (TABLA 1.12), dado que la disponibilidad del acuífero no ha aumentado.

TABLA 1.12 ANÁLISIS DE USO PUBLICO-URBANO DEL AGUA POR INCREMENTO DE POBLACIÓN

AÑO	POBLACION	AGUA EXTRAIDA (Mm ³ /año)	CONSUMO ESTIMADO (Mm ³ /año)	DEFICIT (Mm ³)	DISPONIBILIDAD MEDIA POR HABITANTE (m ³ /hab/año)	CALIDAD (STD-mg/l)
2000	197,000	21.2	23.6	2.4	107	525
2005	220,000	22.4	24.2	4.8	80.5	654
2008	236,000	17.9	25.9	8	67.8	784

Fuente: CONAGUA-CIGSA Acuífero La Paz, 2001; SAPA 2005; OOMSAPA 2009; adecuación Instituto de Ingeniería UNAM

Esto contrasta además con la disponibilidad natural estimada por CONAGUA para toda la Región hidrológica-administrativa Norte, Noroeste (Sonora, Baja California y Baja California Sur) y centro del país, donde el valor medio de 1,835 m³/hab/año se considera de por sí “muy bajo”, por lo que en consecuencia la disponibilidad natural en La Paz sería “extremadamente baja” inclusive para el contexto de la Región I “Península de Baja California” que es de 570 m³/hab/año.

En el año 2000 el 89% de las viviendas del Municipio contaba con agua potable entubada; sin embargo, nuevos asentamientos en zonas rurales y con carencia de red generaron la necesidad de abastecer a la población con 600 m³/día mediante pipas, destacando que estos asentamientos se ubicaron en el centro del valle principal zona de recarga. Asimismo, instituciones educativas, hospitales y grandes comercios que por su crecimiento requerían servicio adicional se fueron atendiendo también por pipas con otros 1,300 m³/día, que en conjunto suman 1,900 m³/día (693,500 m³/año) mismos que han repercutido los últimos 9 años en déficit de suministro a la red y disminución en la facturación de altos consumidores.

A la fecha, la distribución por pipas es de 745,849 m³/año lo que aunado a fugas en la red (8.5 Mm³/año) y generación de aguas residuales (12 Mm³/año) suma 21.25 Mm³/año, que



contra los 17 Mm³/año reportados muestra que el agua disponible no sólo es deficitaria sino también de uso ineficiente; o bien, que su medición es inadecuada. Datos reportados para el consumo estimado entre 2003 y 2005 determinan una diferencia de 253.4 l/s entre el gasto producido (685 l/s) menos el gasto facturado (431.6 l/s), lo que significa además de incertidumbre de consumo, que los usuarios estarían consumiendo más de lo que se les cobra debido a que la tarifa es por promedio y no por lectura en medidor (toma domiciliaria), por lo que no estarían siendo bien evaluados y mucho menos sensibilizados en el cuidado y uso racional del agua (TABLA 1.13; FIGURA 1.24).

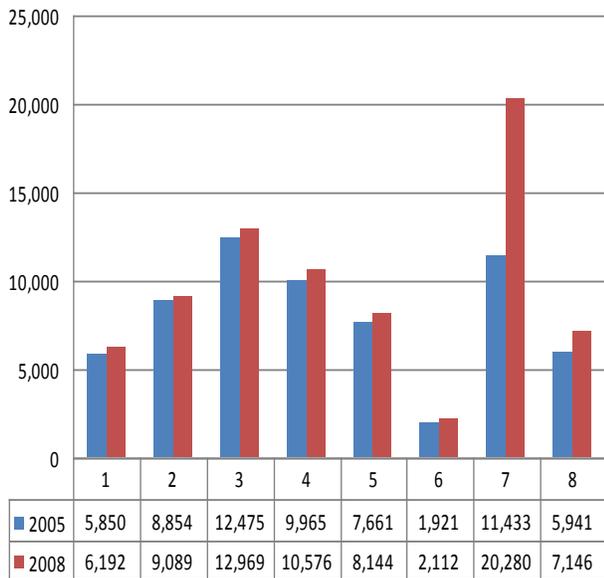
TABLA 1.13 ANALISIS DE CENSO, CONSUMO Y AGUA NO CONTABILIZADA (2003-2008)

	No. TOMAS CENSADAS			CONSUMO MEDIDO (l/s)					GASTO PRODUCCI DO (l/s)	GASTO FACTURA DO (l/s)	GAS TO NO
	Domestic o	Comerci al	Industri al	Total de Tomas	Domestic o	Comerci al	Industri al	Consum o			
2003	52,963	3,370	174	56,507	276.66	35.22	13.23	325.11	685	431.6	253
2004	54,199	3,217	188	57,604	373.38	44.09	16.75	434.22			
2005	57,393	3,376	193	60,962	373.96	41.90	15.72	431.58			
2008	72,213	4,102	193	76,508	470.52	50.91	15.72	537.15			
2009	74,080	4,297	190	78,567	482.70	53.33	15.47	551.50	502	-	-

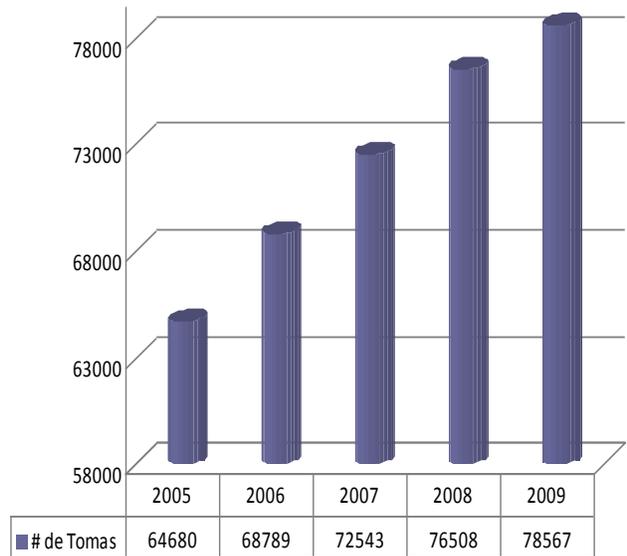
Fuente: CONAGUA-CIGSA Acuífero La Paz, 2001; SAPA 2005; OOMSAPA 2009; adecuación Instituto de Ingeniería UNAM

FIGURA 1.24 CENSO DE TOMAS DOMICILIARIAS EN EL MUNICIPIO DE LA PAZ.

a) Tomas domiciliarias por sectores urbanos



b) Regularización anual de tomas



Fuente: OOMSAPA 2005-2008



En este sentido es un hecho que el consumo de agua potable en La Paz no se tiene bien contabilizado en lo relativo a medición y facturación, siendo en términos generales que los consumos promedio registrados son menores a los consumos reales en un rango que puede variar entre 130 y 270%, es decir, entre 18 y 48 m³/mes/toma. Por lo anterior es necesario aumentar y modernizar la cobertura de micromedición doméstica, comercial e industrial que es del orden de 40%, así como modernizar los sistemas de control en pozos y distribución de agua por pipas, a fin de contar con censos actualizados para la extracción, distribución, consumo y facturación de este recurso.

En el 2009 OOMSAPA señalaba 78,567 tomas y un gasto producido de 502 l/s con 21 pozos funcionales para uso público-urbano lo que equivale a un aumento de 17,605 tomas registradas con respecto al año 2005, pero también el cierre de 4 pozos y una disminución de 183 l/s en el gasto producido (5.8 Mm³/año), siendo entonces que este déficit se tendrá que solventar mediante obras de recarga al acuífero; haciendo más eficiente el uso y reuso del agua, o por suministro de agua desalada, esto únicamente para recuperar los niveles de disponibilidad y abasto del agua que se tenían al año 2003 (685 l/s).

Por lo que toca a los usos del agua específicamente para fines agropecuarios, en el año 2000 se tenía un gasto aproximado de 9.4 Mm³/año, mediante extracción a través de 57 pozos dispersos por el valle para el riego de 1,900 hectáreas de baja tecnificación, que se ocupaban principalmente en las comunidades de El Carrizal, Chametla y El Centenario para cultivos diversos (frijol, maíz, trigo, chile, tomate, papa, alfalfa, cebolla, calabaza y algodón), utilizando sistemas por gravedad y en menor escala por aspersión y goteo.

Esto equivalía a destinar aproximadamente 4,937 m³/hectárea/año, con un rendimiento medio de 20 toneladas (ton) por hectárea (ha) y valor comercial aproximado de \$200,000.00 (doscientos mil pesos), cifras que comparativamente con el rendimiento medio estatal de 12 ton/ha con valor comercial de \$ 75,000.00 (setenta y cinco mil pesos) y una eficiencia de riego del orden de 3,000 m³/ha/año, resultaba relativamente adecuado y productivo (FIGURA 1.25). Cabe señalar que si bien el consumo de agua y el valor de la producción se mantuvieron con cierta estabilidad entre 1998 y 2000, la superficie cosechada disminuyó drásticamente, situación que se revierte con un crecimiento de ambos indicadores a partir del año 2003, principalmente por el desarrollo del cultivo de hortalizas, ya que de acuerdo al valor comercial y diversidad éstas son las que tienen mayor importancia y rentabilidad, en función de la eficiencia en el uso del agua y costo de producción vs. recuperación (FIGURA 1.25).

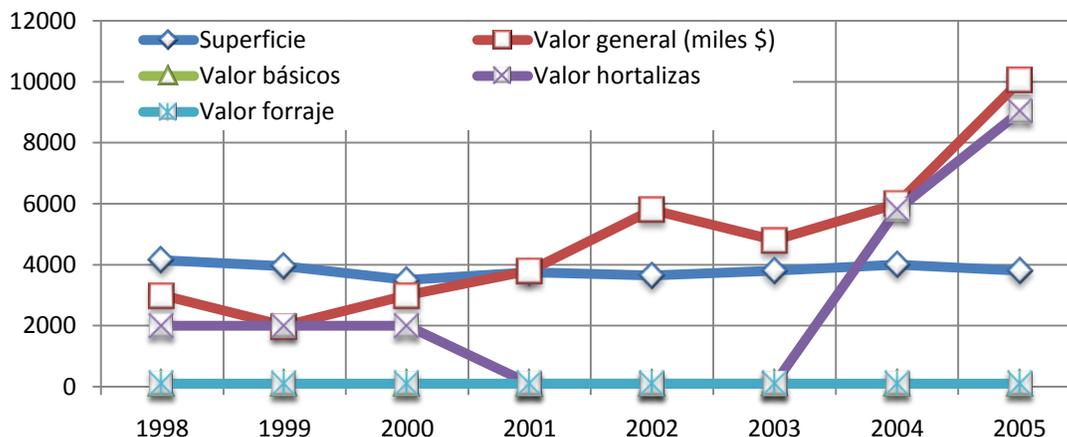
No obstante, por la problemática del agua la extracción destinada a este sector ha disminuido hasta 6.8 Mm³/año, tanto por salinización de pozos como por el predominio del cultivo de hortalizas, supliendo esta pérdida (3 Mm³/año) mediante el abasto de aguas residuales a fin de haciendo más eficiente el uso y la productividad. Sin embargo, la falta de tecnificación agrícola y la necesidad de fuertes inversiones para la implementación de



estos cultivos como se realiza en el caso del ejido Melitón Albañes ha repercutido en la productividad de los pequeños productores locales y sólo ha sido atractivo para aquellos que han podido contar con posibilidad de hacer las inversiones requeridas. Actualmente el agua utilizada para riego es de origen residual en su mayoría (6 Mm³), principalmente en el ejido Chametla.

FIGURA 1.25 INDICADORES DE PRODUCTIVIDAD AGRICOLA Y DISTRIBUCION GENERAL DEL AGUA.

a) Superficie cosechada y valor de diversos cultivos



Fuente: Cuaderno de datos básicos, 2006, 2004, 2003, 2002, 2001. Gob. Edo de BCS, Secretaría de Promoción y desarrollo económico, Centro estatal de información

b) Manejo y uso general del agua subterránea y residual



Reutilización de agua residual

La Paz cuenta con un sistema de drenaje que colecta 30,000 m³/día de agua residual (70% del uso público-urbano), el cual está sectorizado administrativamente como la red de agua potable en siete zonas que cubren la ciudad y su zona conurbada (FIGURA 1.26). Estas aguas se conducen a través de 3 emisores y 4 cárcamos de bombeo hacia el sistema de tratamiento municipal, ubicado en el área conocida como “Cola de Ballena” adyacente a campos agrícolas y a una zona de protección natural ubicada en la Ensenada de La Paz.

El sistema de tratamiento se implantó inicialmente en 1963 mediante lagunas de estabilización (oxidación) y un tanque Inmhoof que funcionaron hasta 1996 (33 años), cuando entra en operación la actual planta de tratamiento de aguas residuales por lodos activados (PTAR), misma que aún descarga parte de su caudal (Q= 18 l/s) a las lagunas ahora fuera de operación (FIGURA 1.27).

El sistema lagunar consiste de 5 cuerpos en serie construidos en 4 etapas, siendo la primera en 1963 con las lagunas 1 y 2, junto con el tanque Inmhoof. Posteriormente (1974) se realizó la segunda etapa con la laguna no. 3 y sucesivamente las lagunas no. 4 (1983-84) y no. 5 (1985-86) finalizando con ésta la cuarta etapa (FIGURA 1.27). La PTAR consta de tres módulos de tratamiento en paralelo con capacidad de 150 l/s cada uno, con un diseño total para 450 l/s (14.2 Mm³/año). No obstante, se considera que la planta ya es insuficiente para atender la tendencia de la demanda, por lo que se requiere la modernización del sistema desde sus procesos hasta sus esquemas de comercialización, conforme a las expectativas del desarrollo. Cabe señalar que el volumen actual de agua tratada es de 12 Mm³/año, por lo que la planta está próxima a su límite de operación, además de que aún se tiene un remanente de 5.1 Mm³/año de agua de uso público-urbano que no está siendo canalizado a la planta para su tratamiento.

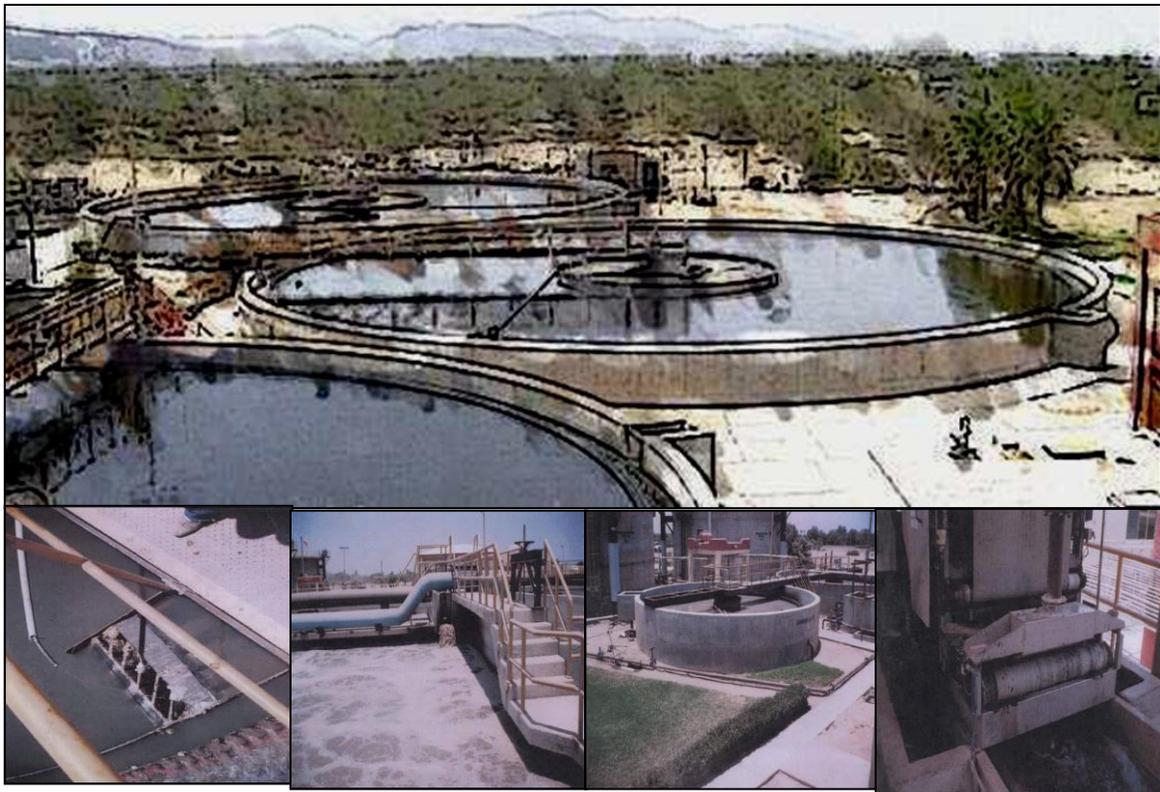
En este sentido, la reutilización de las aguas residuales ha sido para la agricultura y el desarrollo turístico-inmobiliario pues se tienen caudales comprometidos para riego en el ejido Chametla (6 Mm³/año) y para riego del campo de golf del desarrollo Paraíso del Mar, ubicado en El Mogote, con un gasto de 70 l/s (2.2 Mm³/año), los cuales representan el 68% del volumen de agua residual tratada (8.16 Mm³/año), siendo entonces que se tiene cerca de 4 Mm³/año que no se están aprovechando o comercializando. Parte de esta agua aún con lodos llega a las lagunas (18 l/s) donde se manifiestan escurrimientos no cuantificados hacia la Ensenada de La Paz, pero también ha conformado en ellas un ecosistema dulceacuícola utilizado por numerosas aves migratorias y residentes, lo cual favorece a la zona de protección natural (FIGURA 1.27). No obstante, considerando las aguas residuales sin tratar (5 Mm³/año) más las aguas residuales tratadas que no se aprovechan (4 Mm³/año), se tiene entonces un volumen de 9 Mm³/año que se debe eficientar para disminuir las pérdidas en el acuífero, así como para evitar daños por descargas a cuerpos de agua superficial.



FIGURA 1.26 UBICACIÓN DEL SISTEMA DE DRENAJE Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES



Planta de tratamiento (PTAR) y cárcamos 1, 2, 3, 4, Fidepaz, Chametla y Centenario



Fuente: OOMSAPA 2009



FIGURA 1.27 SISTEMA LAGUNAR PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (1963-1996)

a) *Lagunas de estabilización*



b) *Descarga caudal de la PTAR y Ecosistema dulceacuícola de refugio y alimentación de aves*



c) *Cárcamo de bombeo y descargas de caudal de la PTAR y lagunas a las zonas agrícolas*



Fuente: visitas de campo Instituto de Ingeniería UNAM



Red actual de pozos y acueductos

Actualmente el sistema de agua para uso público-urbano se abastece por medio de 21 pozos profundos que a su vez alimentan a una red principal de distribución, la cual se extiende en 250 km (FIGURA 1.28). Esta red se conforma por cuatro baterías de pozos que se denominan como acueductos I, II, III y IV, mismos que distribuyen a una red secundaria de 330 km.

La fase de almacenamiento y regularización está compuesta por 14 tanques elevados (1 fuera de servicio y 1 que no opera a su capacidad) y 19 tanques superficiales (2 fuera de servicio y 3 que no operan a su capacidad) construidos en diversos materiales con una capacidad conjunta cercana a los de 19.5 mil metros cúbicos (FIGURA 1.28)

La mayoría de los pozos que abastecen al sistema público-urbano se encuentran sobre-explotados y muchos de los equipos de bombeo tienen una capacidad por encima de la requerida para el gasto de agua que extraen, por lo que el consumo de energía eléctrica es elevado; además, por deficiencias en el equipo de medición actualizado, el gasto real de los pozos muchas veces es sobreestimando (FIGURA 1.29). Esto, aunado a la problemática de medición en toma domiciliaria, cobro de tarifas por promedio de consumo y fugas en la red de distribución (promedio 1,400 fugas al año por problemas de sub-presión y/o sobrepresión), hace que el control y aprovechamiento del recurso sea ineficiente.

Respecto al sistema de pozos para uso agrícola que se distribuyen prácticamente por toda la extensión del valle de La Paz (FIGURA 1.30), se tienen 57 aprovechamientos rurales que corresponden administrativamente a cada una de las subdelegaciones del municipio. En este sentido, aunque se menciona el cierre de algunos pozos por problemas de abatimiento y contaminación salina, no se cuenta con un registro de los pozos cerrados y sus causas, además de que aun se reporta la operación de estos 57 aprovechamientos.

Asimismo, se tienen del orden de 77 pozos reportados por CONAGUA que son utilizados para usos pecuarios (60), de servicios (10), industria (3) y domésticos (4), con lo que el total de pozos funcionales en el área sumaría 155, considerando los 21 de uso público y los 57 agrícolas ya mencionados. Cabe señalar que existe una diferencia de 3 aprovechamientos de uso público-urbano que OOMSAPA reporta fuera de operación pero CONAGUA aún los considera, lo que daría un total de 159 pozos funcionales en el área. Igualmente, información del año 2000 establece 26 pozos profundos de uso público-urbano que en su conjunto aportaban un gasto de 25 Mm³/año de tal manera que comparativamente en la actualidad se tendría una pérdida de 4 pozos y un caudal de sólo 502 l/s, es decir del orden de 15.8 Mm³/año, contra los 25 Mm³/año que se manifiestan en el 2000.



FIGURA 1.28 UBICACIÓN Y ESTADO DE POZOS, ACUEDUCTOS Y TANQUES DE USO PUBLICO-URBANO
Pozos y Acueductos:



Fuente: OOMSAPA; Ing. Nicolás Murillo Cota <http://www.lapaz.gob.mx/sapa/pozos.htm> (consultada 12/07/2009)

Tanques de Almacenamiento y Regulación:



Fuente: OOMSAPA; Ing. Nicolás Murillo Cota



FIGURA 1.28 UBICACIÓN Y ESTADO DE POZOS (Continuación)

Tanques Elevados:

Metálicos 

No.	Nombre del Tanque	Tipo	Capacidad M ³	Estado
1	El Pedregal	metálico	300	Si opera
2	San Ramón	metálico	200	Si Opera
3	El Centenario	metálico	200	Si Opera
4	Chametla	metálico	100	Si opera
5	Calafia	metálico	200	Si opera

Concreto armado 

No.	Nombre del Tanque	Tipo	Capacidad M ³	Estado
1	El Conchalito	Concreto armado	200	No opera a su capacidad
2	Solidaridad	Concreto armado	200	Si opera
3	Marina	Concreto armado	100	Si Opera
4	Misiones	Concreto armado	100	Si opera
5	Civilizadores	Concreto armado	100	Si opera
6	Roca Fosforica	Concreto armado	100	Si opera
7	Fidepaz	Concreto armado	200	Fuera de servicio
8	Fuerza Aerea	Concreto armado	100	Si opera
9	Fovissste	Concreto armado	200	Si opera

Tanques Superficiales:

Concreto armado 

No.	Nombre del Tanque	Tipo	Capacidad M ³	Estado
1	El Pedregal	Concreto armado	1000	Si opera
2	Cd. del Cielo	Concreto armado	25	Si opera/ rebomb.
3	Cd. del Cielo	Concreto armado	200	Si opera
4	Col. de La Cruz II	Concreto armado	2500	No opera a su capacidad
5	Cerro el Cardón (Guelatao)	Concreto armado	100	Si opera
6	Sonora (Col. Roma)	Concreto armado	3000	Fuera de servicio
7	El Mezquitito	Concreto armado	500	Fuera de servicio
8	Ayuntamiento 1	Concreto armado	500	Si opera
9	Ayuntamiento 2	Concreto armado	500	Si opera

Mampostería 

No.	Nombre del Tanque	Tipo	Capacidad M ³	Estado
1	Col. de La Cruz I	Mampostería	3000	No opera a su capacidad
2	Col. de La Cruz III	Mampostería	50	No opera a su capacidad
3	Chiapas (Col. Guerrero)	Mampostería	2000	Si opera (func. c/ demasías)
4	Loma Linda I	Mampostería	500	Si opera (rebombeo)
5	Loma Linda II	Mampostería	2000	Si opera
6	Loma Linda III	Mampostería	50	Si Opera
7	Loma Obrera 1	Mampostería	200	Si opera
8	Loma Obrera 2	Mampostería	500	Si opera
9	Cerro el Cardón (Guelatao)	Mampostería	50	Si opera (rebombeo)
10	Col. Roma III	Mampostería	500	Si opera

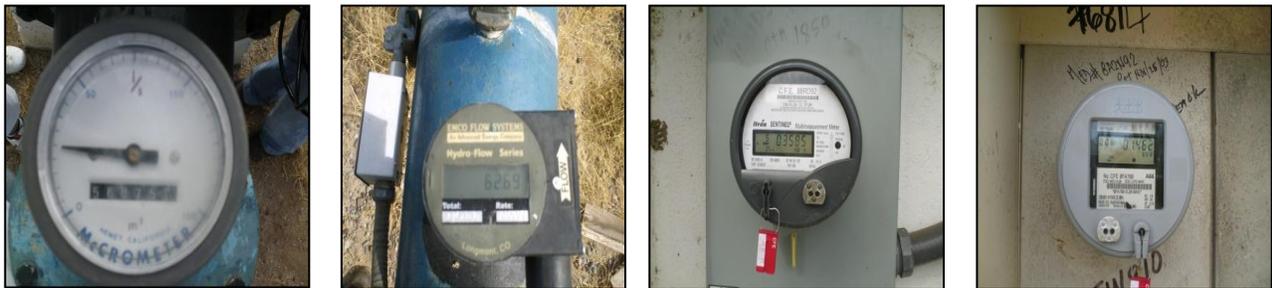
Fuente: OOMSAPA, <http://www.lapaz.gob.mx/sapa/tanques.htm>



FIGURA 1.29 ENTORNO DE ACUEDUCTOS Y EQUIPAMIENTO DE POZOS



Diversos equipos de medición



Fuente: Visitas de campo realizadas por Instituto de Ingeniería UNAM



TABLA 1.14 REGISTRO DE POZOS PARA USO PUBLICO-URBANO

No. de Pozo	Coordenadas			Ubicación	Prof. Tot. (m)	D. Ademe (cm)	D. Descarga (cm)	Q (l/seg)	Vol. Ext. Anual (Mm ³)
	X	Y	Z						
168-R	583469.67	2658007.48	486.81	Olas Altas	100	35	20	44	1.27
C-1	569549.19	2639234.31	134.05	Ap. A. Oregon	6.9	180	10.16	5	0.14
C-2	575190.48	2609492.81		A.P. San Pedro		25.4	15.24	4.5	0.13
II	570953.42	2669780.64	43.13	Sin Nombre	79	35.56	20.32	27	0.78
IV	570398.36	2667871.06	39.34	Sin Nombre	57	30.48	20.32	13	0.38
IX	570007.84	2661164.52	67.76	Sin Nombre	138	35.56	20.32	39	1.13
VI	570676.37	2668733.58	39.65	Sin Nombre	75	30.48	20.32	49	1.42
VII	571491.53	2669414.27	69.65	Sin Nombre	80	35.56	20.32	25	0.72
VIII	570568.56	2661997.67	68.65	Sin Nombre	90	35.56	20.32	34	0.98
X	569645.05	2660270.86	71.78	Sin Nombre	150	30.48	20.32	36	1.04
XI	570891.86	2659446.61	71.35	Sin Nombre	150	35.56	20.32	43	1.24
XII	570393.66	2663103.99	59.85	Sin Nombre	121	40.64	20.32	10	0.29
XIV	570940.41	2661046.11	85.34	Sin Nombre	156	35.56	20.32	14	0.4
XIX	571232.94	2659017.73	109.34	Sin Nombre	201	35.56	20.32	13	0.38
XV	571171.7	2659970.83	102.3	Sin Nombre	150	35.56	20.32	16	0.46
XVI	569737.13	2658764.32	82.36	Sin Nombre	145	35.56	20.32	41	1.19
XVII	568330.56	2657558.09	61.59	Sin Nombre	156	35.56	20.32	37	1.07
XVIII	566477.17	2655181.26	50.43	Sin Nombre	156	30.48	20.32	35	1.01
XX	570562.48	2657507.42	101.48	Sin Nombre	201	35.56	20.32	35	1.01
XXI	569380.07	2656671.26	81.02	Sin Nombre	201	35.56	20.32	48	1.39
XXIII	567131.74	2654169.42	58.36	Sin Nombre	201	35.56	20.32	17	0.49
XXIII	568312.14	2655497.44	68.97	Sin Nombre	201	35.56	20.32	50	1.45
XXIV	566202.74	2653426.99	56.72	Sin Nombre	201	35.56	20.32	30	0.87
XXV	564993.15	2652222.03	59.7	Sin Nombre	201	35.56	20.32	56	1.62
XXVI	564062.68	2651756.53	71.23	Sin Nombre	201	35.56	20.32	25	0.72
			Valores medios		142.41	40.30	19.70	29.86	0.863
						TOTALES	746.50	21.58	
						25 Pozos funcionales			

Fuente: CONAGUA, Subdirección General Técnica. Gerencia de Aguas Subterráneas, 2005-2008



TABLA 1.15 REGISTRO DE POZOS PARA USO AGRICOLA

No. de Pozo	Coordenadas			Ubicación	Prof. Tot. (m)	D.Ademe (cm)	D.Descarga (cm)	Q (l/seg)	Vol. Ext. Anual
	X	Y	Z						
122	569804.82	2668021.91	30.28	Ex-aeropuerto		30.48	10.16	10	0.05
128	569851.58	2664239.26	41.62	Las palmas	52	148	10.16	5	0.03
130	569259.54	2664051.84	39.42	S.a. del zacatal	64	30.48		30	0.16
132	566038.42	2664528.65	9.02	Ej. Chametla	28	25.4	10.16	10	0.05
134	568658.15	2665801.97	20.86	San patricio	33	30.48	15.24	31	0.16
136	568380.99	2664724.22	26.78	Coronado	54	30.48	20.32	20	0.1
137	568044.24	2664292.04	25.54	Santa norma	64	30.48	20.32	45	0.23
138	568797.83	2666110.2	20.64	San miguel	200	35.56	20.32	42	0.22
141	567764.52	2663737.12	24.52	Rcho. San Rafael	60	30.48	15.24	35	0.18
142	585441.26	2663708.98	489.55	El cafetal			20.32	40	0.21
143	569065.76	2663251.27	42.81	El cafetal		35.56	20.32	40	0.21
144	569076.47	2661036.97	55.89	Olas altas	130	35.56	20.32	70	0.36
146	566638.09	2663085.96	17.58	Lote 8 olas alta	50	35.56	20.32	32	0.17
152	566734.73	2660533.77	27.59	Olas altas	70	35.56	20.32	40	0.21
153	566366.58	2660747.33	25.42	Olas altas	50	35.56	20.32	40	0.21
166	575212.02	2659714.72	57.43	Olas altas	130	35.56	20.32	40	0.21
172	565475.56	2664126.24	10.22	Olas altas	45	25.4	15.24	28	0.15
180	567419.87	2664965.68	13.14	Ej. Chametla	32	30.48	15.24	7.5	0.04
190	568044.24	2664292.04	25.54	La cruz de piedra	60	30.48	20.32	21	0.11
205	565182.94	2660188.3	26.07	Ej. El centenario	70	35.56	15.24	29	0.15
206	565362.1	2658067.05	34.26	El cardonal	92	30.48	20.32	60	0.31
208	564626.7	2658278.99	31.46	Los vergeles		30.48	15.24	24	0.12
209	564264.19	2657231.71	35.86	Mayela		35.56	20.32	24	0.12
211	563933.37	2661720.39	19.1	Las palmas	35	30.48	10.16	10	0.05
221	563449.74	2662517.85	14.71	Ej. El centenario	70	35.56	15.24	20	0.1
241	563787.5	2662765.39	13.88	Ej. Chametla	45	25.4	15.24	28	0.15
242	563388.08	2663686.25	9.56	Ej. Chametla	30	30.48	15.24	28	0.15
243	563979.93	2663934.93	9.28	Ej. Chametla	35	35.56	15.24	34	0.18
248	565328.8	2659174.07	29.88	Ej. Chametla	60	35.56	15.24	28	0.15
252	563047.34	2664115.31	7.47	Rcho. El estribo	22	30.48	15.24	28	0.15
368	559145.17	2665482.55	11.13	Ej. El centenario	18	25.4	7.62	6	0.03
379	559287.35	2665237.1	15.92	Ej. El centenario	30	25.4	10.16	12	0.06
380	562647.28	2658762.26	35.26	Ej. Chametla	90	35.56	20.32	40	0.21
391	562641.89	2659992.41	30.34	Rancho Guadalupe	75	35.56	20.32	40	0.21



TABLA 1.15 REGISTRO DE POZOS PARA USO AGRICOLA (Continuación)

No. de Pozo	Coordenadas			Ubicación	Prof. Tot. (m)	D. Ademe (cm)	D. Descarga (cm)	Q (l/seg)	Vol. Ext. Anual (Mm ³)
	X	Y	Z						
392	562572.33	2662975.29	33.36	Ej. centenario El	72	35.56	20.32	40	0.21
400	562066.13	2655991.83	51.95	Las higuierillas	90	25.4	10.16	12	0.06
403	564060.8	2658491.73	30.32	El sufrido	60	30.48	10.16	7	0.04
405	559789.97	2659826.42	39.1	Ej. centenario El	100	35.56	20.32	50	0.26
408	561161.26	2662784.65	17.71		33	30.48	10.16	10	0.05
409	561044.36	2657094.59	59.14	El Datilar	90	35.56	15.24	25	0.13
422	568828.01	2551401.8		Ej. Chametla	90	35.56	15.24	40	0.21
129-R	569394.88	2665251.95	32.27	Uabcs	50	30.48	20.32	40	0.21
135-R	568543.01	2666262.74	17.78	San Lorenzo	50	25.4	10.16	8	0.04
145-R	567767.15	2663183.54	26.11	Los bledales	60	35.56	20.32	48	0.25
167-R	567614.32	2659676.77	38.68	Olas altas	100	35.56	20.32	49	0.25
171-A	566012.46	2664036.45	11.52	San Carlos	50	30.48	20.32	40	0.21
181-R	566189.43	2662407.27	18.6	Ej. Chametla	50	25.4	15.24	28	0.15
191-R	565895.97	2664804.78	7.44	La mexicana		50	7.62	14	0.07
197-A	565920.79	2665543.01	4.08	La mexicana	24	35.56	10.16	12	0.06
207-R	564538.35	2659078.21	29.47	Ej. centenario El	60	35.56	20.32	40	0.21
215-R	562918.23	2661377.58	22.45	Rcho. aripes Los	70	35.56		28	0.15
217-R	561362.09	2662047.41	22.2		60	35.56	20.32	40	0.21
378-R	563799.18	2660151.3	26.89	Ej. centenario El	80	25.4	15.24	35	0.18
381-R	559583.67	2661886.1	38.36	Ej. centenario El	60	35.56	15.24	22	0.11
384-R	559046.45	2668865.14	32.05	Ej. centenario El	60	30.48	15.24	35	0.18
385-A	569600.86	2640249.45	130.85	San marcos		25.4	20.32	40	0.21
C-3	575648.79	2646523.12	200.41	El buen Sur		15.24	7.62	8	0.04
				Valores medios	63.33	34.02	16.12	29.27	0.15
						TOTALES		1668.5	8.69
						57 Pozos funcionales			

Fuente: CONAGUA, Subdirección General Técnica. Gerencia de Aguas Subterráneas, 2005-2008



TABLA 1.16 REGISTRO DE POZOS PARA USO PECUARIO

No de Pozo	Coordenadas			Ubicación	Prof. Tot. (m)	D. Ademe (cm)	D. Descarga (cm)	Q (l/seg)	Vol. Extt. Anual (Mm ³)
	X	Y	Z						
214	563230.51	2661009.9	24.09	Granja Morelos	60	35.56	5.08	4	0.01
216	561792.33	2660511.54	30.03	La Bola De Fuego	38	20.32	5.08	3	0.01
219	562405.46	2662390.23	16.99	Rcho. San Diego	15	66	1.9	1	0
220	562545.58	2662636.88	15.33	Ej. El Centenario	20	180	5.08	3	0.01
222	550232.96	2670861.09		Rcho. Ok	20	120	3.81	1	0
225	561355.22	2663646.61	10.91	Rcho. Olvera		110	7.62	7	0.02
227	561125.91	2664445.24	7.28	Ej. El Centenario	9	150	3.81	1.5	0
229	561128.81	2663768.66	10.9	Santa Rosa	18	150		8	0.02
235	563021.82	2663500.1	10.37	Ej. El Centenario	15	160	5.08	0.6	0
236	563191.24	2663500.85	10.37	Rcho. La Barca	15	150	5.08	3	0.01
240	564042.61	2662551.25	14.81	Ej. El Centenario	16	20.32	10.16	8	0.02
289	561944.84	2664418.02	6.19	Arroyo Del Gato	10	90	5.08	3	0.01
321	561218.13	2662692.63	18.14			120	3.81	2	0.01
326	560340.42	2663242.48	19.46	Las Higueras	38	25.4	3.81	2	0.01
378	559919.32	2662656.37	28.67	Ej. El Centenario	35	25		8	0.02
385	560310.36	2663672.91	16.44	Ej. El Centenario	26	25	5.08	3	0.01
406	560195.47	2664133.74	14.37	Rcho. San Martí	35	25	10.16	5	0.01
419	568202.32	2666660.93	14.16	Gja. Santa Alicia	50	30.48	7.62	7	0.02
207-A	564171.17	2659076.56	29.45	Ej. El Centenario	45	30.48	10.16	10	0.03
228-A	544016.99	2664074.66				120	10.16	8	0.02
C-10	570278.78	2646219.07	136.64	El Novillo	80	20.32	5.08	3	0.01
C-11	577086.63	2647268.88	231.56	Santa Teresita	25	120	3.81	2	0.01
C-12	575086.43	2645935.83	198.95	Lote 3 San Pedro	30	103	2.54	1	0
C-13	575171.89	2645813.26	199.87	San Pedro	35	120	5.08	3	0.01
C-14	578250.85	2646321.77	225.58	Novillo	20	120		8	0.02
C-15	578465.76	2648383.52	259.39	Las Palmas 1		145	3.81	1.5	0
C-16	578531.71	2646661.6	237.63	Las Palmas 2	8	142		8	0.02
C-17	577573.34	2646133.56	220.84	San I. Del Bosque	20	127		8	0.02
C-18	577488.86	2646071.6	219.96	San I. Del Bosque	22	142	3.81	1	0
C-19	575327.01	2648582	211.25	San Pedro	40	110	3.81	2	0.01
C-20	575250.27	2647043.86	200.28	San Pedro	40	110	3.81	2	0.01
C-21	569604.21	2662854.08	51.04	Granja Lourdes		30.48	5.08	4	0.01
C-22	570002.56	2662240.92	59.63	Santa Inés	76	115	3.81	2	0.01
C-23	575085.63	2646089.6	198.43	E.B. San Pedro	50	20.32	5.08	3	0.01
C-24	574210.18	2645900.53	190.23	San Pedro	44	150	5.08	3	0.01
C-6	558937.09	2661176.07	49.43	Boca Del Datilar	80	25	6.35	7	0.02
C-7	552496.52	2661612.26	103.78	Ej. El Centenario		121	3.81	2	0.01



TABLA 1.16 REGISTRO DE POZOS PARA USO PECUARIO (Continuación)

No de Pozo	Coordenadas			Ubicación	Prof. Tot. (m)	D. Ademe (cm)	D. Descarga (cm)	Q (l/seg)	Vol. Extt. Anual (Mm ³)
	X	Y	Z						
C-8	576593.0	2758021.9		Los Migueles		120	3.81	2	0.01
C-9	569530.6	2637204.4	142.39	Rcho. La	50	20.32	3.17	1	0
HF-1	557782.2	2667383.7	14.01	Ej. El Centenario	15	110		8	0.02
HF-12	557951.4	2667445.9	10.87	Ej. El Centenario			2.54	3	0.01
HF-13	558207.1	2667047.1	10.61	Ej. El Centenario		100	3.17	3	0.01
HF-14	558178.8	2667047.0	11.05	Ej. El Centenario		140	2.54	1.5	0
HF-15	558235.5	2666985.7	10.77	Ej. El Centenario	8	115	2.54	1.5	0
HF-16	558263.9	2666955.1	10.64	Ej. El Centenario	7	140	2.54	0.5	0
HF-18	558320.6	2666893.8	10.41	Ej. El Centenario		140	3.81	2	0.01
HF-19	558575.0	2666802.6	7.73	Ej. El Centenario				8	0.02
HF-2	557810.7	2667322.3	14.1	Ej. El Centenario	15	178	3.81	3	0.01
HF-21	558490.1	2666863.7	8.32	Ej. El Centenario	8	135	3.81	2	0.01
HF-22	558467.3	2665541.2	21.85	Ej. El Centenario		100		8	0.02
HF-23	558631.9	2666710.6	7.9	Ej. El Centenario		125		8	0.02
HF-29	557919.1	2654498.2	108.2	Ej. El Centenario				8	0.02
HF-3	557782.5	2667322.2	14.54	Ej. El Centenario		150	3.17	3	0.01
HF-30	558262.8	2667231.9	7.93	Ej. El Centenario				8	0.02
HF-31	558206.2	2667262.4	8.5	Ej. El Centenario			5.08	3	0.01
HF-32	558262.4	2667324.1	7.09	Ej. El Centenario				8	0.02
HF-33	564070.7	2662582.1	14.67	Ej. El Centenario				8	0.02
HF-35	558064.4	2667415.6	9.4	Ej. El Centenario		130	5.08	3	0.01
HF-36	558008.1	2667384.6	10.49	Ej. El Centenario		35.56		8	0.02
HF-37	557979.7	2667415.2	10.68	Ej. El Centenario		110	5.08	3	0.01
HF-38	557979.6	2667446.0	10.44	Ej. El Centenario		110	3.81	2	0.01
HF-39	557923.0	2667476.5	11.05	Ej. El Centenario		150		8	0.02
HF-4	557838.8	2667353.2	13.39	Ej. El Centenario		200	5.08	3	0.01
HF-40	557894.9	2667445.7	11.74	Ej. El Centenario		140	3.81	5	0.01
HF-41	558122.7	2666954.5	12.88	Se Desconoce				8	0.02
HF-	558716.8	2666649.4	7.45	Se Desconoce		90		8	0.02
HF-5	557895.4	2667322.6	12.76	Ej. El Centenario	10	150	5.08	3	0.01
HF-6	557923.9	2667261.2	12.89	Ej. El Centenario		150	5.08	3	0.01
HF-7	557924.0	2667230.5	13.21	Ej. El Centenario		80	5.08	3	0.01
HF-8	557895.9	2667199.6	13.98	Ej. El Centenario		80	3.81	2	0.01
HF-9	557980.8	2667138.5	13.24	Ej. El Centenario		150	5.08	3	0.01
Valores medios					30.21	103.55	4.75	4.23	0.01
						TOTALES		300.1	0.84
60 Pozos funcionales									

Fuente: CONAGUA, Subdirección General Técnica. Gerencia de Aguas Subterráneas, 2005-2008



TABLA 1.17 REGISTRO DE POZOS PARA USO EN SERVICIOS

No de Pozo	Coordenadas			Ubicación	Prof. Tot. (m)	D. Ademe (cm)	D. Descarga (cm)	Q (l/seg)	Vol. Extt. Anual (Mm ³)
	X	Y	Z						
150	567974.61	2661123.95	39.52	Villas De La Paz		30.48		7	0.06
151	567723.94	2660384.65	40.4	Villas De La Paz		35.56	15.24	8	0.06
203	564185.32	2662213.59	16.33	Aeropuerto	60	30.48	20.32	8	0.06
204	564380.64	2662737.3	14.06	Aeropuerto	35	40.64	10.16	13	0.1
256	558060.56	2668369.01	6.81	El Comitán		20.32	10.16	10	0.08
C-25	558395.5	2669293.01	2.63	Cib-1	2.2	160	3.81	0.75	0.01
C-26	558254.25	2669323.19	3.78	Cib-2	3	220	5.08	0.75	0.01
C-27	558366.89	2669385.16	2.62	Cib-3		150	3.81	0.25	0
C-28	557804.65	2668829.29	9.46	Cib-4		210	3.81	0.75	0.01
C-29	564348.24	2663659.79	10.56	B.A. Militar No. 9	50	30	6.35	1	0.01
C-30	570484.26	2667625.44	40.3	Club El Carrizal	60	15.24	7.62	7	0.06
Valores medios					35.03	67.34	7.20	5.13	0.046
						TOTALES		56.50	0.46
10 Pozos funcionales									

TABLA 1.18 REGISTRO DE POZOS PARA USO INDUSTRIAL

No de Pozo	Coordenadas			Ubicación	Prof. Tot. (m)	D. Ademe (cm)	D. Descarga (cm)	Q (l/seg)	Vol. Extt. Anual
	X	Y	Z						
127	570096.63	2666085.7	41.33			30.48		8	0.08
415	570822.7	2667688.6	44.73	Pepsi Cola	80	25.42	10.16	15	0.16
416	571353.8	2668736.9	55.29	Coca Cola	100	30.48	7.62	8	0.08
Valores medios					90.00	6.17	1.48	10.33	0.11
						TOTALES		31.0	0.32
3 Pozos funcionales									

TABLA 1.19 REGISTRO DE POZOS PARA USO DOMESTICO

No de Pozo	Coordenadas			Ubicación	Prof. Tot. (m)	D. Ademe (cm)	D. Descarga (cm)	Q (l/seg)	Vol. Extt. Anual
	X	Y	Z						
412	559170.5	2666159.2	7.16	Los Arizpes	9	295	5.08	3	0.02
135-A	568657.5	2665924.9	20.22	San Lorenzo	30	20.32	3	1.5	0.01
C-4	583804.6	2639310.1	414.5	Casa Blanca	3	120	6.35	8	0.04
C-5	569335.2	2642554.7	123.42	El Gavilán	100	30.48	5.08	1	0.01
Valores medios					35.5	116.45	4.87	3.38	0.02
						TOTALES		13.5	0.08



Piezometría

Con el paso del tiempo y debido a la explotación intensiva del acuífero, la dirección del flujo se fue modificando respecto a las condiciones naturales que prevalecían antes de los asentamientos humanos en esta región.

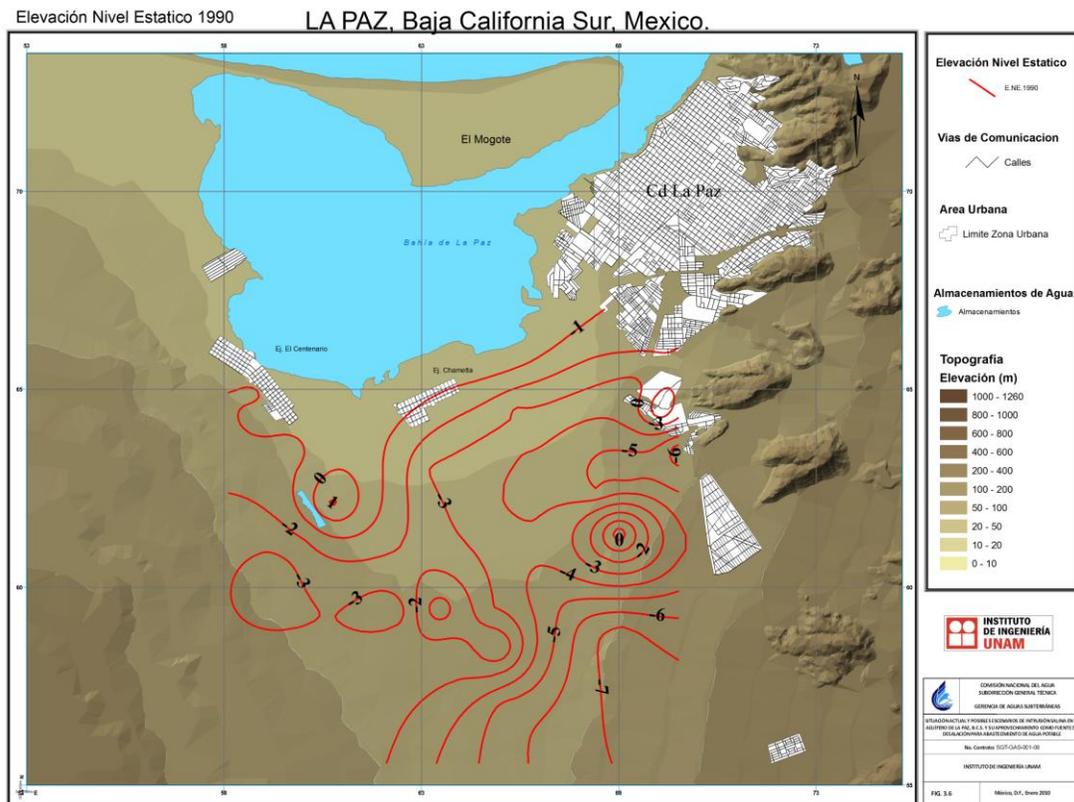
A principios de la década de los 70's, la dirección del flujo tenía una orientación preferencial de S-N, con elevaciones máximas del nivel estático de 9 m.s.n.m., en el límite sur de la zona. El aumento en la explotación del acuífero en el área agrícola, cercana al aeropuerto internacional y en la ciudad de La Paz, provocó dos conos de abatimiento cuya penetración por abajo del nivel del mar era de 8 m y 2 m, respectivamente. De acuerdo con el INGESA (1970), los niveles dinámicos reportados en el centro de la ciudad de La Paz llegaron a alcanzar valores de -17 a -20 m.b.n.m; en este lapso los abatimientos provocaron la inversión del flujo subterráneo, la cual comenzó a desplazarse desde la línea de costa hasta el centro del acuífero. A fines de 1976, la cota 0.0 m.s.n.m., llegó a situarse a 6 km, aproximadamente, en la parte central y a 4 km, en la porción oriental del acuífero, respectivamente. La elevación del nivel estático disminuyó en el límite sur, poco menos de 6.0 m.s.n.m, es decir 3 m menos, comparado con su valor inicial (9 m.s.n.m.). Bajo estas condiciones, la dirección del flujo se dividió en dos componentes: una proveniente de la línea de costa (N-S) y otra del sur (S-N), ambas dirigidas hacia los centros de bombeo ubicados tanto en el área agrícola como en la urbana, respectivamente.

En los inicios de la década de los 80's continuó la tendencia del flujo con la misma dirección que se presentaba en los años 70's y abatimientos de 8 a 2 m.b.n.m, en la línea de costa, y elevaciones de 4 m.s.n.m en el sur de la zona. Los conos de abatimiento aparecidos en las áreas agrícola y urbana se pronunciaron hasta desplazar la cota 0.0 m.s.n.m a la parte central del valle. En este periodo, más del 50% del acuífero se encontraba con niveles bajo el nivel medio del mar. Posteriormente, a raíz de la reubicación de los pozos para agua potable en el sur y la disminución del bombeo en la línea de costa, a mediados del periodo, se modificó sustancialmente la configuración de los niveles piezométricos. Los conos de abatimiento formados en los 70's se recuperaron pasando de 8 a 2 m.s.n.m, hasta alcanzar el gradiente natural del nivel piezométrico, particularmente en la zona agrícola. De igual forma, el centro del bombeo se trasladó paulatinamente hacia la nueva batería de pozos, creando otro cono de abatimiento. Para fines de este periodo más del 90% del acuífero registraba niveles piezométricos con valores mínimos de -2 m.s.n.m y máximos de -4 m.s.n.m., en la parte sur-oriental.



Hacia los 90's, los niveles piezométricos conservaron la misma distribución que en el periodo anterior, con un aumento gradual en el abatimiento, alcanzando valores de 2 m.s.n.m en la línea cercana de costa, hasta de 10 m.s.n.m., en la parte oriental. Como consecuencia de la disminución del aporte del flujo subterráneo procedente del límite sur y el aumento en el déficit en el balance de agua, la dirección del flujo subterráneo se invirtió totalmente (FIGURA 1.31).

FIGURA 1.31 ELEVACIÓN DEL NIVEL ESTÁTICO 1990



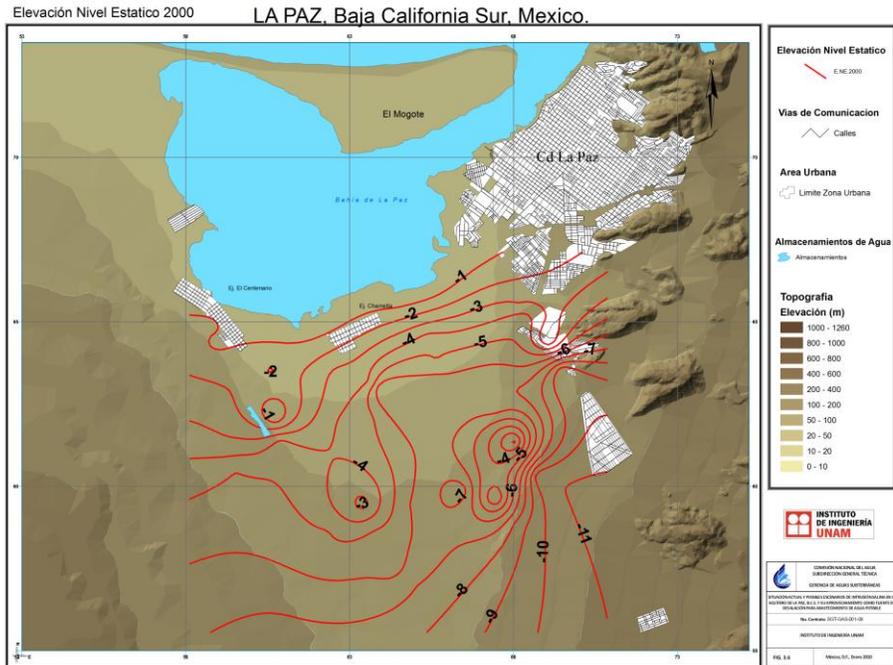
Fuente: CONAGUA, Subdirección General Técnica. Gerencia de Aguas Subterráneas, 2010.

A continuación se presenta el comportamiento que ha tenido la configuración piezométrica para los años 2000 y 2008. Dichas configuraciones se generaron a partir de información proporcionada por CONAGUA de acuerdo con la red de monitoreo piezométrico que actualizan anualmente (FIGURAS 1.32 y 1.33).

El último dato registrado previo a la elaboración de este trabajo fue el del 2008, y los valores de la profundidad y elevación del nivel estático se presentan en las TABLAS 1.20 y 1.21; mismas que incluyen valores desde 1990 hasta el 2008.

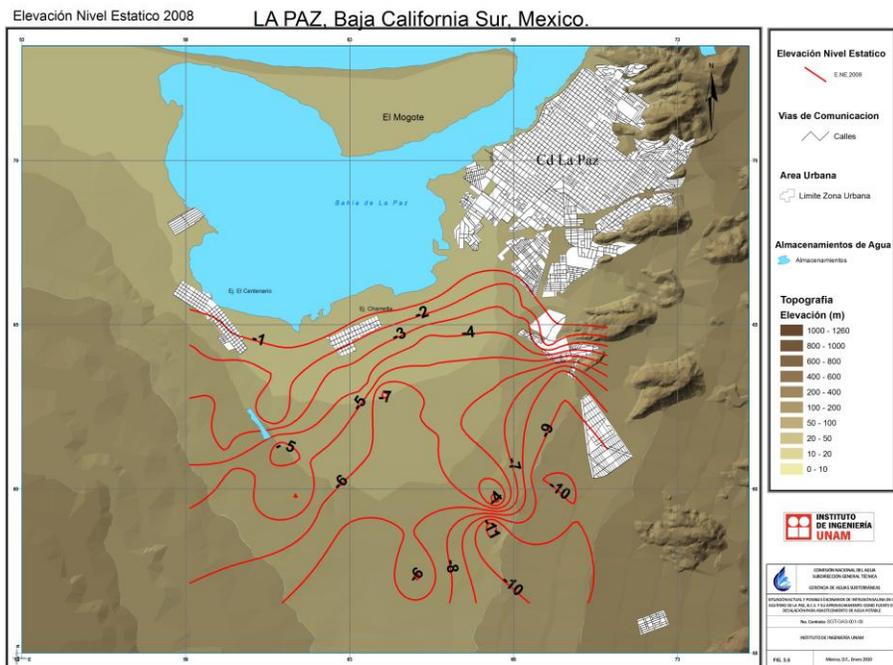


FIGURA 1.32 ELEVACIÓN DEL NIVEL ESTÁTICO 2000



Fuente: CONAGUA, Subdirección General Técnica. Gerencia de Aguas Subterráneas, 2010.

FIGURA 1.33 ELEVACIÓN DEL NIVEL ESTÁTICO 2008



Fuente: CONAGUA, Subdirección General Técnica. Gerencia de Aguas Subterráneas, 2010.



TABLA 1.20 PROFUNDIDAD DEL NIVEL ESTÁTICO

No	USUARIO	COORDENADAS GEOGRÁFICAS			ELEV.	PROFUNDIDAD AL NIVEL ESTÁTICO													
		LAT. NORTE	LONG. OESTE	POZO No	BROCAL	1990	1995	1996	1997	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
					M.S.N.M.														
1	HNOS. SCHOLNICK ROMERO	24° 05' 22.99"	110° 18' 45.62"	128	31.1	37.65	-	40.89	-	40.34	41.09	-	-	-	40.04	39.49	39.59	39.92	40.02
2	UABCS	24° 05' 54.54"	110° 19' 00.95"	129-B	28	29.14	29.53	30.14	30	29.77	29.93	31.65	30	29.53	29.15	28.4	28.75	29.3	29.4
3	ENRIQUE HERNANDEZ PONS	24° 03' 40.09"	110° 19' 12.1"	164	49.52	-	57.6	59.57	60.5	59.71	60.26	-	42.2	60.59	64.72	58.6	60	59.88	59.5
4	MARÍA ELENA ALVAREZ DE HDEZ.	24° 02' 51.72"	110° 19' 35.58"	166	50.46	57.91	37.12	59.98	60	58.85	58.91	58.86	59.2	59.25	64.1	59.04	60.3	59.54	59.76
5	ENRIQUE HERNANDEZ PONS TORRES	24° 02' 56.04"	110° 20' 03.73"	167-R	36	42.68	38.12	46.14	46.9	46.25	57.39	-	47.32	47.62	47.38	47.4	47.58	47.88	47.58
6	ANA MARÍA DEL POZO BRAMBILA	24° 06' 29"	110° 19' 32"	135-R	14	16.46	16.52	18.91	17.06	16.89	17.12	-	16.63	16.56	15.55	15.02	15.5	15.71	16.08
7	ENRIQUE TROYO	24° 06' 14.5"	110° 19' 26.32"	134	16.46	20.17	20.5	20.96	21.1	20.78	21.18	-	20.57	20.21	19.63	19.11	19.62	19.79	19.9
8	BEATRIZ VONBORSTEL DE PINO	24° 06' 00.63"	110° 19' 31.78"	136	18.36	21.85	-	-	23.02	22.71	23.18	-	-	-	-	-	-	-	-
9	EDUARDO PINO VONBORTEL			137	22.75	27.71	28.48	28.64	29	28.64		-	-	-	-	-	-	-	-
10	MIGUEL E. PINO VONBORSTEL	24° 05' 21.22"	110° 19' 27.1"	138	28.89	33.92	34.6	35.03	35.56	34.76	35.27	-	34.9	35.49		33.67	34.3	34.24	NPS
11	BEATRIZ VONBORSTEL DE PINO	24° 05' 13.7"	110° 19' 05.94"	139	33.66	38.98	39.55	39.83	39.9	NPS	NPS	-	-	-	-	-	-	-	-
12	EJ. CHAMETLA	24° 05' 18.54"	110° 19' 51.98"	140	22.5	27.6	28.7	28.68	28.8	28.74	29.02	-	28.78		28.18	28.29	28.9	28.2	28.44
13	NORMAN LUPIO TRACY	24° 05' 04.27"	110° 19' 31.24"	142	29.83	35.3	36.4	36.66	36.87	36.49	36.95	-	36.65	-	-	-	-	-	-
14	AGROEXPORTADORA DEL NOROESTE, SA DE CV	24° 01' 50"	110° 21' 22"	143	36.27	41.77	42.48	42.88	42.86	39.63	43.39	-	43	-	-	41.85	-	-	-
15	RAÚL ESTRADA CANSECO Y SOC.	24° 05' 06.35"	110° 19' 55.36"	141	21.77	26.93	29.34	29.65	-	28.28	28.69	-	28.73	36.92	28.12	28.05	27.6	28	27.91
16	JUAN MANUEL Y CARLOS MORENO PAZ	24° 04' 50.71"	110° 19' 59.54"	145-R	21.59	26.58	27.49	28.12	28.21	28.02	28.5	-	27.18	-	29.5	27.44	-	NPS	NPS
17	EJ. CHAMETLA	24° 04' 14.5"	110° 19' 38.71"	422	40	39.35	-	40.8	40.84	40.73	41.68	-	-	-	40.7	-	NPS	NPS	
18	ASOC. DE COLONOS Y PROPIETARIOS, A.C.	24° 03' 18"	110° 19' 59"	151	42	-	35.04	44.19	44.44	44.23	45	-	45.3	45.57	44.97	40.88	49.6	45.29	45.32
19	ANGELINA ÁGUILA MICHEL	24° 03' 26"	110° 20' 36"	152	23.47	28.22	28.86	29.77	-	30.97	31.13	-	-	-	-	-	30.8	31.3	NPS
20	SILVIA MENDOZA DE POLONI	24° 03' 32"	110° 20' 51"	153	21.09	25.43	26.4	27.14	-	NPS	28.18	28	-	-	28.2	32.15	29.6	NPS	NPS
21	JOSEFINA DÍAZ VIRGEN	24° 04' 55"	110° 20' 38"	146	13.88	18.22	-	-	19.8	20.27	20.61		20.36	-	19.49	19.22	-	NPS	NPS
22	EJ. CHAMETLA	24° 04' 25"	110° 20' 56"	181-R	14.58	18.58	19.48	20.2	20.15	20.51	20.88	21.08	-	-	20.4	20	20.22	20.81	20.57
23	ESTEBAN TALAMANTES	24° 04' 43"	110° 21' 16"	172	11.03	15.14	16.2	-	16.86	17.36	17.73	-	15.98	-	16.71	22.62	17.06	16.9	16.93
24	ARMIDA TALAMANTES AVILES	24° 05' 18"	110° 21' 03"	171-A	9.49	13.58	14.58	-	15.26	N.T.	15.67	-	15.13	-	14.9	20.44	14.84	15.56	15.08



25	EJ. CHAMETLA	24° 05' 37"	110° 21' 02"	182	8.01	11.38	12.13	12.62	12.73	12.78	12.98	-	12.9	12.57	12.23	12.13	12.07	12.8	12.93
26	EJ. CHAMETLA	24° 05' 50"	110° 20' 11"	180	13.18	17.05	17.8	18.1	-	OPE R.	*18.8	-	-	-	-	AZOL VADO	-	-	-
27	MARÍA CRUZ ALDABA DE YEE	24° 05' 47"	110° 21' 09"	191-R	6.69	9.7	-	10.8	10.92	11.07	11.48	-	11.22	11.03	10.56	10.5	10.64	10.98	10.8
28	EDUARDO SEPULVEDA ARREOLA	24° 05' 55"	110° 21' 10"	197-A	5.96	9.15	9.8	10.15	10.22	ABE JAS	10.55	-	10.24	10.3	9.86	9.42	9.7	10.56	10.61
29	EJ. CHAMETLA	24° 05' 14"	110° 22' 14"	243	9.98	8.7	14.22	13.12	-	13.85	14.07	14.36	13.74	14	12.13	14.48	23.15	14.25	14.11
30	HNOS. DUARTE	24° 05' 07"	110° 22' 26"	242-R	9.9	13.04	13.49	13.2	13.67	13.81	13.82	-	13.65	13.64	13.11	13.53	13.83	13.8	13.89
31	EJ. CHAMETLA	24° 04' 37"	110° 22' 19.5"	241	12.84	15.73	16.09	11.52	16.79	17.1	17.23	-	-	13.96	17.03	-	-	-	-
32	EJ. EL CENTENARIO	24° 04' 06"	110° 22' 13"	211	16.77	19.47	20.38	21.14	21.37	21.6	*38.7 5	-	22.32	22.66	22.79	22.38	22.59	NPS	22.79
33	EJ. EL CENTENARIO	24° 03' 13"	110° 22' 22"	378-R	25.44	25.8	26.37	27.22	27.36	27.78	28.06	28.29	35.55	28.68	28.12	29.2	29.8	29.4	NPS
34	EJ. EL CENTENARIO	24° 03' 13"	110° 21' 33"	205	23.5	26.46	27.56	-	-	29.2	29.45	-	30	29.8	29.64	-	30	30.64	30.28
35	EJ. CHAMETLA	24° 02' 41"	110° 21' 27"	248-R	27.74	28.71	-	-	-	32.68	33.8	-	35.89	-	40.11	37.04	40.03	37.8 ND	40.17
36	EJ. EL CENTENARIO	24° 02' 38"	110° 22' 08"	207-R	27.29	30	31.15	32.07	32.2	32.59	32.88	-	33.4	33.33	38.26	33.92	38.55	NPS	NPS
37	EJ. CHAMETLA	24° 02' 11"	110° 21' 51"	208	30.86	-	34.52	35.58	35.73	36.18	36.41	-	36.96	36.98	37.16	37.6	37.99	38.02	38
38	EJ. CHAMETLA	24° 02' 18"	110° 22' 12"	403	29.63	32.47	33.46	34.54	-	35.2	35.42	-	36.27	36.37	-	37.27	32.26	37.74	37.6
39	AGROEXPORTADORA DEL NOROESTE, SA DE CV	24° 02' 04"	110° 21' 24"	206	35	-	36.64	-	-	OPE R.	48.46	-	38.91	-	-	39.56	-	40.28	40.8
40	Ma. ELENA PEÑA PALACIOS	24° 01' 38"	110° 22' 07"	209	36.38	-	40.14	41.56	-	NPS	NPS	-	-	42.63	42.78	43.13	-	43.34	44.26
41	EJ. EL CENTENARIO	24° 02' 44"	110° 23' 02"	392	32.72	35.06	35.06	37.15	37.07	37.57	37.85	-	-	-	41.71	ND	-	S/D	NPS
42	EJ. CHAMETLA	24° 02' 27"	110° 23' 02"	380-R	35.21	37.62	38.46	-	-	OPE R.	40.4	-	41.31	-	40.91	41.5	-	41.89	NPS
43	EJ. EL CENTENARIO	24° 03' 11"	110° 23' 01"	391	26.2	30	29.32	30.18	-	31.1	*35.6 2	-	-	-	-	32.35	ABEJ AS	39 N.D.	32.7
44	EJ. EL CENTENARIO	24° 04' 33.7"	110° 22' 38.9"	221	11.76	19.57	-	15.4	15.54	16.05	16.16	-	-	12.98	16.08	16.3	16.38	16.51	-
45	GUADALUPE LUCERO ALVAREZ	24° 05' 21"	110° 22' 50"	252	6.79	16.1	9.92	9.85	9.85	OPE R.	10.16	-	-	-	9.83	7.95	10.08	10.51	10.35
46	EJ. EL CENTENARIO	24° 04' 40"	110° 23' 56"	408	13	11.8	11.45	11.2	11.75	11.6	13.08	-	12.77	12.49	13.7	14.2	14.17	14.24	14.06
47	GRUPO AGUAS NEGRAS	24° 04' 09"	110° 24' 20"	386	25	27.05	27.14	38.7	27.57	S/D	28.59	-	-	-	-	S/ORIF ICIO	S/O	S/D	NPS
48	EJ. EL CENTENARIO	24° 04' 56"	110° 24' 28"	326	19	19.9	18.77	19.24	19.14	19.21	*20.2 8	-	16.42	16.54	19.87	20.17	20.1	20.82 N.D.	24.86 N.D.
49	EJ. EL CENTENARIO	24° 05' 08"	110° 24' 29"	385	14.27	15.32	14.8	15.32	15.37	15.3	16.08	-	20.36	20.71	15.85	16.55	16.45	16.51	16.72
50	EJ. EL CENTENARIO	24° 05' 22"	110° 24' 32"	406	11.94	13.43	12.57	13.28	13.18	13.31	13.82	14.74	14.22	14.45	13.63	14.32	15.21	14.78	14.71
51	EJ. EL CENTENARIO	24° 06' 08"	110° 25' 06"	368	9.98	11.31	11.38	11.25	11.3	11.4	11.51	-	-	11.94	11.53	13.15	11.87	12.43	12.04
52	EJ. EL CENTENARIO	24° 05' 57"	110° 25' 01"	379	16	12.94	12.68	12.85	12.8	12.85	13.27	-	13.49	13.53	13.55	13.28	13.24	20.81 ND	13.9



53	EJ. EL CENTENARIO	24° 04' 57"	110° 25' 09"	384	32.75	18.95	-	34.7	34.51	34.81	35.22	-	35.46	35.55	35.46	36.21	35.54	35.53	35.88
54	EJ. EL CENTENARIO	24° 04' 10"	110° 24' 50"	381-R	36.53	39.33	-	39.33	38.97	39.41	39.95	-	40.49	40.79	40.21	40.36	35.58	39.36	39.44
55	EJ. EL CENTENARIO	24° 03' 47"	110° 24' 40"	405	35.24	38.47	38	38.9	38.68	39.58	40.2	-	40.02	37.42	37.98	39.93	35.53	S/D	40.67
56	EJ. CHAMETLA	24° 01' 07"	110° 24' 01"	409	62	64	67.57	77.07	68.21	S/D	69.4	68.84	-	-	70.28	70.7	66.23	70.61	-
57	MANUEL PAZ PAREDES	24° 04' 13"	110° 23' 51"	217-R	15	30	18.2	18.81	18.39	18.95	19.53	-	-	20.12	25.94	20.41	-	21.12	20.54
58	MARGARITA GONZALEZ GARCIA	24° 00' 56"	110° 23' 25"	400	53	-	-	-	-	NPS	40.45	-	60.22	60.23	60.41	61.5	-	61.89	-
59	EJ. EL CENTENARIO	24° 05' 27"	110° 24' 01"	228-A	4.81	-	-	6.35	6.72	6.49	6.9	-	7.52	7.3	7.37	7.51	7.28	7.59	6.82
60	RUBEN JAIME YUEN	24° 06' 44.7"	110° 19' 41.33"	419	10	-	-	-	-	-	S/O	-	13.71	-	-	12.05	12.67	12.9	12.74
61	BEBIDAS PURIFICADAS S.A DE C.V.	24° 06' 30"	110° 17' 30"	415	ND	-	-	-	-	-	37.22	-	-	-	31.5	S/D	-	NPS	NPS
62	COMPAÑÍA EMBOTELLADORA DE B.C.S.	24° 07' 21"	110° 17' 57"	416	60	-	-	-	-	-	43.47	-	39.77	37.63	38.32	35.12	39.74	38.95	34.8
63	BASE ÁREA MILITAR No.9	24° 05' 10"	110° 01' 50"	122-R	8	-	-	-	-	-	14.96	-	14.91	14.94	14.4	14.5	15	15.8	15.24
64	JOSE GABRIEL CASTRO MACIAS	24° 04' 30"	110° 23' 55"	407	19	-	-	-	-	-	*16,0 7	-	16.12	-	16.07	16.64	17.24	AZOL VADO	16.57
65	JOSE MARIA GERALDO ROMERO	24° 05' 31"	110° 24' 08"	S/N	S/D	-	-	-	-	-	7.38	-	-	7.81	7.4	7.86	7.65	8.39	7.73
66	JOSE DE JESUS CASTILLO VILLASEÑOR	24° 02' 01"	110° 19' 43"	168-B	56	-	-	-	-	-	-	66.64	-	-	-	-	-	NPS	NPS
67	JAIME MURILLO AISPURO			BUEN SUR	189	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18.27	16.55	-	16.31
68	FERNANDO CHAVEZ ARREDIONDO			EL PALM AR		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25.9	-	-	22.1
69	MATEO OJEDA	24° 01' 43"	110° 22' 24"		30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	41.62	-	42.55	42.67
70	LEOPOLDO GONZALEZ	24° 01' 27"	110° 23' 22"	S/N	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	53.51	-	43.93	54.56
71	GUILLERMO GONZALEZ	24° 01' 33"	110° 22' 57"	S/N	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	46.22	-	46.74	47
72	EJIDO CHAMETLA	24° 03' 27"	110° 23' 55"	216	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	34.03	-	35.02	34.21
73	SANTIAGO OLACHEA	24° 03' 24"	110° 23' 32"	BOLA DE FUEG O	28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31.7	31.9
74	RAMON ALVARADO	24° 05' 32"	110° 23' 55"	253	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16.61 ND	5.22
75	ADELA FIOLE VDA. DE BENTON			RANC HO ESTEL A		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.22	7.75
76	JORGE GONZALEZ ORTEGA CARBAJAL			LAS BRUM AS		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9.6	-
77	RICARDO LORENZO CEVALLOS ZEPEDA			SN		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	59.16	-



TABLA 1.21 ELEVACIÓN DEL NIVEL ESTÁTICO

No	USUARIO	COORDENADAS GEOGRÁFICAS			ELEV. BROCA L M.S.N.M	ELEVACIÓN DEL NIVEL ESTÁTICO															
		LAT. NORTE	LONG. OESTE	POZO No		1990	1995	1996	1997	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008		
1	HNOS. SCHOLNICK ROMERO	24° 05' 22.99"	110° 18' 45.62"	128	31.1	-6.55	-	-9.79	-	-9.24	-9.99	-	-	-	-8.94	-8.39	-8.49	-8.82	-8.92		
2	UABCS	24° 05' 54.54"	110° 19' 00.95"	129-B	28	-1.14	-1.53	-2.14	-2	-1.77	-1.93	-3.65	-2	-1.53	-1.15	-0.4	-0.75	-1.3	-1.4		
3	ENRIQUE HERNANDEZ PONS	24° 03' 40.09"	110° 19' 12.1"	164	49.52	-	-8.08	-	10.05	10.98	10.19	-10.74	-	7.32	-11.07	-15.2	-9.08	-10.48	-10.36	-9.98	
4	MARÍA ELENA ALVAREZ DE HDEZ.	24° 02' 51.72"	110° 19' 35.58"	166	50.46	-7.45	13.34	-9.52	-9.54	-8.39	-8.45	-8.4	-8.74	-8.79	-13.64	-8.58	-9.84	-9.08	-9.3		
5	ENRIQUE HERNANDEZ PONS TORRES	24° 02' 56.04"	110° 20' 03.73"	167-R	36	-6.68	-2.12	-	10.14	-10.9	-	10.25	-21.39	-	11.32	-11.62	-11.38	-11.4	-11.58	-11.88	-11.58
6	ANA MARÍA DEL POZO BRAMBILA	24° 06' 29"	110° 19' 32"	135-R	14	-2.46	-2.52	-4.91	-3.06	-2.89	-3.12	-	-2.63	-2.56	-1.55	-1.02	-1.5	-1.71	-2.08		
7	ENRIQUE TROYO	24° 06' 14.5"	110° 19' 26.32"	134	16.46	-3.71	-4.04	-4.5	-4.64	-4.32	-4.72	-	-4.11	-3.75	-3.17	-2.65	-3.16	-3.33	-3.44		
8	BEATRIZ VONBORSTEL DE PINO	24° 06' 00.63"	110° 19' 31.78"	136	18.36	-3.49	-	-	-4.66	-4.35	-4.82	-	-	-	-	-	-	-	-		
9	EDUARDO PINO VONBORTEL			137	22.75	-4.96	-5.73	-5.89	-6.25	-5.89	22.75	-	-	-	-	-	-	-	-		
10	MIGUEL E. PINO VONBORSTEL	24° 05' 21.22"	110° 19' 27.1"	138	28.89	-5.03	-5.71	-6.14	-6.67	-5.87	-6.38	-	-6.01	-6.6	28.89	-4.78	-5.41	-5.35	-		
11	BEATRIZ VONBORSTEL DE PINO	24° 05' 13.7"	110° 19' 05.94"	139	33.66	-5.32	-5.89	-6.17	-6.24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
12	EJ. CHAMETLA	24° 05' 18.54"	110° 19' 51.98"	140	22.5	-5.1	-6.2	-6.18	-6.3	-6.24	-6.52	-	-6.28	22.5	-5.68	-5.79	-6.4	-5.7	-5.94		
13	NORMAN LUPIO TRACY	24° 05' 04.27"	110° 19' 31.24"	142	29.83	-5.47	-6.57	-6.83	-7.04	-6.66	-7.12	-	-6.82	-	-	-	-	-	-		
14	AGROEXPORTADORA DEL NOROESTE, SA DE CV	24° 01' 50"	110° 21' 22"	143	36.27	-5.5	-6.21	-6.61	-6.59	-3.36	-7.12	-	-6.73	-	-	-	-	-	-		
15	RAÚL ESTRADA CANSECO Y SOC.	24° 05' 06.35"	110° 19' 55.36"	141	21.77	-5.16	-7.57	-7.88	-	-6.51	-6.92	-	-6.96	-15.15	-6.35	-6.28	-5.83	-6.23	-6.14		
16	JUAN MANUEL Y CARLOS MORENO PAZ	24° 04' 50.71"	110° 19' 59.54"	145-R	21.59	-4.99	-5.9	-6.53	-6.62	-6.43	-6.91	-	-5.59	-	-7.91	-5.85	-	-	-		
17	EJ. CHAMETLA	24° 04' 14.5"	110° 19' 38.71"	422	40	0.65	-	-0.8	-0.84	-0.73	-1.68	-	-	-	-	-0.7	-	-	-		
18	ASOC. DE COLONOS Y PROPIETARIOS A.C.	24° 03' 18"	110° 19' 59"	151	42	-	6.96	-2.19	-2.44	-2.23	-3	-	-3.3	-3.57	-2.97	1.12	-7.6	-3.29	-3.32		
19	ANGELINA ÁGUILA MICHEL	24° 03' 26"	110° 20' 36"	152	23.47	-4.75	-5.39	-6.3	-	-7.5	-7.66	-	-	-	-	-	-7.33	-7.83	-		
20	SILVIA MENDOZA DE POLONI	24° 03' 32"	110° 20' 51"	153	21.09	-4.34	-5.31	-6.05	-	-	-7.09	-6.91	-	-	-7.11	-11.06	-8.51	-	-		
21	JOSEFINA DÍAZ VIRGEN	24° 04' 55"	110° 20' 38"	146	13.88	-4.34	-	-	-5.92	-6.39	-6.73	13.88	-6.48	-	-5.61	-5.34	-	-	-		
22	EJ. CHAMETLA	24° 04' 25"	110° 20' 56"	181-R	14.58	-4	-4.9	-5.62	-5.57	-5.93	-6.3	-6.5	-	-	-5.82	-5.42	-5.64	-6.23	-5.99		
23	ESTEBAN TALAMANTES	24° 04' 43"	110° 21' 16"	172	11.03	-4.11	-5.17	-	-5.83	-6.33	-6.7	-	-4.95	-	-5.68	-11.59	-6.03	-5.87	-5.9		
24	ARMIDA TALAMANTES AVILES	24° 05' 18"	110° 21' 03"	171-A	9.49	-4.09	-5.09	-	-5.77	-	-6.18	-	-5.64	-	-5.41	-10.95	-5.35	-6.07	-5.59		



25	EJ. CHAMETLA	24° 05' 37"	110° 21' 02"	182	8.01	-3.37	-4.12	-4.61	-4.72	-4.77	-4.97	-	-4.89	-4.56	-4.22	-4.12	-4.06	-4.79	-4.92
26	EJ. CHAMETLA	24° 05' 50"	110° 20' 11"	180	13.18	-3.87	-4.62	-4.92	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	MARÍA CRUZ ALDABA DE YEE	24° 05' 47"	110° 21' 09"	191-R	6.69	-3.01	-	-4.11	-4.23	-4.38	-4.79	-	-4.53	-4.34	-3.87	-3.81	-3.95	-4.29	-4.11
28	EDUARDO SEPULVEDA ARREOLA	24° 05' 55"	110° 21' 10"	197-A	5.96	-3.19	-3.84	-4.19	-4.26	-	-4.59	-	-4.28	-4.34	-3.9	-3.46	-3.74	-4.6	-4.65
29	EJ. CHAMETLA	24° 05' 14"	110° 22' 14"	243	9.98	1.28	-4.24	-3.14	-	-3.87	-4.09	-4.38	-3.76	-4.02	-3.15	-4.5	-13.17	-4.27	-4.13
30	HNOS. DUARTE	24° 05' 07"	110° 22' 26"	242-R	9.9	-3.14	-3.59	-3.3	-3.77	-3.91	-3.92	-	-3.75	-3.74	-3.21	-3.63	-3.93	-3.9	-3.99
31	EJ. CHAMETLA	24° 04' 37"	110° 22' 19.5"	241	12.84	-2.89	-3.25	1.32	-3.95	-4.26	-4.39	-	-	-1.12	-4.19	-	-	-	-
32	EJ. EL CENTENARIO	24° 04' 06"	110° 22' 13"	211	16.77	-2.7	-3.61	-4.37	-4.6	-4.83	-	-	-5.55	-5.89	-6.02	-5.61	-5.82	-	-6.02
33	EJ. EL CENTENARIO	24° 03' 13"	110° 22' 22"	378-R	25.44	-0.36	-0.93	-1.78	-1.92	-2.34	-2.62	-2.85	10.11	-3.24	-2.68	-3.76	-4.36	-3.96	-
34	EJ. EL CENTENARIO	24° 03' 13"	110° 21' 33"	205	23.5	-2.96	-4.06	-	-	-5.7	-5.95	-	-6.5	-6.3	-6.14	-	-6.5	-7.14	-6.78
35	EJ. CHAMETLA	24° 02' 41"	110° 21' 27"	248-R	27.74	-0.97	-	-	-	-4.94	-6.06	-	-8.15	-	-12.37	-9.1	-12.29	-	-12.43
36	EJ. EL CENTENARIO	24° 02' 38"	110° 22' 08"	207-R	27.29	-2.71	-3.86	-4.78	-4.91	-5.3	-5.59	-	-6.11	-6.04	-10.97	-6.63	-11.26	-	-
37	EJ. CHAMETLA	24° 02' 11"	110° 21' 51"	208	30.86	-	-3.66	-4.72	-4.87	-5.32	-5.55	-	-6.1	-6.12	-6.3	-6.74	-7.13	-7.16	-7.14
38	EJ. CHAMETLA	24° 02' 18"	110° 22' 12"	403	29.63	-2.84	-3.83	-4.91	-	-5.57	-5.79	-	-6.64	-6.74	-	-7.64	-2.63	-8.11	-7.97
39	AGROEXPORTADORA DEL NOROESTE, SA DE CV	24° 02' 04"	110° 21' 24"	206	35	-	-1.64	-	-	-	-13.46	-	-3.91	-	-	-4.56	-	-5.28	-5.8
40	Ma. ELENA PEÑA PALACIOS	24° 01' 38"	110° 22' 07"	209	36.38	-	-3.76	-5.18	-	-	-	-	-	-6.25	-6.4	-6.75	-	-6.96	-7.88
41	EJ. EL CENTENARIO	24° 02' 44"	110° 23' 02"	392	32.72	-2.34	-2.34	-4.43	-4.35	-4.85	-5.13	-	-	-	-8.99	-	-	-	-
42	EJ. CHAMETLA	24° 02' 27"	110° 23' 02"	380-R	35.21	-2.41	-3.25	-	-	-	-5.19	-	-6.1	-	-5.7	-6.29	-	-6.68	-
43	EJ. EL CENTENARIO	24° 03' 11"	110° 23' 01"	391	26.2	-3.8	-3.12	-3.98	-	-4.9	-	-	-	-	-	-6.15	-	-	-6.5
44	EJ. EL CENTENARIO	24° 04' 33.7"	110° 22' 38.9"	221	11.76	-7.81	-	-3.64	-3.78	-4.29	-4.4	-	-	-1.22	-4.32	-4.54	-4.62	-4.75	-
45	GUADALUPE LUCERO ALVAREZ	24° 05' 21"	110° 22' 50"	252	6.79	-9.31	-3.13	-3.06	-3.06	-	-3.37	-	-	6.79	-3.04	-1.16	-3.29	-3.72	-3.56
46	EJ. EL CENTENARIO	24° 04' 40"	110° 23' 56"	408	13	1.2	1.55	1.8	1.25	1.4	-0.08	-	0.23	0.51	-0.7	-1.2	-1.17	-1.24	-1.06
47	GRUPO AGUAS NEGRAS	24° 04' 09"	110° 24' 20"	386	25	-2.05	-2.14	-13.7	-2.57	-	-3.59	-	-	-	-	-	-	-	-
48	EJ. EL CENTENARIO	24° 04' 56"	110° 24' 28"	326	19	-0.9	0.23	-0.24	-0.14	-0.21	-	-	2.58	2.46	-0.87	-1.17	-1.1	-	-
49	EJ. EL CENTENARIO	24° 05' 08"	110° 24' 29"	385	14.27	-1.05	-0.53	-1.05	-1.1	-1.03	-1.81	-	-6.09	-6.44	-1.58	-2.28	-2.18	-2.24	-2.45
50	EJ. EL CENTENARIO	24° 05' 22"	110° 24' 32"	406	11.94	-1.49	-0.63	-1.34	-1.24	-1.37	-1.88	-2.8	-2.28	-2.51	-1.69	-2.38	-3.27	-2.84	-2.77
51	EJ. EL CENTENARIO	24° 06' 08"	110° 25' 06"	368	9.98	-1.33	-1.4	-1.27	-1.32	-1.42	-1.53	-	-	-1.96	-1.55	-3.17	-1.89	-2.45	-2.06
52	EJ. EL CENTENARIO	24° 05' 57"	110° 25' 01"	379	16	-0.281	-0.021	-0.191	0.141	0.191	-0.611	-	-0.831	-0.871	-0.891	-0.621	-0.581	-	-1.241

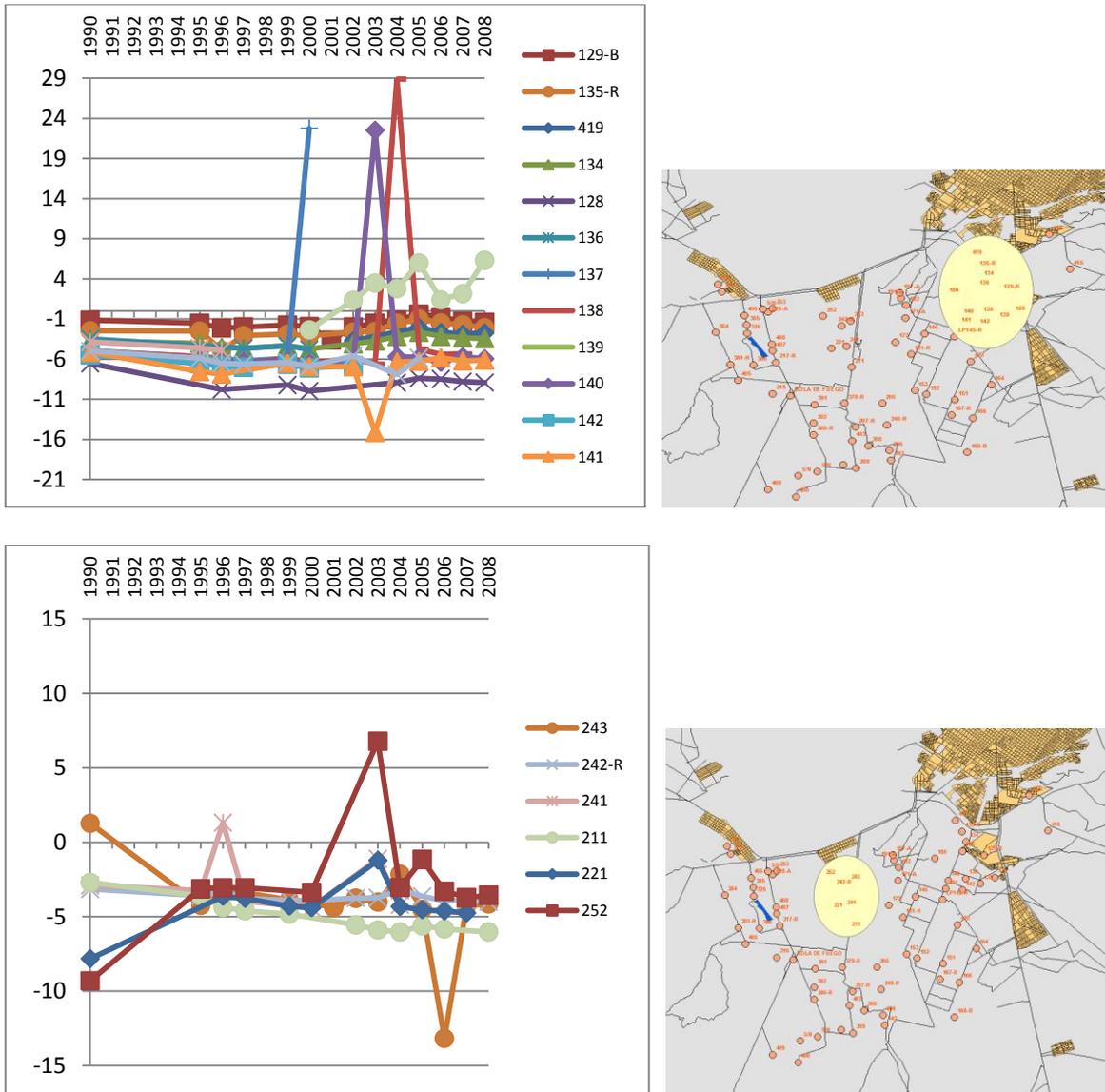


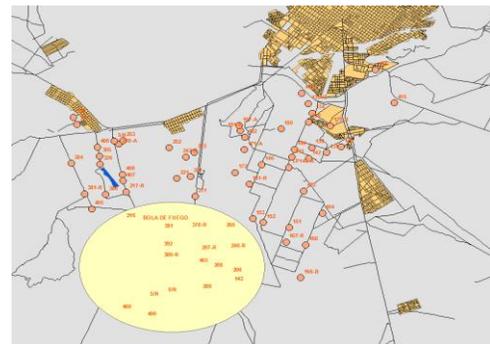
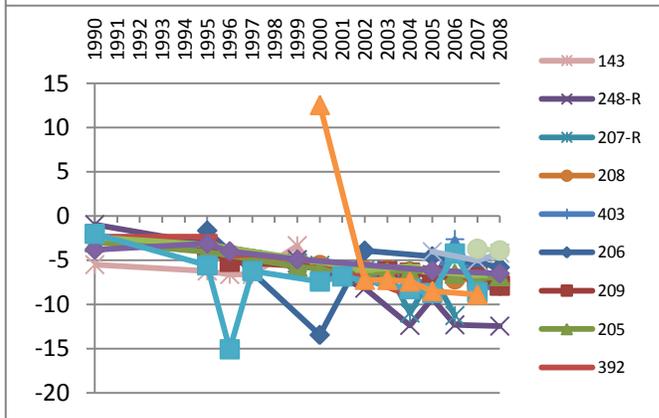
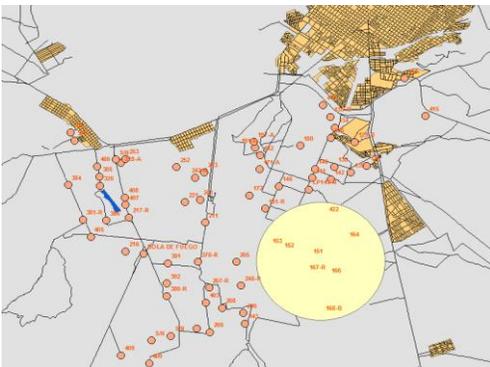
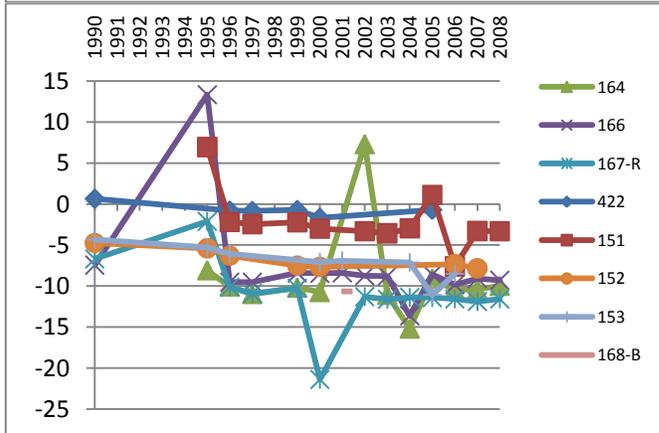
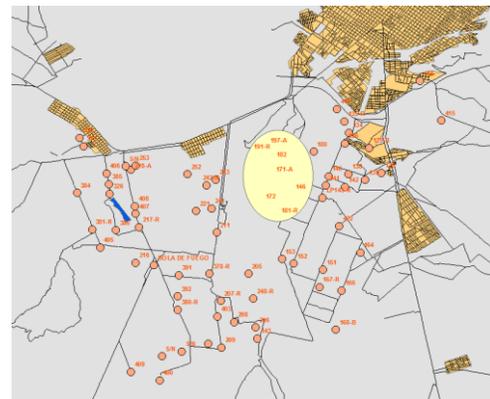
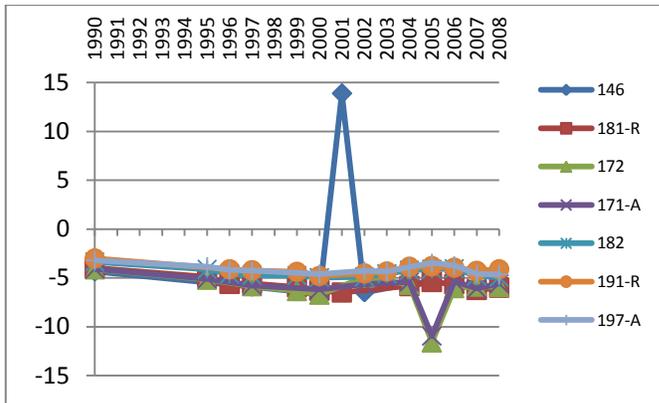
53	EJ. EL CENTENARIO	24° 04' 57"	110° 25' 09"	384	32.75	13.8	-	-1.95	-1.76	-2.06	-2.47	-	-2.71	-2.8	-2.71	-3.46	-2.79	-2.78	-3.13	
54	EJ. EL CENTENARIO	24° 04' 10"	110° 24' 50"	381-R	36.53	-2.8	-	-2.8	-2.44	-2.88	-3.42	-	-3.96	-4.26	-3.68	-3.83	0.95	-2.83	-2.91	
55	EJ. EL CENTENARIO	24° 03' 47"	110° 24' 40"	405	35.24	-3.23	-2.76	-3.66	-3.44	-4.34	-4.96	-	-4.78	-2.18	-2.74	-4.69	-0.29	-	-5.43	
56	EJ. CHAMETLA	24° 01' 07"	110° 24' 01"	409	62	-2	-5.57	-15.07	-6.21	-	-7.4	-6.84	-	-	-8.28	-8.7	-4.23	-8.61	-	
57	MANUEL PAZ PAREDES	24° 04' 13"	110° 23' 51"	217-R	15	-15	-3.2	-3.81	-3.39	-3.95	-4.53	-	-	-5.12	-10.94	-5.41	-	-6.12	-5.54	
58	MARGARITA GONZALEZ GARCIA	24° 00' 56"	110° 23' 25"	400	53	-	-	-	-	-	12.55	-	-7.22	-7.23	-7.41	-8.5	-	-8.89	-	
59	EJ. EL CENTENARIO	24° 05' 27"	110° 24' 01"	228-A	4.81	-	-	-1.54	-1.91	-1.68	-2.09	-	-2.71	-2.49	-2.56	-2.7	-2.47	-2.78	-2.01	
60	RUBEN JAIME YUEN	24° 06' 44.7"	110° 19' 41.33"	419	10	-	-	-	-	-	-	-	-3.71	-	-	-2.05	-2.67	-2.9	-2.74	
61	BEBIDAS PURIFICADAS S.A DE C.V.	24° 06' 30"	110° 17' 30"	415	ND	-	-	-	-	-	-	#¡VALOR !	-	-	-	#¡VALOR !	-	-	-	
62	COMPAÑÍA EMBOTELLADORA DE B.C.S.	24° 07' 21"	110° 17' 57"	416	60	-	-	-	-	-	-2.36	-	1.34	3.48	2.79	5.99	1.37	2.16	6.31	
63	BASE ÁREA MILITAR No.9	24° 05' 10"	110° 01' 50"	122-R	8	-	-	-	-	-	-6.96	-	-6.91	-6.94	-6.4	-6.5	-7	-7.8	-7.24	
64	JOSE GABRIEL CASTRO MACIAS	24° 04' 30"	110° 23' 55"	407	19	-	-	-	-	-	-	-	-	2.862	13.258	-2.812	-3.382	-3.982	-	-3.312
65	JOSE MARIA GERALDO ROMERO	24° 05' 31"	110° 24' 08"	S/N	S/D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
66	JOSE DE JESUS CASTILLO VILLASEÑOR	24° 02' 01"	110° 19' 43"	168-B	56	-	-	-	-	-	-	-	10.64	-	-	-	-	-	-	
67	JAIME MURILLO AISPURO			BUEN SUR EL PALMAR	189	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	170.73	172.45	-	172.69	
68	FERNANDO CHAVEZ ARREDIONDO					-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-25.9	-	-	-22.1	
69	MATEO OJEDA	24° 01' 43"	110° 22' 24"		30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-11.62	-	-12.55	-12.67	
70	LEOPOLDO GONZALEZ	24° 01' 27"	110° 23' 22"	S/N	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-3.51	-	6.07	-4.56	
71	GUILLERMO GONZALEZ	24° 01' 33"	110° 22' 57"	S/N	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-6.22	-	-6.74	-7	
72	EJIDO CHAMETLA	24° 03' 27"	110° 23' 55"	216	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-4.03	-	-5.02	-4.21	
73	SANTIAGO OLACHEA	24° 03' 24"	110° 23' 32"	BOLA DE FUEGO	28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-3.7	-3.9	
74	RAMON ALVARADO	24° 05' 32"	110° 23' 55"	253	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-1.649	
75	ADELA FIOLE VDA. DE BENTON			RANCHO ESTELA		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-7.22	-7.75	
76	JORGE GONZALEZ ORTEGA CARBAJAL			LAS BRUMAS		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-9.6	-	
77	RICARDO LORENZO CEVALLOS ZEPEDA			ND		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-59.16	-	

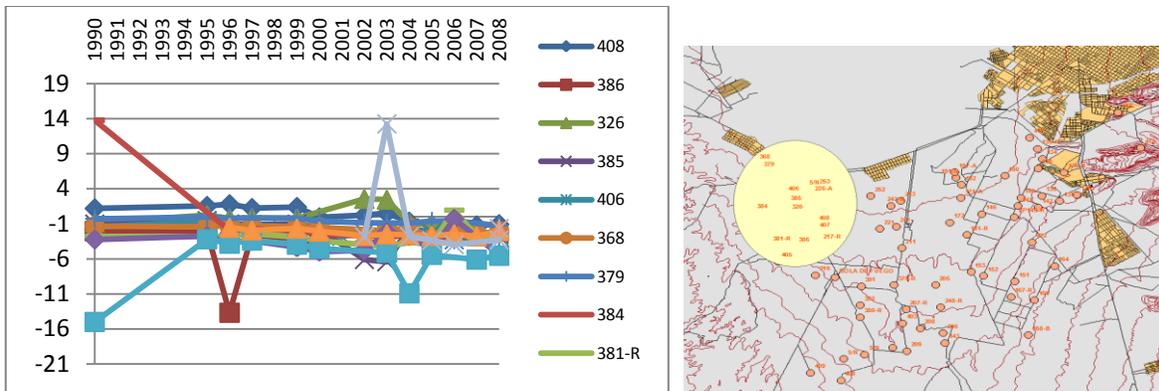


A partir de esta información se detectaron 6 microzonas de comportamiento de la elevación del nivel estático a lo largo del periodo de tiempo de 1990 a 2008; tal y como se muestra a continuación (FIGURA 1.34):

FIGURA 1.33 ZONIFICACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA ELEVACIÓN DEL NIVEL ESTÁTICO







Unidades hidrogeológicas

El comportamiento de las aguas subterráneas dentro de la zona de La Paz B.C.S. se estableció a partir de materiales que lo conforman, es decir, de las condiciones hidrogeológicas que se presentan en este acuífero, las cuales están directamente relacionadas con las características físicas de los materiales que constituyen el sistema acuífero, además de la textura de las rocas, el ambiente tectónico de la zona, así como los aspectos climáticos y vegetación forman parte del ambiente hidrogeológico del acuífero.

A partir de las características antes mencionadas se definieron las unidades hidroestratigráficas, los rasgos indicadores del sistema acuífero y el establecimiento de los parámetros hidráulicos que condicionan el comportamiento de los flujos del agua subterránea.

El valle de La Paz presenta sedimentos marinos y secuencias volcanoclásticas (derrames, flujos piroclásticos y depósitos granulares consolidados) metamorfizados, deformadas e intrusionadas por rocas plutónicas, materiales que debido a fenómenos de distensión generaron un depocentro que fue afectado por los fenómenos tectónicos de la apertura del Golfo de California, sobre dichos materiales se presentan acumulaciones de sedimentos marinos y continentales granulares, los cuales conforman la parte superior de la columna estratigráfica existente en esta región.

De acuerdo a los cortes litológicos de las perforaciones de diversos aprovechamientos de agua subterránea, se dividieron a los materiales de la columna estratigráfica de acuerdo a la clasificación de la TABLA 1.22.

En la primer unidad se observan depósitos granulares no consolidados de media a alta conductividad hidráulica; y son los que integran la mayor parte del valle. De igual manera, los materiales volcanoclásticos de baja compactación de la Formación Comondú se asocian a esta unidad.



Dentro de la segunda unidad se considera a los derrames asociados a la Formación Comondú. La conductividad hidráulica está dada por el fracturamiento, su importancia dentro del acuífero se ve restringida por su poca distribución en el subsuelo.

La tercera unidad está representada principalmente por los diferentes cuerpos intrusivos que afloran en la parte oriental del área de estudio, así mismo, se considera dentro de esta unidad geohidrológica a las secuencias preterciarias que fueron afectadas por metamorfismo regional y de contacto.

El agua subterránea del valle de La Paz circula por dos medios principales: uno denominado poroso (porosidad primaria) y el segundo denominado fracturado (porosidad secundaria).

TABLA 1.22 CLASIFICACIÓN DE LAS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS DEL VALLE DE LA PAZ B.C.S.

UNIDAD HIDROGEOLÓGICA	UNIDAD ESTRATIGRÁFICA	LITOLOGÍA	PERMEABILIDAD
I	Aluvión	Depósitos de la mayor parte del valle, compuestos por granulares. Materiales vulcano-clásticos de la Formación Comondú.	ALTA Está dada por la porosidad intergranular. Puede ser muy alta en condiciones de baja compactación y grano grueso.
	Talud		
	Depósitos de litoral		
	Fracción granular de la formación Comondú		
II	Derrames volcánicos de la Formación Comondú como la Lava Providencia.	Depósitos de la mayor parte del valle, compuestos por granulares. Materiales vulcano-clásticos de la Formación Comondú.	MEDIA La permeabilidad se puede deber al fracturamiento de la roca, en el caso de los basaltos puede ser alta.
III	Rocas ígneas intrusivas	Rocas ígneas intrusivas que funcionan como fronteras del acuífero, afloran en la parte oriental del área de estudio y que se asocian a las secuencias metamórficas constituidas por filitas, esquistos y gneises.	BAJA Son materiales muy compactos
	Complejo metamórfico		



Medio poroso

Este medio poroso se desarrolla dentro del acuífero de La Paz, en materiales clásticos de origen principalmente fluvial, los cuales se encuentran distribuidos principalmente en el Valle de La Paz, además de presentar facies principalmente continentales, las cuales están conformadas por arenas y gravas, debido a la alta porosidad de estas rocas y a su poca compactación ayudan a la libre circulación del agua subterránea entre los espacios integranulares. Este medio poroso de igual manera ha sido controlado por las distintas corrientes superficiales que se han desarrollado dentro de esta región, como son El Novillo y La Palma, principalmente.

En general dentro del medio poroso, los materiales clásticos con diámetros mayores representan los mejores receptáculos del acuífero, dado que cualitativamente son más permeables y con una buena conductividad hidráulica en el sentido horizontal. Los aprovechamientos localizados dentro de esta litofacies, presentan los mejores caudales de extracción.

Sin embargo, al presentarse una etapa de actividad volcánica, principalmente efusiva, y debido a su relativa juventud, estos materiales presentan baja consolidación, lo cual, desde el punto de vista geohidrológico representan materiales de buena perspectiva para conseguir agua subterránea; cabe mencionar que no han sido estudiadas con detalle, por lo que su espesor no es del todo exacto; sin embargo, se considera que puede superar los 500 metros.

Medio fracturado

El medio fracturado se encuentra conformado por la secuencia de rocas ígneas y metamórficas, asociadas con el complejo cristalino que conforma principalmente la parte oriental del valle de La Paz. Dentro de estos materiales se toma en cuenta principalmente los planos de fracturas y diaclasas que presenta la roca, es decir, que la permeabilidad de estas rocas está principalmente relacionada con el grado de fracturamiento de la roca, así como de la composición del magma que originó las rocas ígneas.

Es importante señalar que estos materiales podrían considerarse parte del basamento del acuífero del Valle de La Paz, sin embargo, dentro de las perforaciones de pozos ni en las exploraciones indirectas se ha determinado la profundidad a la que se encuentran. Además, aunque su densidad de fracturamiento puede permitir desarrollar cierto grado de permeabilidad, las características favorables se verán restringidas por los intervalos arcillosos pertenecientes a las filitas, así como a la presencia discontinua de la secuencia ígnea intrusiva, restringen el potencial hidrológico de los materiales metamórficos e



ígneos intrusivos de la región. Estos factores son poco alentadores para poder considerar la existencia de un acuífero en el medio fracturado presente en estas unidades.

En lo referente a la presencia de derrames de lavas de la Formación Comondú, el fuerte grado de fracturamiento desarrollado en los intervalos de basalto, general buenas zonas de permeabilidad, sin embargo, la discontinuidad de éstos restringen su potencial acuífero. De igual forma los derrames de lavas de composición riolítica que se encuentran aflorando en el sector oriental del valle presentan pocas expectativas debido a su distribución tan restringida.

Es importante considerar dentro de este medio a las unidades sedimentarias marinas del Terciario Inferior que se distribuyen en el subsuelo del valle de la Paz, mismas que corresponden a rocas sedimentarias de origen marino las cuales afloran en el área de San Juan de la Costa (norponiente del área de estudio). Dentro de esta unidad se presentan flujos subterráneos controlados por la disposición de fallas y fracturas.

Modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico

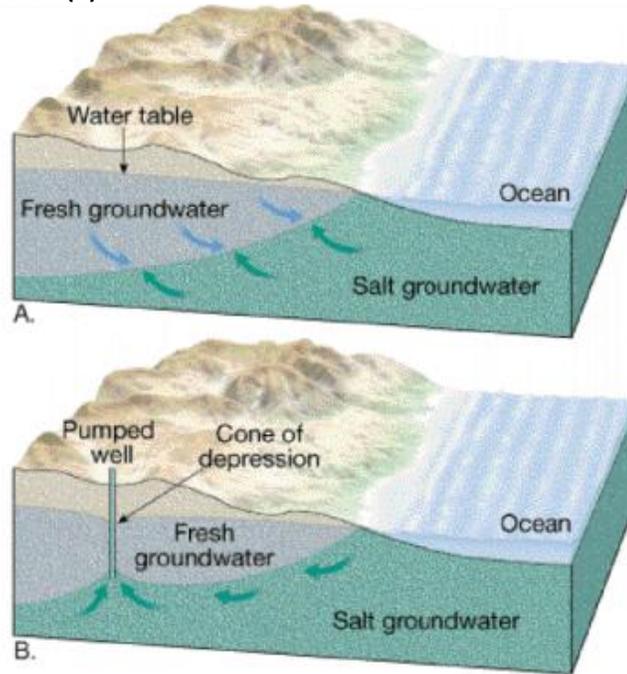
Geometría del sistema

Debido a la disposición y comportamiento de los materiales que integran la zona acuífera del valle de La Paz y de acuerdo con la información existente, se clasifica el acuífero de La Paz como un acuífero libre compuesto por material detrítico, desarrollado en un medio granular con estratos de baja permeabilidad distribuidos en forma irregular en el subsuelo. Se encuentra constituido principalmente por materiales aluviales de alta permeabilidad que suprayacen a sedimentos arcillo arenosos, rocas volcánicas fracturadas y piroclastos de permeabilidad baja. La base de estas unidades corresponde a un complejo ígneo metamórfico de naturaleza impermeable. Este acuífero se define también como un acuífero costero, porque su frontera norte corresponde al nivel del mar, situación que lo hace vulnerable a la contaminación por intrusión marina.

Las zonas de mayor permeabilidad se asocian con los cuerpos gravillentos de los canales fluviales y en los prismas adyacentes a las zonas afectadas por la zona de fallas. Subyaciendo a los materiales del medio poroso se encuentra una secuencia vulcanoclástica y sedimentaria, la cual; establece la presencia de una cuenca asociada con un bajo estructural a la altura del valle de La Paz, misma que tiene una longitud aproximada de 30 Km y una amplitud que varía de 6 Km en su extremo meridional a 14 Km en su extremo septentrional con una profundidad que varía de 150 a 200m.

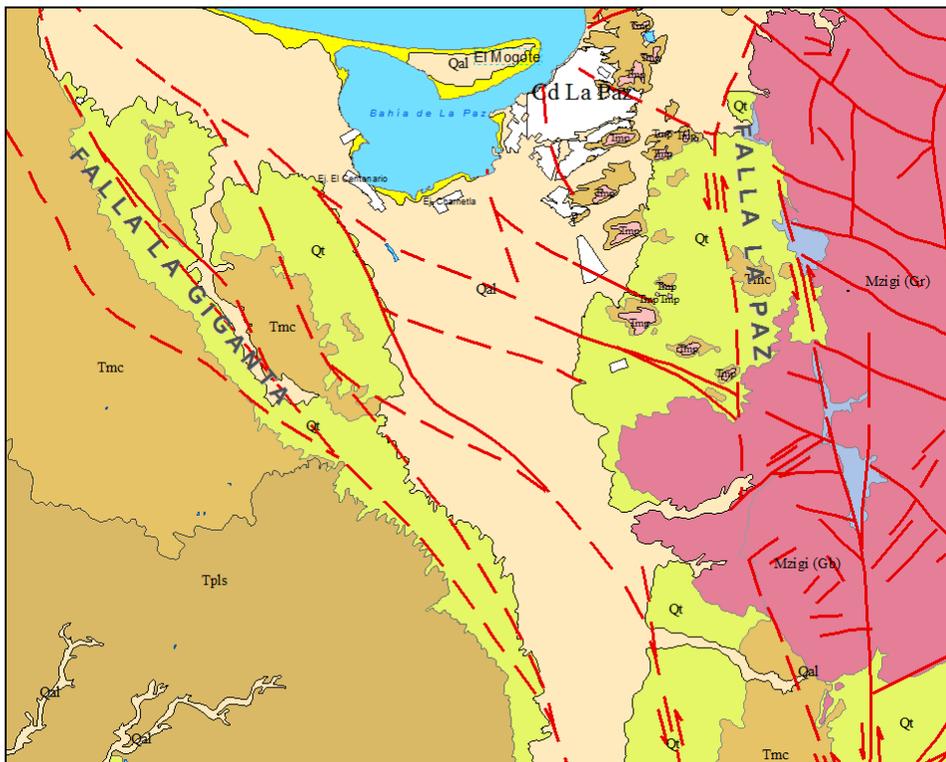


FIGURA 1.34 ESQUEMA DE UN ACUÍFERO COSTERO EN CONDICIONES NATURALES (A) Y BAJO CONDICIONES DE EXPLOTACIÓN (B)



Fuente: www.arc.losrios.edu

FIGURA 1.35 GEOMETRÍA DEL VALLE DE LA PAZ, B.C.S.



Existe una serie de bloques al poniente de la Falla de La Paz con un espesor máximo de 200m que tiene un potencial acuífero debido al fallamiento de segundo orden colindante con ellos. Dichas fallas secundarias pueden actuar como conductos o barreras o ambas de tal forma que la mayoría de las veces el agua no llega a descargar en el medio poroso dentro del Valle de La Paz debido a la anisotropía de la permeabilidad.

La secuencia granular de facies abanicos aluviales, consiste de una serie de gravas y arenas en ocasiones embebidos en una matriz arcillosa, materiales que alcanzan un espesor máximo que varía de 150 a 200 m. La columna estratigráfica que se encuentra en el subsuelo del Valle de La Paz subyaciendo al medio granular en actual explotación se compone de la base a la cima por Las Formaciones Tepetate, San Gregorio, San Isidro y Comondú, todas ellas del Mioceno, a excepción de la primera unidad que se considera del Paleoceno-Eoceno. Estas rocas en su gran parte contienen materiales porosos, representados por areniscas poco compactadas, conglomerados y materiales volcánicos fracturados, como lo manifiestan los bajos resistivos localizados en diversos intervalos dentro de las rocas de las Formaciones San Isidro y Comondú en zonas delimitadas por fallas, lo cual se puede interpretar como zonas con potencial acuífero, no explotado. En lo que respecta a las rocas del medio fracturado se interpretó un espesor de la secuencia volcánica y sedimentaria que no es cuantificable pero se estima que es superior a los 900 m. Las propiedades hidráulicas de la secuencia detrítica no consolidada así como de las rocas volcánicas y sedimentarias, determinan en el acuífero la cantidad de agua que pueden almacenar, transmitir y ceder. Dichas propiedades dependen de factores geológicos, como la granulometría, composición mineralógica, grado de compactación y cementación en el medio poroso, en el medio fracturado estos dos factores también influyen aunados con el fracturamiento, erosión e intemperismo de las rocas.

Se considera que la distribución de las conductividades hidráulicas mayores, específicamente en las inmediaciones de la Falla La Paz, corresponden con las zonas en donde las fracturas se encuentren interconectadas, adquiriendo un comportamiento altamente permeable. Lo anterior corresponde con los gastos registrados de los pozos localizados en la zona nororiental, que en promedio llegan a ser de 20 a 35lps.

Por otro lado, con respecto al medio poroso se considera que los sitios con mayor conductividad hidráulica corresponden con facies detríticas de mayor granulometría que posiblemente se encuentren comunicadas hidráulicamente con el medio fracturado, en las inmediaciones de las zonas de falla. Otra zona que se estima que tiene influencia del factor estructural está localizada a lo largo de la traza de la falla La Giganta y en sus componentes de segundo orden, el potencial acuífero de esta zona no ha sido comprobado, sin embargo se considera que guarda un comportamiento similar con respecto a la Falla La Paz cuyos patrones de fracturamiento derivados de la deformación frágil ejercen una notable influencia sobre las trayectorias del flujo.



Definición de los sistemas de flujo

El movimiento del agua subterránea dentro del Acuífero del Valle de La Paz se puede clasificar en dos medios: el medio granular y el medio fracturado.

Para el primero, se encuentra controlado por la distribución de las zonas permeables de las diferentes facies de abanicos aluviales. Su recarga mayoritaria proviene del escurrimiento de los altos topográficos, principalmente los ubicados al oriente del valle, y en menor proporción de las mesetas ubicadas al occidente y de los lomeríos localizados en su extremo meridional. Se considera que la trayectoria subterránea que sigue el agua en el medio granular a partir de la entrante al valle, ocurre en dirección norte hacia la zona de la costa.

Para el segundo, su trayectoria estará supeditada al patrón de fracturas y fallas de la secuencia sedimentaria y de los cuerpos de rocas volcánicas, así como de la configuración de los bajos estructurales en el subsuelo.

Sistema de flujo regional

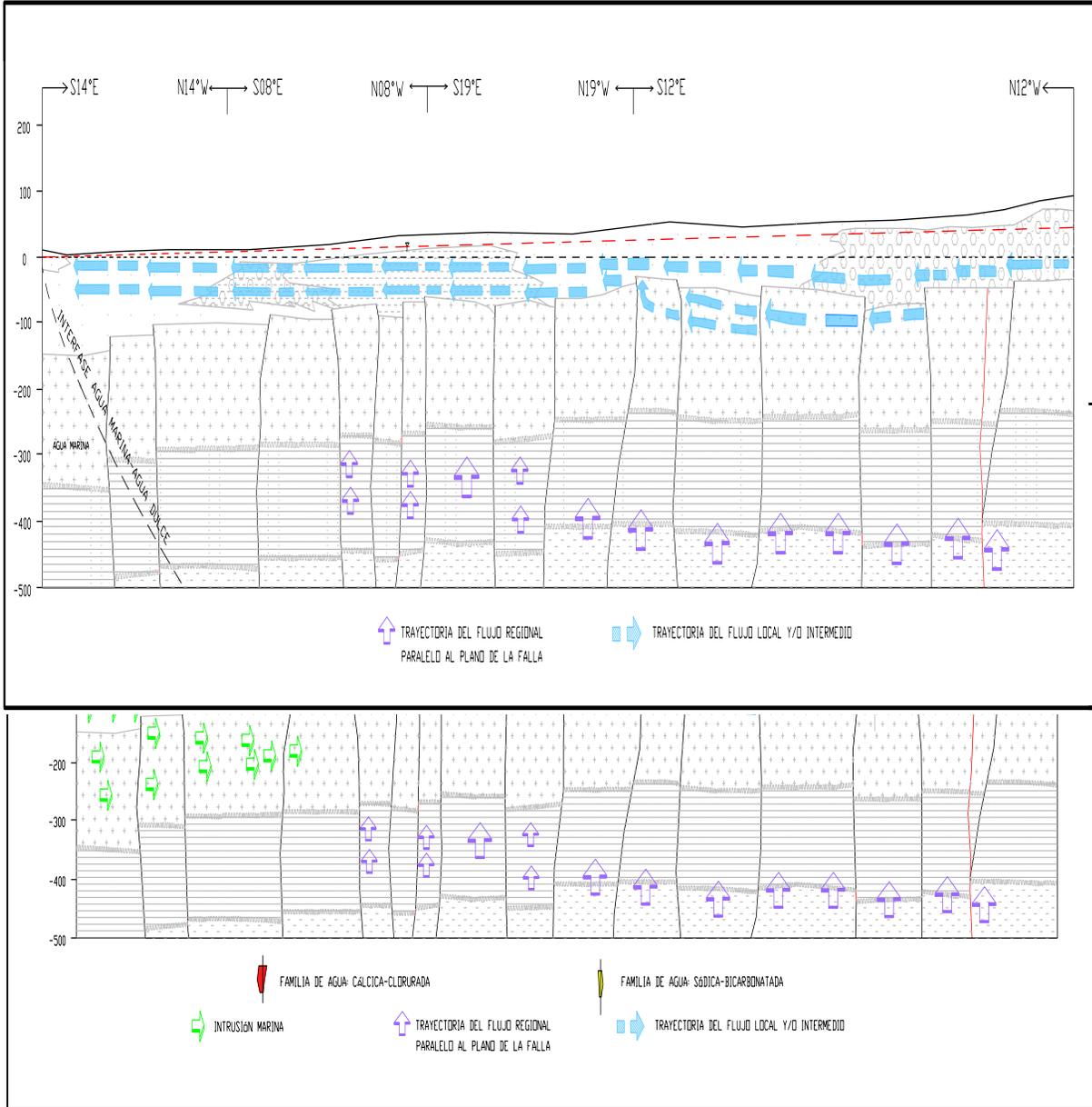
Dentro de un sistema de flujo regional el área de recarga se ubica dentro del parteaguas de la cuenca, y la zona de descarga en el sector de mayor profundidad de la misma, Tóth (1963). Por lo tanto, las zonas de recarga se asocian a los altos topográficos de la región, en tanto que los valles corresponden a las zonas de descarga, siempre y cuando las características geológicas del terreno resulten apropiadas para las trayectorias de los diferentes sistemas de flujo.

En el caso particular del acuífero de La Paz el flujo regional llega a descargar en la zona del valle dentro del medio poroso, debido tanto al factor litológico como al factor estructural, en donde este último gobierna las trayectorias de este sistema.

De acuerdo con las secciones de resistividad hechas por CIGSA en el 2001, las trayectorias que probablemente seguirían los flujos regionales se encuentran gobernadas por el patrón de fallas, y los intervalos permeables dentro de las formaciones sedimentarias, así como en los cuerpos volcánicos.



FIGURA 1.37 ESQUEMA DE FLUJO SUBTERRANEO EN EL ACUÍFERO (Continuación)



Fuente: CONAGUA-CIGSA Acuífero La Paz, 2001

Para este acuífero se consideró que la trayectoria de los flujos regionales se profundiza, debido a que se intercepta con las zonas de baja permeabilidad dentro de la zona de afectación de la falla, y por lo tanto se produce su infiltración a niveles más profundos que es donde atraviesa el plano de la falla hacia el bloque adyacente, dando como resultado que los cuerpos permeables saturados queden confinados en las areniscas de la Formación San Isidro bajo los cuerpos volcánicos de la Formación Comondú (CIGSA 2001).



Sistemas de flujo intermedio y local

El movimiento del agua subterránea dentro del valle de La Paz, así como su distribución espacial se encuentra controlado en el medio granular, por la distribución de zonas permeables de las diferentes facies de abanicos aluviales, en tanto que en el medio fracturado, su trayectoria estará supeditada al patrón de fracturas y fallas de la secuencia sedimentaria y de los cuerpos de rocas volcánicas, así como de la configuración de los bajos estructurales.

Para diferenciar el flujo intermedio del local no se tiene una base hidrogeoquímica lo suficientemente completa que permita hacerlo, por lo cual se estima que en el acuífero del valle de La Paz las aguas subterráneas asociadas con un sistema de flujo intermedio se integran al medio poroso en la zona del valle específicamente en los niveles inferiores del acuífero, mezclándose con las aguas que circulan en la componente horizontal y que descargan hacia el mar.

Bajo esta perspectiva y de acuerdo a su ubicación dentro del valle se establece que las zonas del medio granular corresponden con los sitios en donde se manifiestan las trayectorias de los flujos en la componente horizontal; sin embargo, la diferenciación hidrogeoquímica del flujo intermedio con el local, no se encuentra bien definida debido a la influencia del agua marina que modifica la composición que pudiera lograrse en la trayectoria de flujo.

Por tanto, se puede concluir que la explotación del acuífero del medio poroso se tiene que restringir en la medida de lo posible para evitar que siga avanzando la intrusión salina, así como buscar nuevas formas de aprovechamiento y mitigación tal y como se analiza en el presente estudio, caso concreto: desalación.



METODOLOGÍA



Modelo de flujo hidrodinámico y transporte de solutos

El modelo de un acuífero es el procedimiento analógico, matemático o analítico que permite realizar la simulación del comportamiento de un acuífero. Un modelo es tanto más representativo del sistema real, cuando es capaz de reproducir más fielmente su comportamiento.

La predicción y simulación del funcionamiento hidrodinámico de un sistema de aguas subterráneas implica la construcción y operación de un modelo que supone el comportamiento dinámico del acuífero. El buen desarrollo de un modelo depende en gran medida del conocimiento conceptual que se tenga del sistema, según la calidad de la información, los modelos son una poderosa herramienta de manejo.

Para lograr desarrollar un modelo hay que escoger un conjunto de ecuaciones que, sujetas a ciertas suposiciones, puedan describir el proceso activo del acuífero. Para el caso específico de la intrusión marina, a saber, es un problema de transporte de flujo y masa en un medio saturado de densidad variable.

Para el presente trabajo el código numérico utilizado fue el Finite Element Subsurface Flow & Transport Simulation System (FEFLOW), versión 5.4x, desarrollado por el Institute for Water Resources Planning and Systems Research (WASY GmbH), que forma parte del Grupo DHI. FEFLOW es un software para modelar el flujo subterráneo y transporte de constituyentes disueltos o procesos de transporte de calor en el subsuelo.

Las ecuaciones que resuelve son: la ecuación de flujo, ecuación de transporte de calor y la ecuación de transporte de solutos a través de elemento finito. Estas tres ecuaciones están ligadas a partir de la dependencia de transporte advectivo en el campo intersticial de la velocidad del fluido, la dependencia de la viscosidad del fluido de la temperatura y de la concentración de soluto, y la dependencia de la densidad de fluido de la presión, temperatura y la concentración del soluto.

La solución numérica que se obtiene para cada variable dependiente es en términos de: temperatura, presión, concentración de soluto, para lo cual se usan diferentes ecuaciones. Las ecuaciones se resuelven por el método del elemento finito, mediante una discretización temporal y espacial.

Cuando se imponen límites apropiados, condiciones iniciales y distribución de parámetros hidrodinámicos, la simulación permite cambiar las condiciones de esfuerzo para evaluar una amplia variedad de situaciones de transporte de calor y solutos.



Ecuaciones

Ecuación de flujo

En esta ecuación se considera que el medio poroso del agua subterránea está completamente saturado.

El flujo del agua subterránea se describe por la Ley de Darcy, el medio poroso es compresible, el fluido es compresible, la porosidad y la permeabilidad son funciones espaciales, la viscosidad del fluido es función de espacio y tiempo y depende de la temperatura y de la concentración del soluto.

La ecuación de flujo está basada en la conservación de la masa del fluido sustituyendo con la ecuación de Darcy para flujo en medios porosos se tiene:

$$\frac{\partial(\varepsilon\rho)}{\partial t} = \nabla^* \rho \frac{k}{\mu} (\nabla p + \rho g) + q\rho^*$$

p: presión del fluido (Pa)

t: tiempo (s)

ε : porosidad efectiva

ρ : densidad del fluido (kg/m³)

ρ^* : densidad del fluido en una fuente de masa (kg/m³)

k: permeabilidad (m²)

μ : viscosidad del fluido (kg/m-s)

g: gravedad (m/s²)

q: intensidad de flujo de masa de fluido desde una fuente (m³/m³-s)

Ecuación de transporte de calor

Esta ecuación se basada en que la energía cinética del fluido es despreciable, la dispersividad termal del transporte toma lugar con un mecanismo análogo al transporte dispersivo del soluto, la conducción termal ocurre a través del fluido y del medio poroso en paralelo, el efecto termal por reacciones químicas es despreciable, la conductividad termal no está en función de la temperatura ni de la concentración del soluto, la transferencia de energía por radiación es despreciable, la velocidad relativa del medio poroso durante la compresión o expansión es despreciable.

La ecuación de energía está basada en la conservación de entalpía en el fluido y sólido del medio poroso. La entalpía es una propiedad derivada conteniendo ambos la energía interna y flujo de energía. La temperatura es la variable dependiente.



$$\frac{\partial}{\partial t} (\varepsilon \rho c_f + (1 - \varepsilon) \rho_s C_s) T = \nabla^* (\varepsilon K_f + (1 - \varepsilon) K_s) I \nabla T + \nabla^* \varepsilon D_H \nabla T - \nabla^* \varepsilon \rho c_f v T + q_H + q \rho^* c_f T^*$$

T: temperatura del medio poroso y del fluido (°C)

T*: temperatura del fluido en la fuente (°C)

ρ_s : densidad de la fase sólida (kg/m³)

c_f : capacidad calorífica de la fase fluida a presión constante (J/kg-°C)

c_s : capacidad calorífica de la fase sólida a presión constante (J/kg-°C)

k_f : conductividad termal de la fase fluida (W/m-°C)

k_s : conductividad termal de la fase sólida (W/m-°C)

D_H : dispersión termomecánica (W/m-°C)

q_H : intensidad de calor desde la fuente (W/m³)

I = matriz de identidad de rango

Ecuación de transporte de soluto

La ecuación para conservación de un soluto se basa en que la difusión termal es despreciable, la difusión de presión es despreciable, el transporte de soluto a nivel local, intersticial, fluctuaciones en el campo de velocidad y mezclado en poros se describe por un coeficiente de dispersión hidrodinámico, la difusión forzada por componentes gravitacional, eléctrico y otros campos es despreciable, el mecanismo de reacción únicamente es decaimiento lineal o desaparición de soluto.

La ecuación que describe la conservación de soluto en la fase fluida:

$$\frac{\partial(\varepsilon \rho w)}{\partial t} = \nabla^* \varepsilon \rho D_s \nabla w + \nabla^* \varepsilon \rho D_m I \nabla w - \nabla^* \varepsilon \rho v w - \lambda \varepsilon \rho w - \rho_b R_{fs} + q \rho^* w^*$$

w: concentración de soluto en la fase fluida

w*: concentración de soluto en la fuente del fluido

D_s : coeficiente de dispersión mecánica (m²/s)

D_m : difusividad efectiva – molecular del soluto (m²/s)

λ : decaimiento lineal constante (s-1)

R_{fs} : transferencia de soluto de la fase sólida a la del fluido por unidad de masa de la fase sólida (kg soluto / (s kg) fase sólida)

ρ_b : densidad del medio poroso (kg/m³)

La ecuación que describe la conservación de soluto en la fase sólida:



$$\partial(\rho_b \bar{w}) = \rho_b R_{fs} - \lambda \rho_b \bar{w}$$

w: concentración de soluto en la fase sólida.

Combinando las ecuaciones de fase sólida y del fluido, se obtiene la ecuación final de conservación de soluto:

$$\partial(\varepsilon + \rho_b K_d) \rho w = \nabla^* \varepsilon \rho (D_s + D_m I) \nabla w - \nabla^* \varepsilon \rho v w - \lambda (\varepsilon + \rho_b K_d) \rho w + q \rho^* w^*$$

K_d : coeficiente de distribución

Formulación física del modelo

Geometría del sistema acuífero

Para llevar a cabo la aplicación del modelo de elemento finito FEFLOW a la resolución de las ecuaciones antes mencionadas, se adecuaron las condiciones locales de la zona de La Paz B.C.S. montando una malla de 25.5 km de ancho por 40 km de largo, para una profundidad de estudio de 526m (FIGURA 2.1).

La malla está compuesta por prismas triangulares de 6 nodos, y cuenta con 570648 elementos, y 313495 nodos. La discretización en la vertical es de 13 capas de espesores de 50m exceptuando la primera capa cuyo espesor es variable en función de la topografía de la zona (TABLA 2.1). Lo anterior se hizo para evitar oscilaciones en el método numérico. Las áreas de los elementos son variables, y en promedio cada lado de los triángulos tiene 200 m de longitud. En las zonas vecinas a los pozos se hizo un refinamiento de hasta 50 m por lado en la malla triangular.

De acuerdo con el modelo conceptual, el flujo del agua subterránea puede tener lugar tanto en el material de relleno, como en las rocas volcánicas que lo limitan lateralmente debido al fracturamiento de las mismas. A continuación se muestra la ubicación de la malla de elemento finito.



FIGURA 2.1 MALLA DE ELEMENTO FINITO

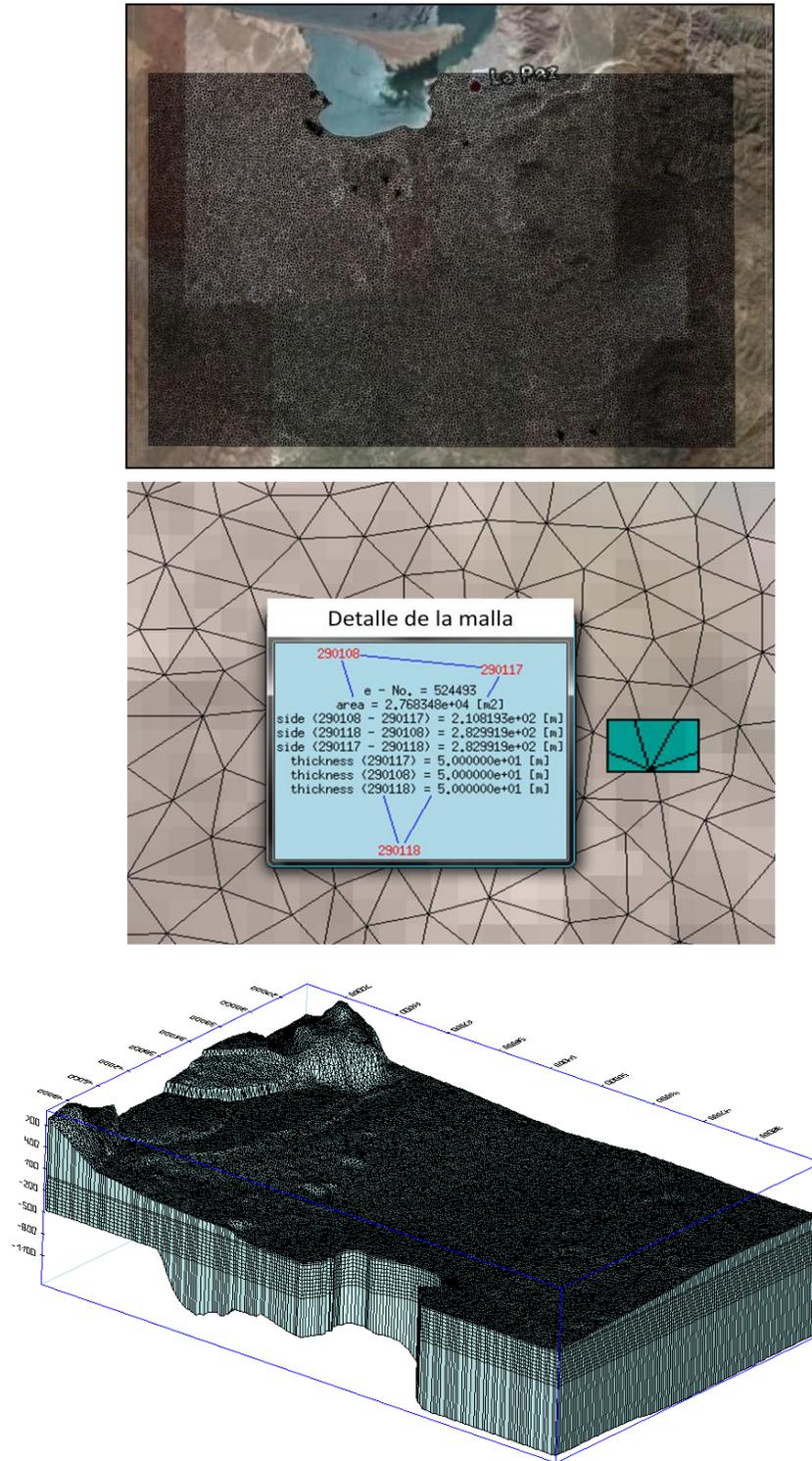


TABLA 2.1 PROFUNDIDAD DE LAS CAPAS NUMÉRICAS

CAPA	z (m)
1	-
2	0
3	-26
4	-76
5	-126
6	-176
7	-226
8	-276
9	-326
10	-376
11	-426
12	-476
13	-526

Discretización temporal

El modelo para el estado transitorio se calibró tomando como condiciones iniciales las arrojadas por la calibración del modelo en estado estacionario y se corrió hasta alcanzar las condiciones del 2008 que son los datos más recientes con los que se contaban en su momento; corroborando estas con los datos de campo históricos y con los resultados de visitas a campo.

Una vez ya calibrado se procedió a realizar la simulación del funcionamiento del acuífero si se le instalara una planta desaladora para diferentes escenarios durante 20 años de operación de la misma.

Distribución espacial de los materiales

La distribución espacial de los materiales juega un papel de gran importancia en el desarrollo de un modelo, debido a que es en función de ésta que se asignan los parámetros físicos de un acuífero y que lo han de representar en el proceso de simulación. Gran parte de la información utilizada para realizar las configuraciones de los materiales estratigráfica se tomó del Estudio de caracterización y modelación de la intrusión marina en el acuífero de La Paz hecho por CIGSA, 2001.

Las configuraciones de la distribución de los materiales se hicieron capa por capa tomando en cuenta los siguientes elementos:



Geofísica

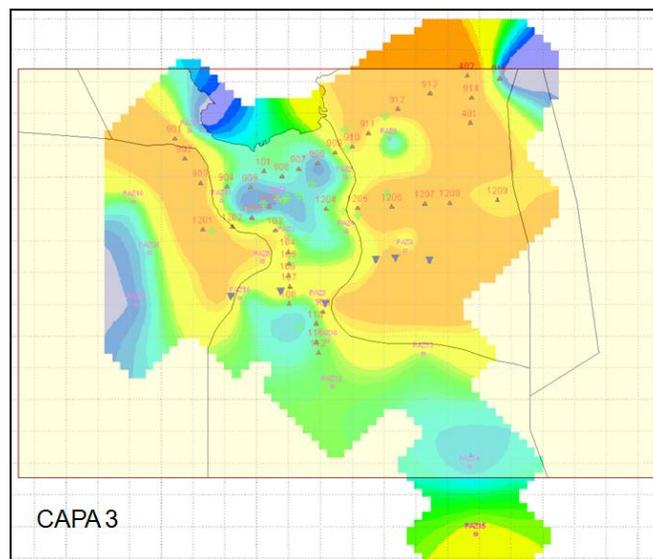
Con base en la información geofísica disponible, se elaboraron nuevos mapas de resistividad adaptándola a las profundidades de interés para el presente estudio, mismas que se muestran en la TABLA 2.2

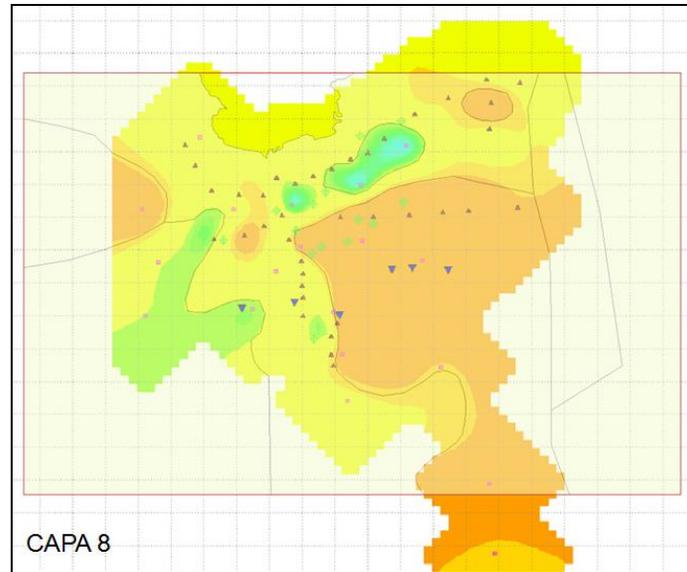
TABLA 2.2 PROFUNDIDAD A LA QUE SE ELABORARON LOS NUEVOS MAPAS DE RESISTIVIDAD

CAPA NUMÉRICA	PROFUNDIDAD (M)
3	26
4	76
5	126
6	176
7	226
8	276
9	326
10	376
11	426
12	476
13	526

Así se tiene que para cada caso se superpuso la información geofísica y se trazaron los polígonos que habrían de dar la configuración de la capa en cuestión (FIGURA 2.2).

FIGURA 2.2 MAPAS DE RESISTIVIDAD CAPA 3 (-26msnm) Y CAPA 8 (-276msnm)

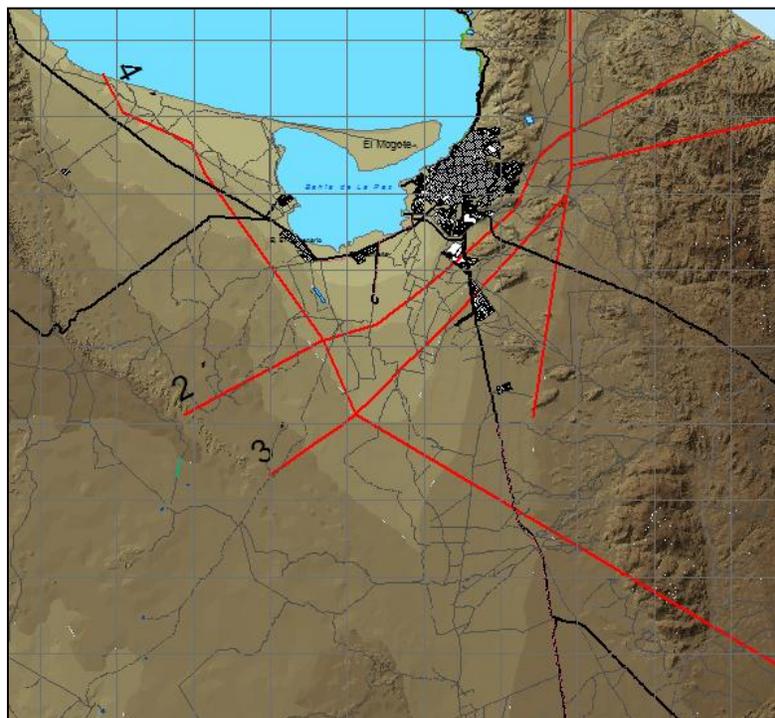




Secciones geológicas

Posteriormente, para hacer una identificación más refinada de la formación que se representa con los mapas de resistividad geofísica, se tomaron en cuenta las secciones geológicas mostradas en la FIGURA 2.3.

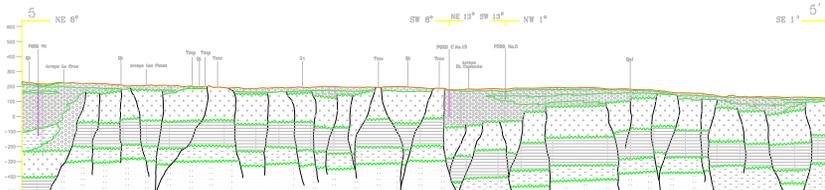
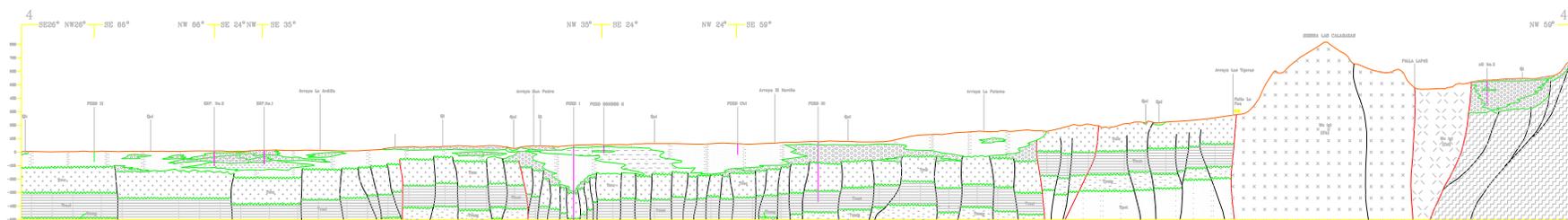
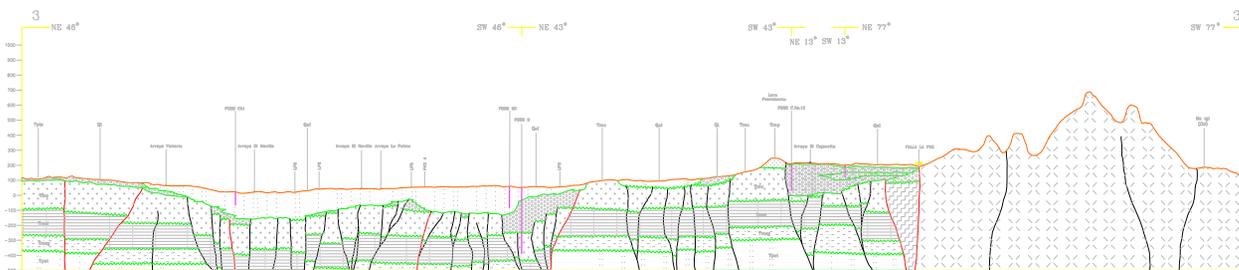
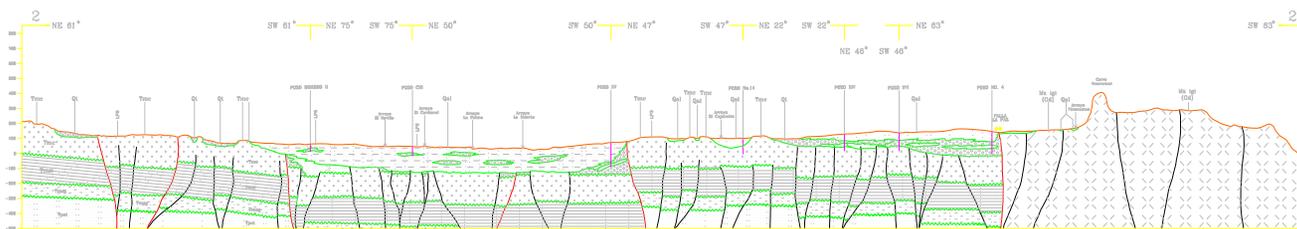
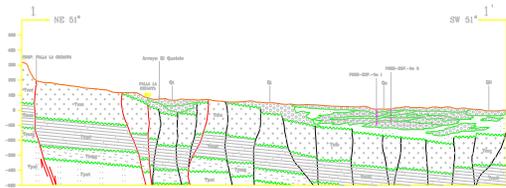
FIGURA 2.3 SECCIONES GEOLÓGICAS



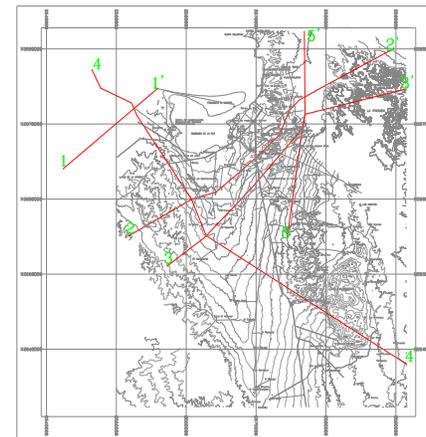
Fuente: CONAGUA-CIGSA Acuífero La Paz 2001, Adecuación Instituto de Ingeniería UNAM.



SECCIONES GEOLOGICAS



CROQUIS DE LOCALIZACION



EXPLICACION

- PERFIL
 - POZO
 - CONTACTO
 - FALLA
-
- Diques
 - Diques y arenitas
 - Diques, arenitas y arcillas
 - Arenas y arcillas
- Depositos recientes
- Tipo - Formación Salada, Arcillosa ligamentada con capas de cenizas, limonita y lentejas de conglomerado volcánico
 - Tipo - Lava Provedencia, Diques de lava
 - Tipo - Formación Casaca, Arcillosa con detritus volcánicos, lentes de conglomerado arcilloso, limonita y cenizas
 - Tipo - Formación Bas lavica, Interstratificación de lavas y arenitas con algunos estratos de cenizas y lentejas de conglomerado
 - Tipo - Formación Bas Gregorio, Interstratificación de arenitas y lavas con algunos lentes de conglomerado
 - Tipo - Formación Tepetate, Secuencia de arenitas y lavas
 - Migmat. - Gneissolita
 - Mgsl. - Gneis
 - Migmat. - Secuencia metamórfica

ESCALA VERTICAL 1:10,000



ESCALA HORIZONTAL 1:50,000

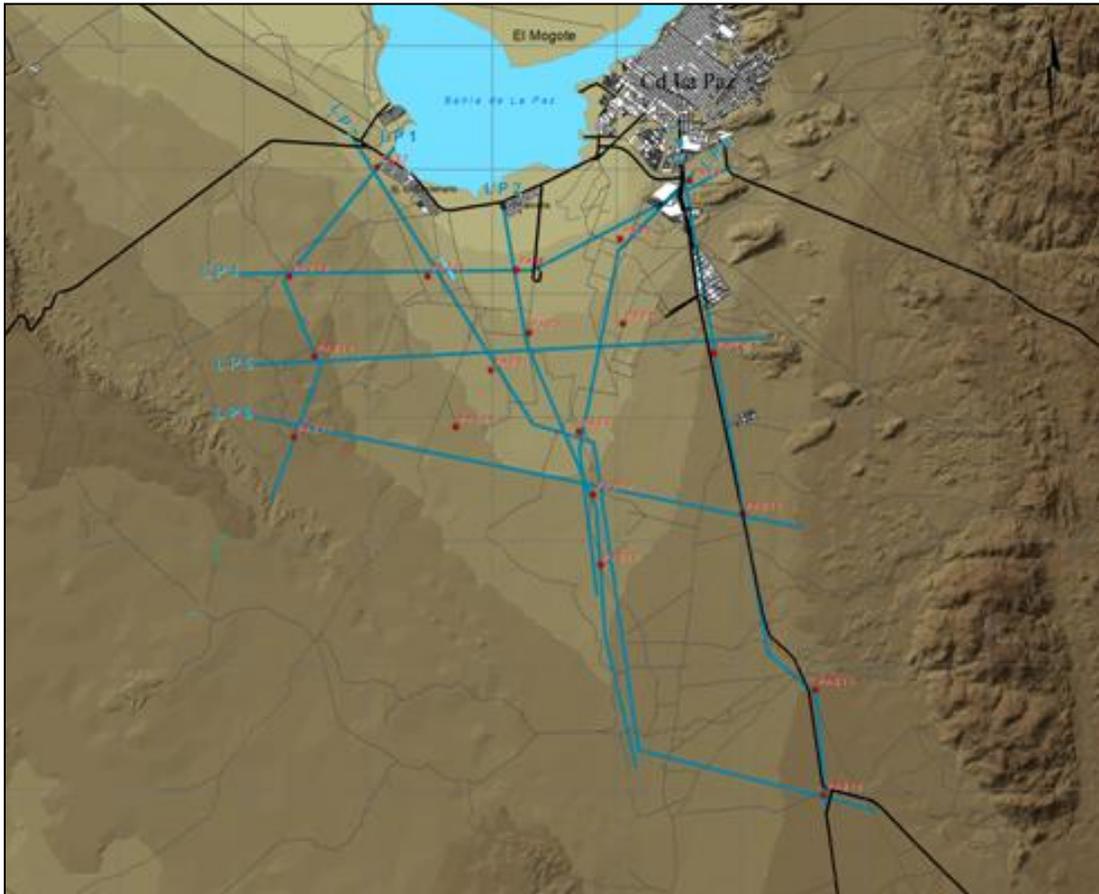


Perfiles geoelectricos

Otra fuente de información importante fueron los perfiles geoelectricos realizados para la CONAGUA en el 2001 a través de un análisis comparativo entre dos técnicas geofísicas: sondeo por transitorio electromagnético (TEM) y sondeos eléctricos verticales (SEV). La técnica del TEM consistió en utilizar una espira constituida por un cable en forma de cuadro con dimensiones de 100x100m, con el arreglo denominado “loop coincidente” con una resistencia de 2.6 ohms en el circuito. Lo anterior para alcanzar una profundidad de investigación de 500m.

Se llevaron a cabo 19 sitios en donde se aplicó TEMs cuyo objetivo fue conocer el comportamiento de los materiales geológicos hasta una profundidad promedio de 500m y definir zonas afectadas por la intrusión salina. A partir de estos 19 sitios se integraron 8 perfiles geoelectricos (FIGURA 2.4).

FIGURA 2.4 DISTRIBUCIÓN DE PERFILES GEOELÉCTRICOS REALIZADOS 2001 POR CIGSA.



Fuente: CONAGUA 2001, Estudio de caracterización y modelación de la intrusión marina en el acuífero de La Paz, B.C.S. (CIGSA 2001). Adecuación instituto de ingeniería UNAM



Los resultados de dicho estudio que caben destacar fueron los siguientes:
La distribución de resistividades obtenidas se puede clasificar en 3 unidades geoelectricas con algunas subdivisiones (TABLA 2.3).

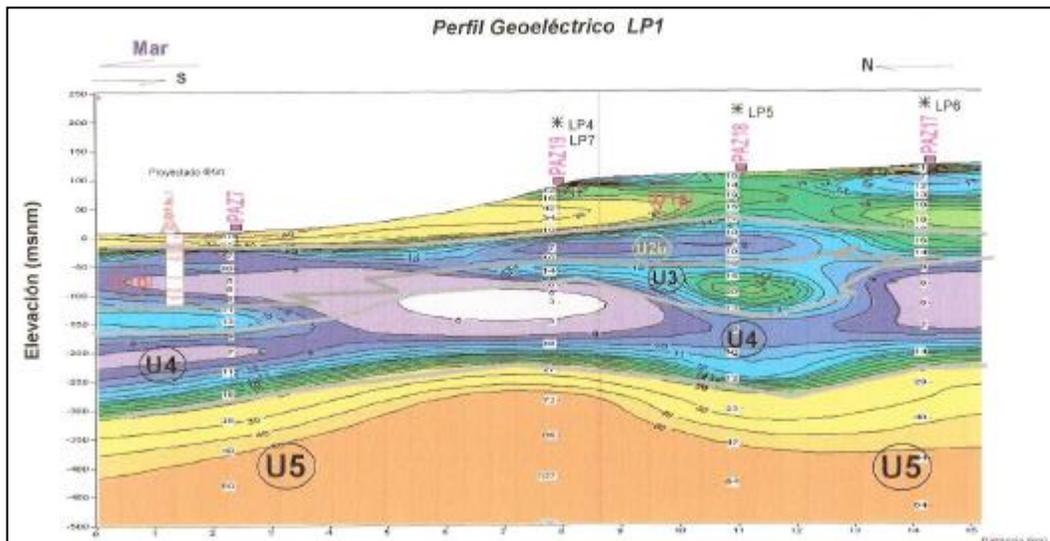
TABLA 2.3 ZONIFICACIÓN GEORESISTIVA

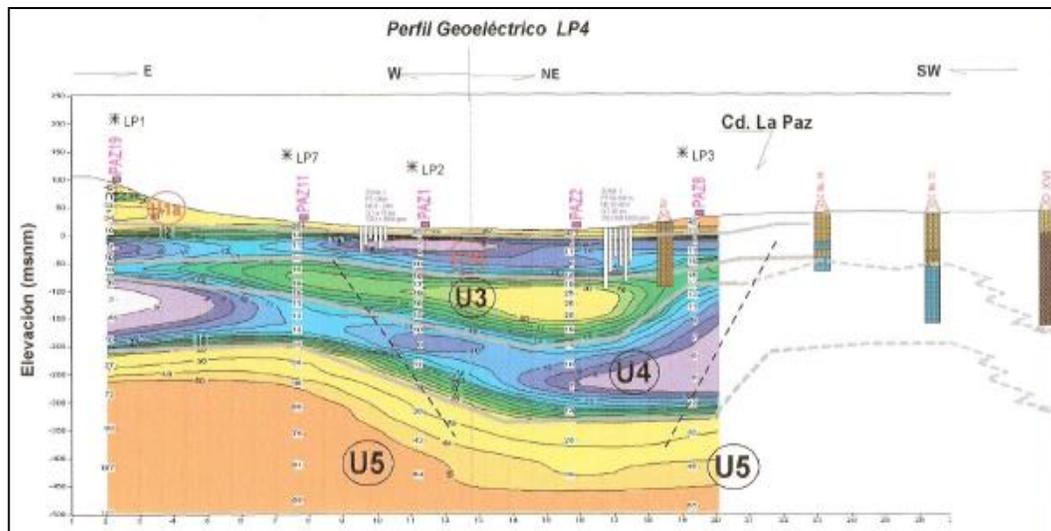
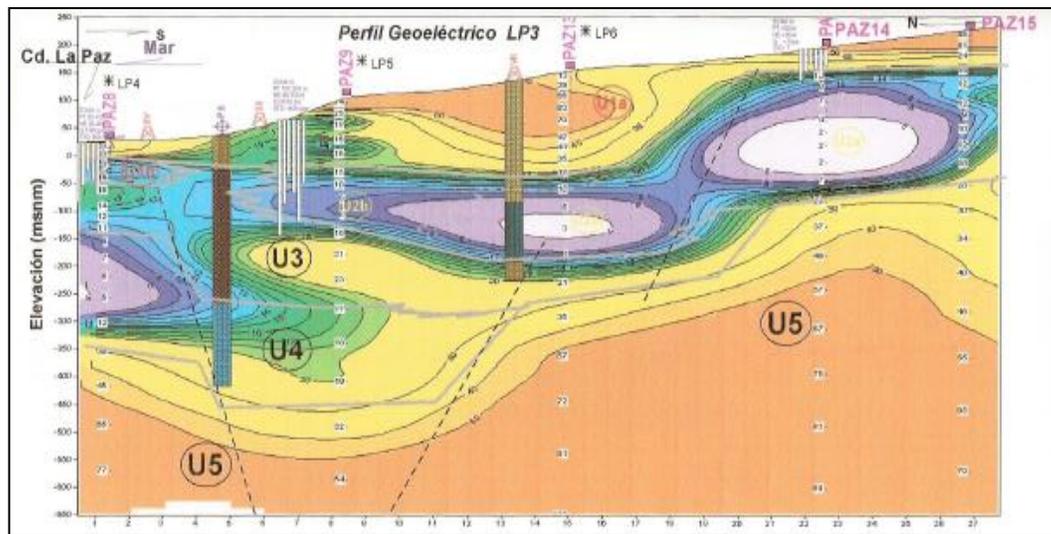
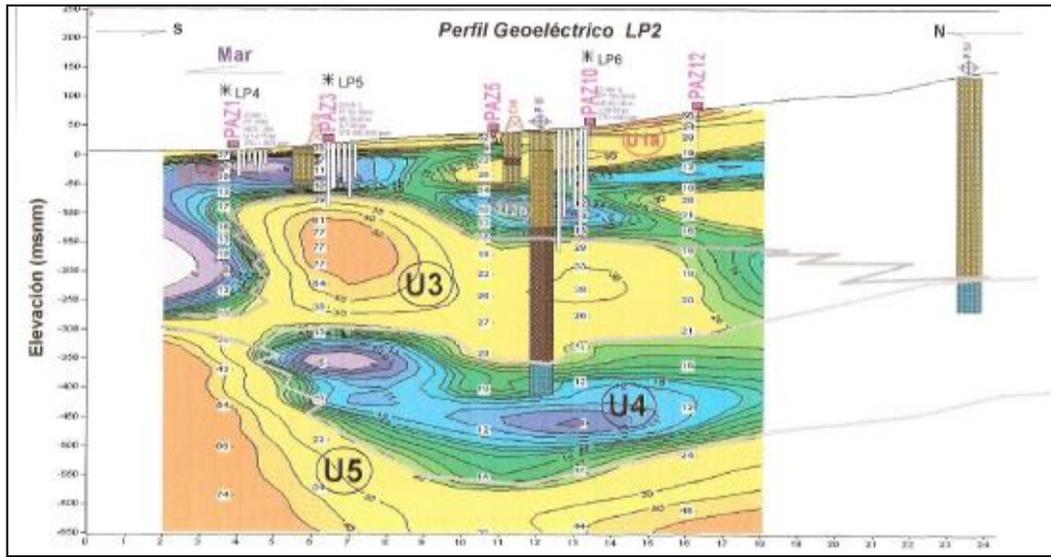
UNIDAD GEOELECTRICA	INTERVALO RESISTIVO [ohm-m]	POSIBLE CORRELACION
U1a	Mayor de 10	Capa de cobertura; suelo, arenas secas y/o roca alterada
U1b	Menor de 10	Materiales granulares finos a medios saturados de agua con influencia marina.
U2a	2 a 8	Materiales granulares finos a medios (posiblemente con agua salobre)
U2b	8 a 20	Materiales granulares medios a gruesos saturados (Permeables con agua dulce a salobre)
U3	15 a 50	Materiales Gruesos (Aglomerados, arenas y boleos riolíticos) empacados en material arcilloso (permeabilidad baja)
U4	3 a 20	Materiales areno-arcillosos y Tobas areno arcillosas (Permeabilidad media)
U5	20 a 100	Rocas igneas (riolita) y arenas de origen volcánico muy compactas (Permeabilidad baja)

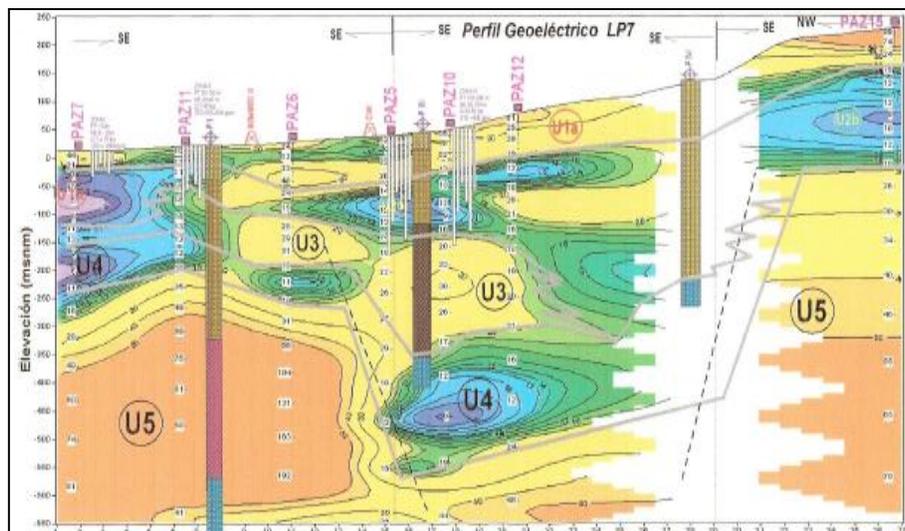
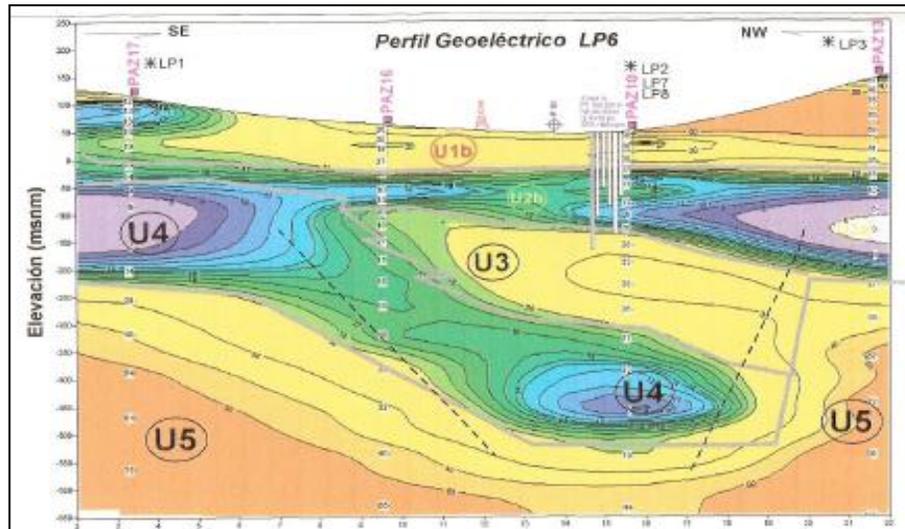
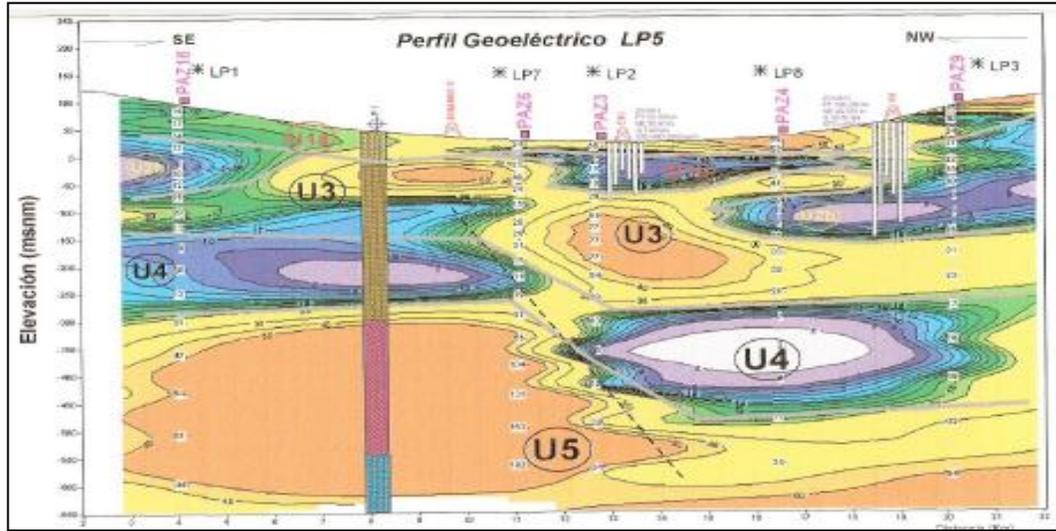
Fuente: CONAGUA 2001, Estudio de caracterización y modelación de la intrusión marina en el acuífero de La Paz, B.C.S. (CIGSA 2001).

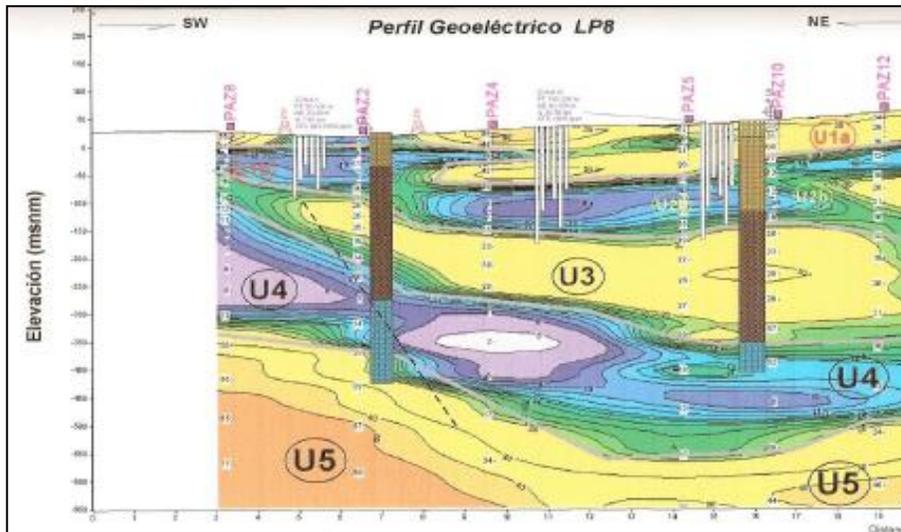
De las 8 secciones realizadas a partir de los perfiles geoelectricos que elaboró CIGSA, EL LP1, LP2, LP3 son perpendiculares al valle de La Paz, mientras que las LPA4, LP5 y LP6 son paralelas a la línea de costa, y en sentido diagonal, las LP7 y LP8 (FIGURA 2.5).

FIGURA 2.5 PERFILES GEOELÉCTRICOS, CIGSA 2001







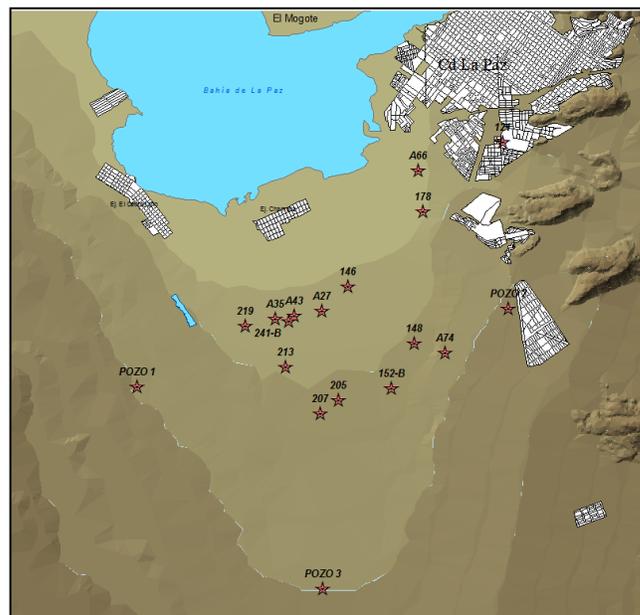


Fuente: CONAGUA 2001, ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN Y MODELACIÓN DE LA INTRUSIÓN MARINA EN EL ACUÍFERO DE LA PAZ, B.C.S. (CIGSA 2001).

Pruebas de bombeo

Finalmente, las pruebas de bombeo que se realizaron en el 2001 contienen información de la columna estratigráfica de algunos de los pozos del valle y fueron utilizadas como un complemento a lo anterior (FIGURA 2.6).

FIGURA 2.6 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA OBTENIDA A PARTIR DE POZOS A LOS QUE SE LES REALIZARON PRUEBAS DE BOMBEO



Condiciones iniciales de flujo y masa

Las condiciones iniciales de las cargas hidráulicas en su estado natural (antes de la explotación del acuífero) debió haber sido de las sierras y zonas de recarga hacia la bahía. Por tal motivo se creó un archivo representativo de una configuración de cargas hidráulicas de 22m a 0 m.s.n.m.m. hacia la bahía. Posteriormente se realizó una extrapolación a través del método de Kriging para el resto de la zona de estudio y así poder correr inicialmente el modelo en estado estacionario.

Las condiciones iniciales para el módulo de masa fueron de 0 mg/l en toda la zona del modelo excepto en la frontera de la bahía; en cuyo caso la concentración de STD se consideró de 35,000 mg/l.

Para el caso de estado transitorio se tomaron como condiciones de iniciales las variables de salida del modelo en estado estacionario y se corrió hasta alcanzar las condiciones al 2008; corroborando estas con los datos de campo históricos (monitoreos de piezometría proporcionados por la CONAGUA hasta el 2008, véase Capítulo 1 Generalidades) y con los resultados de las visitas a campo realizadas para la elaboración del presente estudio (Configuración de STD 2009, véase Anexo 1).

Condiciones iniciales de frontera

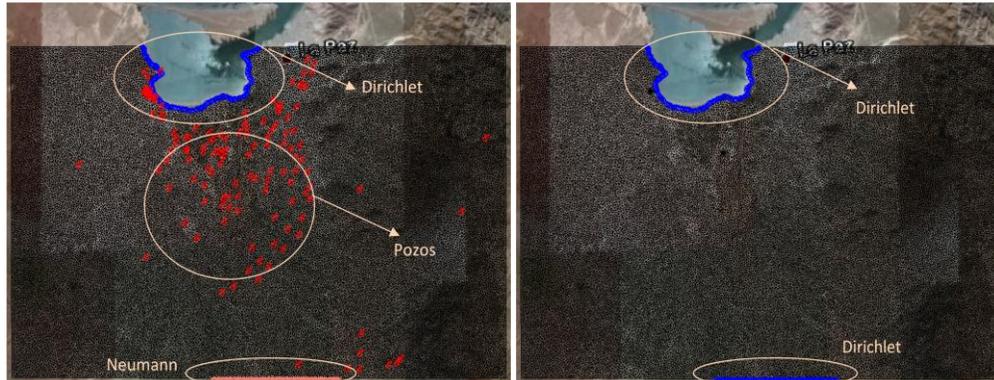
Tres condiciones de frontera prevalecieron para el caso de flujo, y estas fueron de tipo Dirichlet (carga hidráulica equivalente constante) en la zona de la bahía (TABLA 2.4), de Neumann para representar flujo subterráneo ingresando al área de estudio por el Carrizal y los pozos de extracción (FIGURA 2.8).

TABLA 2.4 CONDICIÓN DE FRONTERA DE TIPO DIRICHLET

CAPA	z (m)	P (kPa)	h equivalente
1	-	-	-
2	0	0	0
3	-26	-261.4365	0.65
4	-76	-764.199	1.9
5	-126	-1266.9615	3.15
6	-176	-1769.724	4.4
7	-226	-2272.4865	5.65
8	-276	-2775.249	6.9
9	-326	-3278.0115	8.15
10	-376	-3780.774	9.4
11	-426	-4283.5365	10.65
12	-476	-4786.299	11.9
13	-526	-5289.0615	13.15



FIGURA 2.8 CONDICIONES DE FRONTERA ASIGNADAS EN EL MODELO



Para masa se consideró la condición de primer tipo (Dirichlet) en la zona de la bahía y en la zona de entrada de flujo subterráneo con concentraciones de 38,000 mg/l y 0 mg/l respectivamente.

Recarga y descarga

En lo tocante a este punto, es en el que más discrepancias se han encontrado sin la posibilidad de distinguir cual es válido ya que en la mayoría de las fuentes consultadas se mencionan los datos de entradas, salidas, cambio en el almacenamiento, etc. pero se desconoce la metodología utilizada para calcularlos y en ocasiones, ni siquiera se menciona el área de la superficie en estudio. En la TABLA 2.5 Se observa una recopilación cronológica de los balances consultados.

Para el presente modelo se tomó en consideración la infiltración por precipitación, los retornos de riego y la recarga inducida de la zona agrícola, la recarga por flujo subterráneo, las fugas en el área urbana y el bombeo en la salida.

Con respecto a la entrada de agua subterránea que ocurre por el carrizal, se ha reportado que con el paso del tiempo se ha reducido a 1Mm³/año. De acuerdo con el estudio de “Estudio de Diagnóstico y Planeación Integral del Sistema de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de La Paz” hecho por FRO Ingenieros para el COTAS, reporta dicha entrada de 0.6 Mm³/año.

El mismo estudio reporta que aproximadamente las pérdidas físicas por fugas en las redes de agua potable es de aproximadamente 250lps.

La planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad intercambia agua residual con los agricultores del Centenario y de Chametla, quienes reciben junto con Paraíso del Mar



6Mm³/año. De acuerdo con el estudio antes mencionado alrededor de 2hm³/año se consideran como recarga inducida al acuífero, lo cual concuerda con el cálculo de retorno de riego por Proyectos Antares en diciembre de 1998 durante el periodo de 1994 a 1999.

TABLA 2.5 RESUMEN DE BALANCES DE AGUA SUBTERRÁNEA CONSULTADOS

AÑOS	PARAMETROS DEL ACUÍFERO								RECARGA	DESCARGA	BALANCE (Cambio almacenamiento)
	Entrada				Salida						
	Flujo subterráneo	Precipitación (Infiltración vertical)	Intrusión salina	Retorno por riego	Salida al mar	Evapotranspiración	Bombas uso agrícola (Bombar uso público)	Bombas uso público? (Bombar agrícola)			
1965-70	2.83	10.8?	8	0.7	1	0	26	8	22.33	35?	-12.67
1970-71	0.55	28.15	-	-	-	-	-	-	28.7	29.92	-1.22
1971-72	0.53	27.2	-	-	-	-	-	-	27.73	28.31	-0.58
1972-73	0.45	28.23	-	-	-	-	-	-	28.68	28	0.68
1973-74	0.37	26.71	-	-	-	-	-	-	27.08	28	-0.92
1974-75	0.65	25.07	-	-	-	-	-	-	25.72	26	-0.28
1975-76	0.62	27.23	-	-	-	-	-	-	28.85	29	-1.15
1976-77	0.54	29.38	-	-	-	-	-	-	29.92	29	0.92
1977-78	1.32	26	-	-	-	-	-	-	27.32	29	-1.68
1978-79	0.56	28.72	-	-	-	-	-	-	29.28	29	0.28
1979-80	0.62	20.3	-	-	-	-	-	-	20.92	21.96	-1.05
1980-81	0.85	30.04	-	-	-	-	-	-	30.89	30	0.88
1981-82	2.15	26.71	-	-	-	-	-	-	28.86	32	-3.14
1982-86	0.7	18.18	7	2	0	0	24	10	27.88	34?	-6.12
1987-98	0.5	18.06	7	2	0	0	24	10	27.56	34?	-6.44
1994-99	0	23.6	7	2	0	0	24	10	32.6	34?	-1.4?
2000	-	19.4	8.5	-	0	0	21.02	9.36	27.9	30.38	-2.48
2004	-	18.5	4.5	-	0	0	22.38	9.6	23	31.98	-8.98
2005	-	-	-	-	0	0	22.38	9.62	-	32	-
2008	-	-	-	-	0	0	17.92	7.7	-	25.62	-
VALOR MEDIO	0.83	24.02	7	1.68		0	22.71	9.29	27.51	29.85	-2.52
1965-70	2.83	8	10.8	0.7	1	0	26	8	22.33	35?	-12.67
1971-76	2	7	16.11	2	0	0	26	8	27.11	34	-6.89
1977-81	1	7	18.28	2	0	0	26	8	28.28	34	-5.72
1982-86	0.7	7	8.18	2	0	0	10	24	17.88	34	-16.12
1987-98	0.5	7	18.06	2	0	0	10	24	27.56	34	-6.44
1994-99	0	7	23.6	2	0	0	10	24	32.6	34	-1.4
VALOR MEDIO	1.17	7.16	15.84	1.78	0.2	0	18	16	25.96	34.16	-8.21

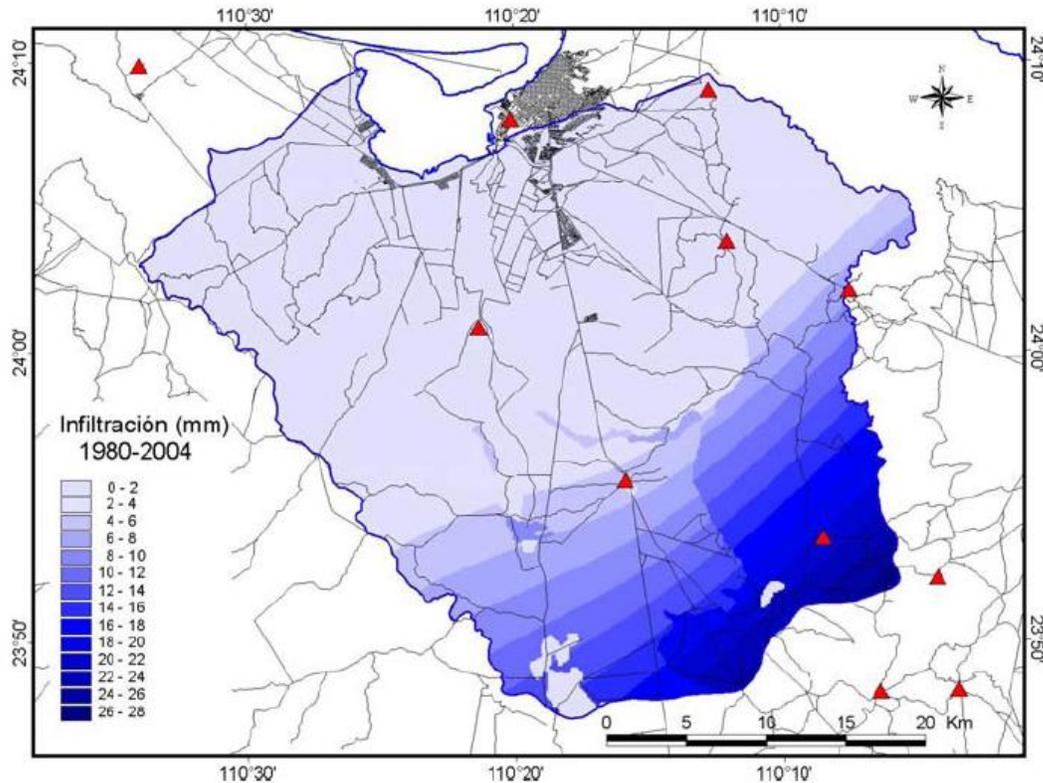
De la recarga natural al acuífero se consideraron principalmente dos fuentes, la primera es un modelo digital de infiltración calculado a partir de la precipitación, el escurrimiento superficial y la evapotranspiración. Sin embargo se considera sólo el tipo de distribución que tiene la recarga ya que este modelo considera una lámina promedio de 2.34mm/año;



lo cual discrepa de las otras fuentes que llegan a reportar hasta 20mm/año para zonas semidesérticas, como es el caso (FIGURA 2.9).

La segunda fuente fueron los datos del modelo hecho por CIGSA en donde se considera una lámina promedio de 14mm/año que equivale a una recarga de $12\text{hm}^3/\text{año}$, con todo y recarga inducida.

FIGURA 2.9 MODELO DE INFILTRACIÓN DE LA CUENCA DE LA PAZ



Fuente: Caracterización y diagnóstico del acuífero de La Paz, B.C.S. mediante estudios geofísicos y geohidrológicos, Cruz Falcón A. CICIMAR-IPN, 2007

Finalmente, respecto al bombeo se llevó a cabo una revisión y comparación de las bases de datos del REPDA (FIGURA 2.10), y el último censo de pozos completo que se tiene y que fue hecho por ADI S.A. de C.V. a finales de los noventa, dentro del marco del área modelo. Como algunos pozos quedaban fuera del área de estudio (FIGURA 2.11), se consideró la influencia de los pozos 10km a la redonda del área del modelo y se llegó a la conclusión que el censo de pozos de ADI en general representa el comportamiento del bombeo en el acuífero; que cabe mencionar, es actualmente y desde hace ya algunos años la única componente de salida en el balance y es de $33.8\text{hm}^3/\text{año}$ (TABLA 2.6).



FIGURA 2.10 DISTRIBUCIÓN DE POZOS EN EL ACUÍFERO DE LA PAZ, REPDA 2008

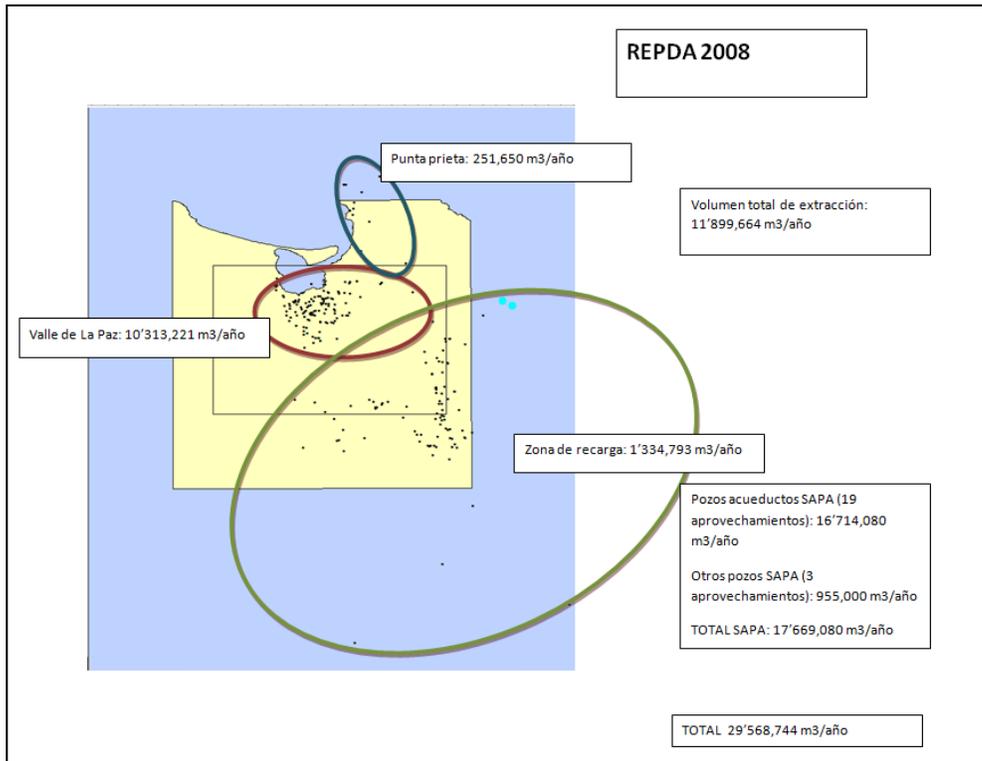


FIGURA 2.11 INFLUENCIA DE POZOS FUERA DEL ÁREA MODELO

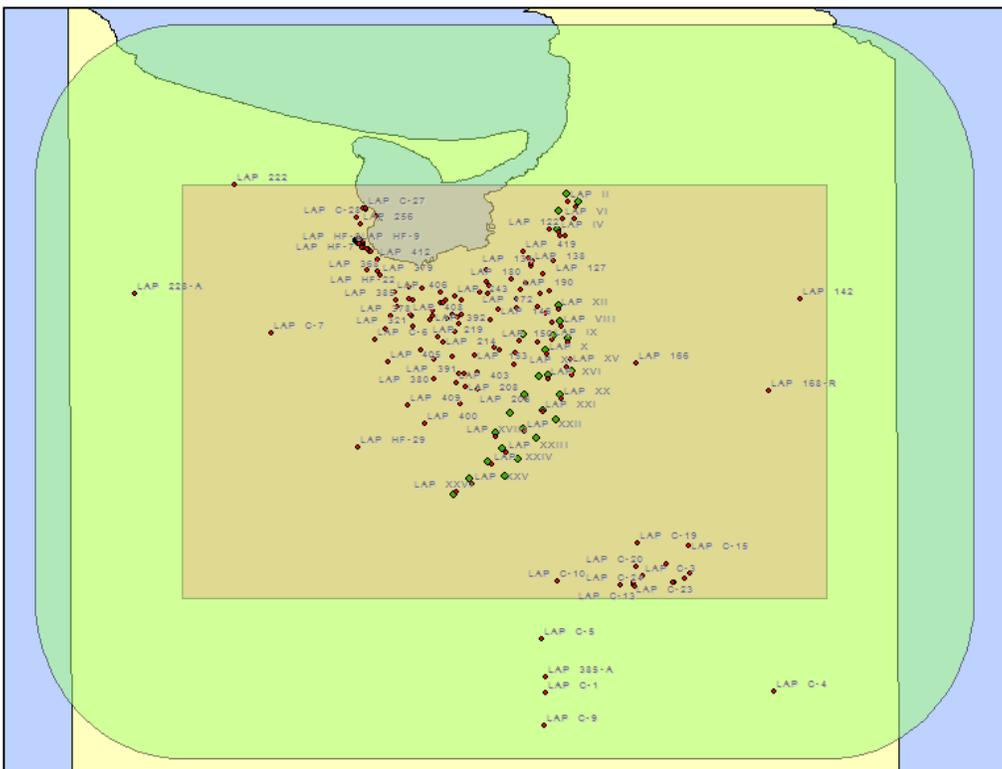


TABLA 2.6 POZOS ASIGNADOS EN EL MODELO

No de Pozo	X	Y	Prof. Tot (m)	Vol. Ext. (Mm ³ /año)
122	569804.82	2668021.91		0.05
127	570096.63	2666085.77		0.08
128	569851.58	2664239.26	52	0.03
130	569259.54	2664051.84	64	0.16
132	566038.42	2664528.65	28	0.05
134	568658.15	2665801.97	33	0.16
136	568380.99	2664724.22	54	0.1
137	568044.24	2664292.04	64	0.23
138	568797.83	2666110.2	200	0.22
141	567764.52	2663737.12	60	0.18
142	585441.26	2663708.98		0.21
143	569065.76	2663251.27		0.21
144	569076.47	2661036.97	130	0.36
146	566638.09	2663085.96	50	0.17
150	567974.61	2661123.95		0.06
151	567723.94	2660384.65		0.06
152	566734.73	2660533.77	70	0.21
153	566366.58	2660747.33	50	0.21
166	575212.02	2659714.72	130	0.21
172	565475.56	2664126.24	45	0.15
180	567419.87	2664965.68	32	0.04
190	568044.24	2664292.04	60	0.11
203	564185.32	2662213.59	60	0.06
204	564380.64	2662737.3	35	0.1
205	565182.94	2660188.3	70	0.15
206	565362.1	2658067.05	92	0.31
208	564626.7	2658278.99		0.12
209	564264.19	2657231.71		0.12
211	563933.37	2661720.39	35	0.05
214	563230.51	2661009.9	60	0.01
216	561792.33	2660511.54	38	0.01
220	562545.58	2662636.88	20	0.01
221	563449.74	2662517.85	70	0.1
225	561355.22	2663646.61		0.02
229	561128.81	2663768.66	18	0.02
236	563191.24	2663500.85	15	0.01



240	564042.61	2662551.25	16	0.02
241	563787.5	2662765.39	45	0.15
242	563388.08	2663686.25	30	0.15
243	563979.93	2663934.93	35	0.18
248	565328.8	2659174.07	60	0.15
252	563047.34	2664115.31	22	0.15
256	558060.56	2668369.01		0.08
289	561944.84	2664418.02	10	0.01
321	561218.13	2662692.63		0.01
326	560340.42	2663242.48	38	0.01
368	559145.17	2665482.55	18	0.03
378	559919.32	2662656.37	35	0.02
379	559287.35	2665237.1	30	0.06
380	562647.28	2658762.26	90	0.21
385	560310.36	2663672.91	26	0.01
391	562641.89	2659992.41	75	0.21
392	562572.33	2662975.29	72	0.21
400	562066.13	2655991.83	90	0.06
403	564060.8	2658491.73	60	0.04
405	559789.97	2659826.42	100	0.26
406	560195.47	2664133.74	35	0.01
408	561161.26	2662784.65	33	0.05
409	561044.36	2657094.59	90	0.13
412	559170.59	2666159.25	9	0.02
415	570822.7	2667688.63	80	0.16
416	571353.8	2668736.96	100	0.08
419	568202.32	2666660.93	50	0.02
422	568828.01	2651401.80	90	0.21
129-R	569394.88	2665251.95	50	0.21
135-A	568657.56	2665924.99	30	0.01
135-R	568543.01	2666262.74	50	0.04
145-R	567767.15	2663183.54	60	0.25
167-R	567614.32	2659676.77	100	0.25
168-R	583469.67	2658007.48	100	1.27
171-A	566012.46	2664036.45	50	0.21
181-R	566189.43	2662407.27	50	0.15
191-R	565895.97	2664804.78		0.07
197-A	565920.79	2665543.01	24	0.06
207-A	564171.17	2659076.56	45	0.03
207-R	564538.35	2659078.21	60	0.21



215-R	562918.23	2661377.58	70	0.15
217-R	561362.09	2662047.41	60	0.21
381-R	559583.67	2661886.1	60	0.11
384-R	559046.45	2668865.14	60	0.18
C-10	570278.78	2646219.07	80	0.01
C-13	575171.89	2645813.26	35	0.01
C-14	578250.85	2646321.77	20	0.02
C-16	578531.71	2646661.6	8	0.02
C-17	577573.34	2646133.56	20	0.02
C-19	575327.01	2648582	40	0.01
C-20	575250.27	2647043.86	40	0.01
C-21	569604.21	2662854.08		0.01
C-22	570002.56	2662240.92	76	0.01
C-24	574210.18	2645900.53	44	0.01
C-28	557804.65	2668829.29		0.01
C-29	564348.24	2663659.79	50	0.01
C-3	575648.79	2646523.12		0.04
C-30	570484.26	2667625.44	60	0.06
C-6	558937.09	2661176.07	80	0.02
C-7	552496.52	2661612.26		0.01
HF-1	557782.29	2667383.73	15	0.02
HF-12	557951.41	2667445.93		0.01
HF-13	558207.1	2667047.16		0.01
HF-18	558320.64	2666893.85		0.01
HF-19	558575.09	2666802.63		0.02
HF-2	557810.77	2667322.34	15	0.01
HF-21	558490.15	2666863.79	8	0.01
HF-22	558467.34	2665541.26		0.02
HF-23	558631.93	2666710.6		0.02
HF-29	557919.19	2654498.26		0.02
HF-3	557782.54	2667322.23		0.01
HF-30	558262.8	2667231.92		0.02
HF-31	558206.22	2667262.44		0.01
HF-32	558262.43	2667324.18		0.02
HF-33	564070.71	2662582.13		0.02
HF-35	558064.45	2667415.63		0.01
HF-36	558008.12	2667384.65		0.02
HF-37	557979.76	2667415.29		0.01
HF-38	557979.64	2667446.04		0.01
HF-39	557923.06	2667476.57		0.02



HF-4	557838.87	2667353.21		0.01
HF-40	557894.95	2667445.7		0.01
HF-41	558122.79	2666954.56		0.02
HF-41B	558716.87	2666649.45		0.02
HF-5	557895.45	2667322.68	10	0.01
HF-6	557923.93	2667261.29		0.01
HF-7	557924.06	2667230.54		0.01
HF-8	557895.95	2667199.67		0.01
HF-9	557980.89	2667138.5		0.01
II	570953.42	2669780.64	79	0.78
IV	570398.36	2667871.06	57	0.38
IX	570007.84	2661164.52	138	1.13
VI	570676.37	2668733.58	75	1.42
VII	571491.53	2669414.27	80	0.72
VIII	570568.56	2661997.67	90	0.98
X	569645.05	2660270.86	150	1.04
XI	570891.86	2659446.61	150	1.24
XII	570393.66	2663103.99	121	0.29
XIV	570940.41	2661046.11	156	0.4
XIX	571232.94	2659017.73	201	0.38
XV	571171.7	2659970.83	150	0.46
XVI	569737.13	2658764.32	145	1.19
XVII	568330.56	2657558.09	156	1.07
XVIII	566477.17	2655181.26	156	1.01
XX	570562.48	2657507.42	201	1.01
XXI	569380.07	2656671.26	201	1.39
XXIII	567131.74	2654169.42	201	0.49
XXII	568312.14	2655497.44	201	1.45
XXIV	566202.74	2653426.99	201	0.87
XXV	564993.15	2652222.03	201	1.62
XXVI	564062.68	2651756.53	201	0.72
6R	567018.882	2652742.15	200	0.60
4R	567848.293	2653758.06	200	0.63
2R	569011.707	2655096.73	200	1.01
19R	570260.562	2656182.36	200	0.85



Propiedades de los materiales

Parámetros como la conductividad hidráulica (k), el almacenamiento específico (S_s), la porosidad (n) y el coeficiente de almacenamiento (S) fueron asignados a través de secciones poligonales para cada material en cada una de las 13 capas en la escala vertical (FIGURA 2.7). Esta información se obtuvo a partir de las secciones geofísicas, interpretación de pruebas de bombeo y la literatura (TABLA 2.7).

TABLA 2.7 PARÁMETROS INICIALES DEL MODELO

Materiales	K_{xx} 1×10^{-4} (m/s)	K_{yy} 1×10^{-4} (m/s)	K_{zz} 1×10^{-4} (m/s)	S (1)	S_s 1×10^{-4} (1/m)	n
Grava	4.1	4.1	0.41	0.61	2.57	0.36
Arena	0.4	0.4	0.04	0.55	6.58	0.38
Formación Comondú	0.28	0.28	0.028	0.33	10.50	0.15
Formación San Isidro	0.1	0.1	0.01	0.53	5.30	0.15
Formación San Gregorio	0.0317	0.0317	0.00317	0.50	2.84	0.20
Formación Tepetate	0.019	0.019	0.0019	0.40	4.37	0.10
Falla	0.05	0.05	0.005	0.25	0.915	0.20
Gabro	0.0348	0.0348	0.00348	0.10	0.288	0.05

La dispersividad de los materiales se consideró con un valor de 30m longitudinalmente y de 15m transversalmente.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN



Calibración en régimen permanente

La condición de régimen permanente se refiere a la simulación del comportamiento del acuífero sin considerar cambios en el tiempo. El cálculo se realizó para la situación que se tenía antes de que existieran asentamientos humanos y una explotación a través de pozos;. En tales condiciones el acuífero tenía su componente de salida como una descarga hacia el mar.

Esta calibración se llevó a cabo a partir de introducir todos los parámetros y datos de campo al modelo de acuerdo a la geología que se presenta en la zona de estudio y a la geofísica realizada.

Los resultados se presentan en planta y a lo largo de la sección transversal que cruza por la parte central del valle (1-1' FIGURA 3.1). Cabe mencionar que el modelo arroja dos tipos de resultados: los de carga hidráulica en m y los de concentración en mg/l.

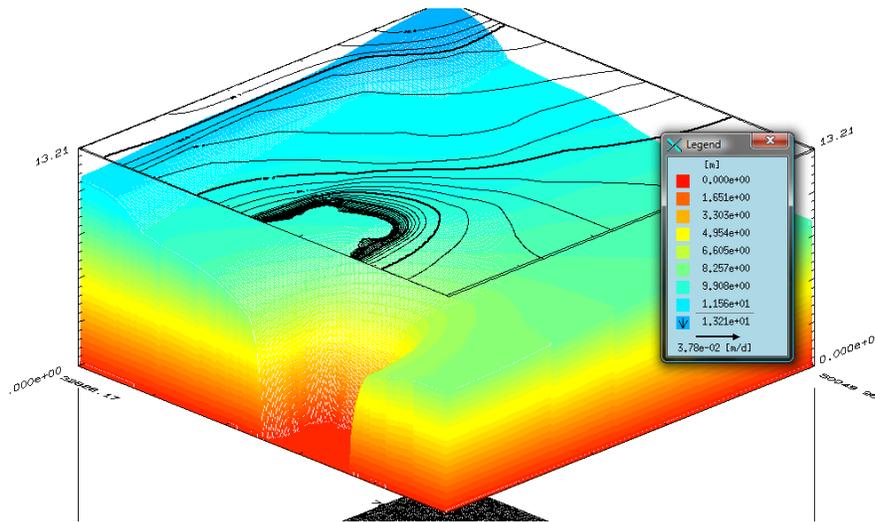
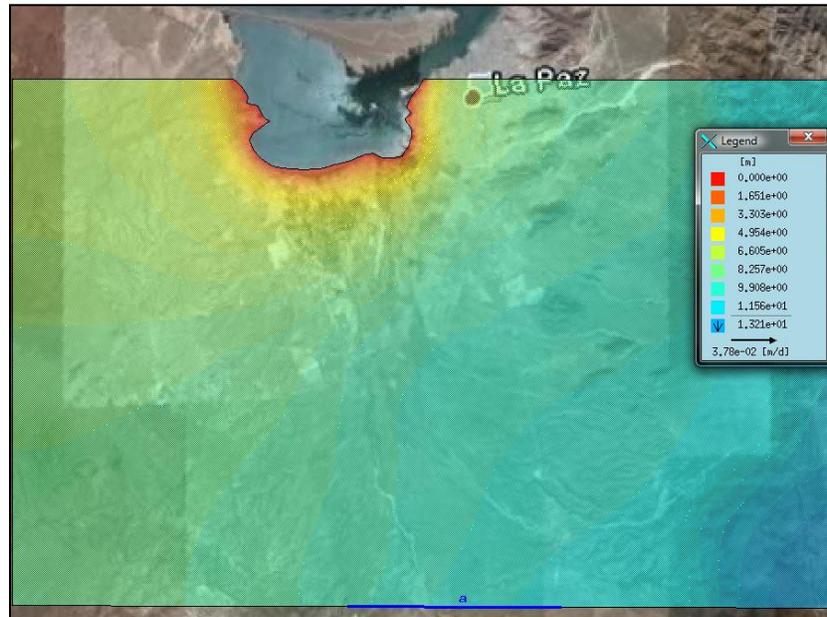
FIGURA 3.1 SECCIÓN TRANSVERSAL 1-1'



Como resultado de la calibración en estado permanente se observa en la FIGURA 3.2 la configuración de cargas hidráulicas que sigue un comportamiento muy similar a la recarga (ver FIGURA 2.8 Capítulo 2) teniendo en color azul, hacia el suroriente del valle, una elevación del nivel estático de 13m y en color rojo, hacia la zona de costa, dicha elevación es de cero como el nivel medio del mar.



FIGURA 3.2 CONFIGURACIÓN DE CARGAS HIDRÁULICAS, ESTADO ESTACIONARIO

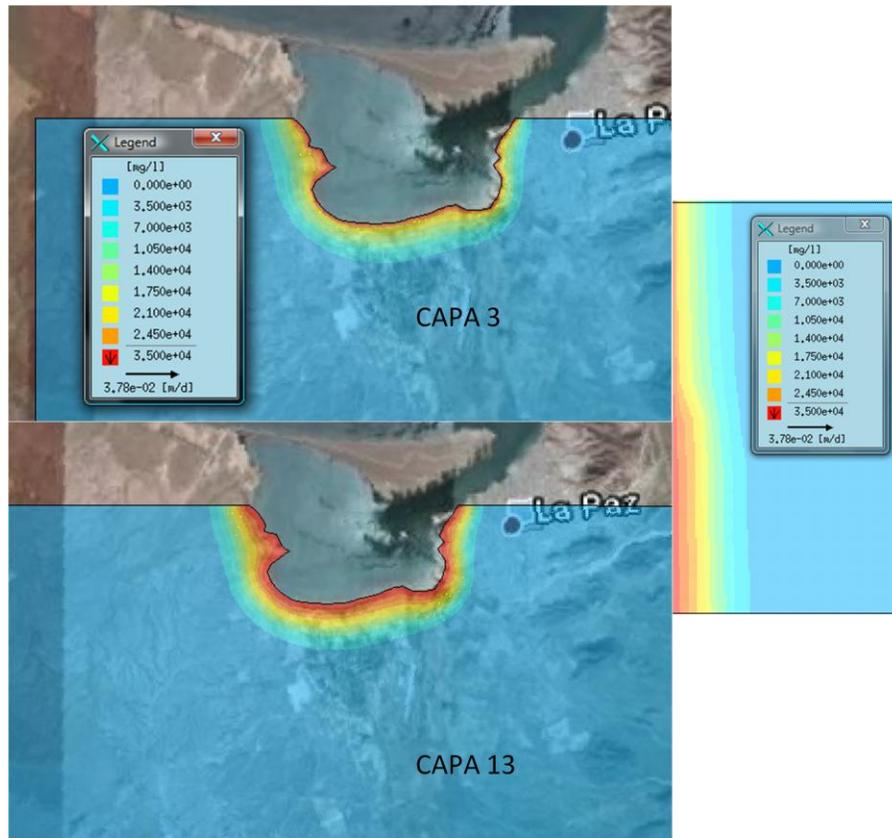


En estado natural, los acuíferos costeros tienen una zona de mezcla de agua marina y agua dulce, misma que se ve representada en el modelo en estado permanente y que para la capa 3 llega a los 2.5 km (FIGURA 3.3).

La calibración en estado permanente es requerida para comprobar que los valores de las condiciones de frontera y parámetros con los que fue alimentado el modelo sean razonables y que el modelo funciona adecuadamente.



FIGURA 3.3 CONFIGURACIÓN DE CONCENTRACIONES RÉGIMEN PERMANENTE



Calibración en régimen transitorio

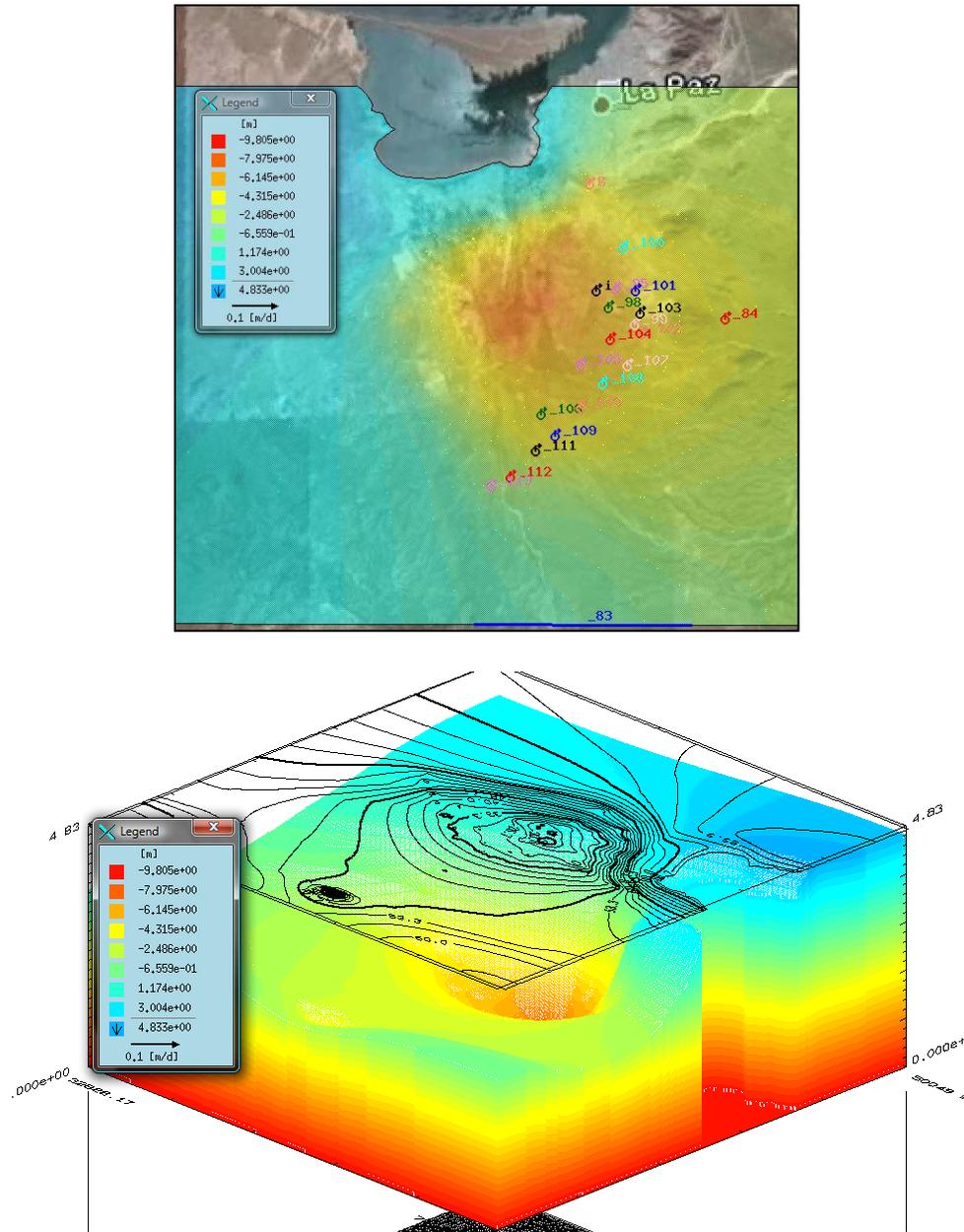
En el régimen transitorio, el comportamiento del sistema cambia debido al bombeo, producto de la actividad humana. Para este caso se corrió el modelo tomando como condiciones iniciales las arrojadas por la calibración en estado permanente por 50 años para llegar al 2008, que es el año para el que se tiene la última piezometría disponible. Así mismo, debido a que hay poca información respecto al monitoreo del avance de la cuña salina, y a que la configuración de STD para 1990 no es muy confiable se prefirió tomar los resultados de concentración del estado permanente.

Con lo que respecta a elevaciones del nivel estático, cabe resaltar que efectivamente se localiza la zona del cono de abatimiento hacia el noroeste de las baterías de pozos que conforman los 4 acueductos de agua potable (FIGURA 3.4). Cabe mencionar que los datos de piezometría se llevan a cabo en estado semi-estático. Lo anterior es debido a que cuando se realizan dichas lecturas se paran todos los pozos en el acuífero, excepto los de



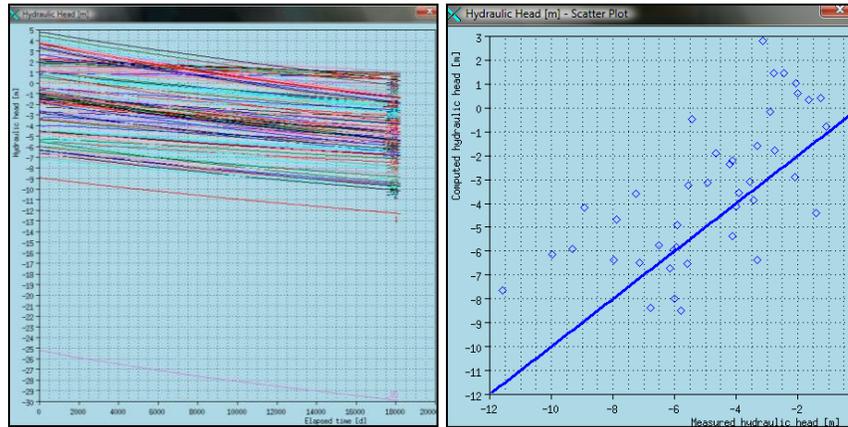
los acueductos. Si se toma en cuenta que aproximadamente las dos terceras partes de la extracción se debe a dichas baterías, y por seguir en funcionamiento no se pueden medir los niveles estáticos; entonces se tiene una piezometría mixta y sólo en la zona del valle se cuenta con datos representativos.

FIGURA 3.4 CONFIGURACIÓN DE CARGAS HIDRÁULICAS, ESTADO TRANSITORIO



La tendencia de las cargas hidráulicas en el tiempo para todos los casos es a la baja y el error cuadrático medio que reporta la gráfica de cargas calculadas contra cargas medidas es de 16.74m (FIGURA 3.5).

FIGURA 3.5 CONFIGURACIÓN DE CARGAS HIDRÁULICAS, ESTADO TRANSITORIO

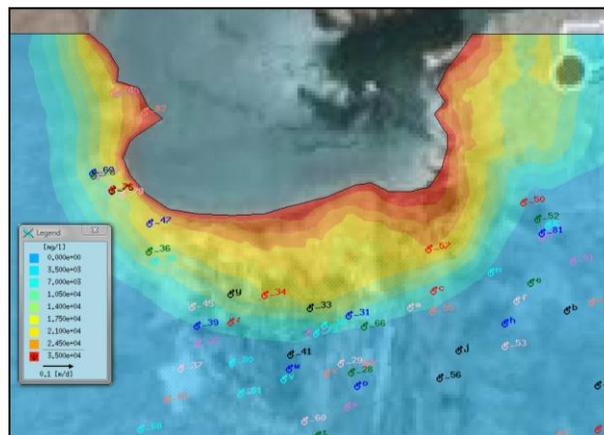


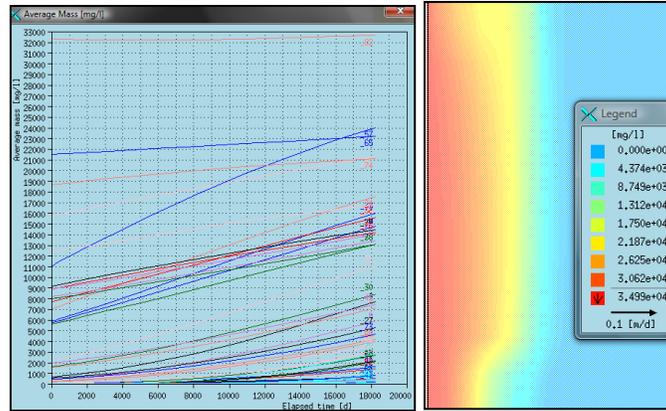
En cuanto a la configuración de concentraciones se observa el avance de la cuña salina cambiando drásticamente la calidad de los pozos más cercanos a la costa.

El avance se da hacia la zona sureste, donde se encuentran los pozos de agua potable, aunque sin llegar a éstos; lo cual coincide con los datos medidos en campo, que reportan una concentración promedio de STD de 450ppm.

La forma de la cuña se ve modificada en las primeras capas debido a la superposición de efectos de todos los pozos que en su conjunto representan el bombeo del acuífero. En cambio en las capas más profundas se aprecian pocos cambios (FIGURA 3.6).

FIGURA 3.6 CONFIGURACIÓN DE CONCENTRACIONES, ESTADO TRANSITORIO





La tendencia de las concentraciones en el tiempo es positiva, ya sea en mayor o menor grado dependiendo de la localización del pozo con respecto a la costa.

Finalmente, se muestra a continuación la tabla que contiene los parámetros ajustados del modelo una vez concluido el proceso de calibración.

TABLA 3.1 PARÁMETROS AJUSTADOS DEL MODELO

Materiales	Kxx 1x10-4 (m/s)	Kyy 1x10-4 (m/s)	Kzz 1x10-4 (m/s)	S (1)	S _s 1x10-4 (1/m)	n
Grava	1	1	0.1	0.88	2.08	0.25
Arena	0.8	0.8	0.08	0.75	6.14	0.28
Formación Comondú	0.28	0.28	0.028	0.72	10.90	0.25
Formación San Isidro	0.08	0.08	0.008	0.65	5.39	0.17
Formación San Gregorio	0.0317	0.0317	0.00317	0.60	2.62	0.15
Formación Tepetate	0.019	0.019	0.0019	0.42	4.45	0.12
Falla	0.05	0.05	0.005	0.25	0.915	0.20
Gabro	0.0348	0.0348	0.00348	0.06	0.288	0.05

Simulación de una planta desaladora operando en el acuífero de La Paz

La ubicación que se escogió para localizar la batería de pozos de alimentación a la planta desaladora es la zona de Chametla; con el objetivo de proteger, en la medida de lo posible, los pozos de agua potable que abastecen a la ciudad del avance de la intrusión marina (FIGURA 3.7).



FIGURA 3.7 POSIBLE UBICACIÓN DE LA BATERÍA DE POZOS DE LA PLANTA DESALADORA



Para todas las corridas se consideraron pozos de alimentación con un gasto de extracción de 50 lps por cada uno.

Se llevaron a cabo 3 tipos de simulación que se describen brevemente a continuación, y posteriormente se comentan los resultados de las mismas.

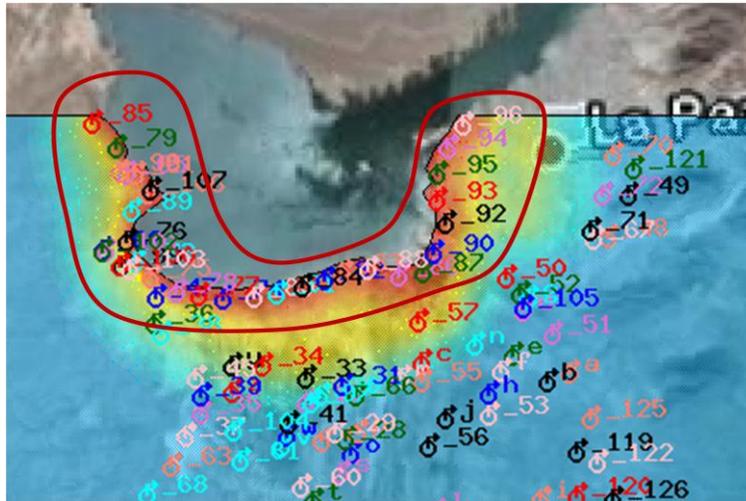
- Esquema de dilución: debido a que se quieren minimizar al máximo los impactos negativos que la disposición de salmuera pudiera causar, se ideó diluirla previa a su descarga; para lo cual se requerirá extraer una mayor cantidad de agua de mar. Así, el esquema de dilución "1x", implica considerar los 10 pozos, cuyo gasto serviría como agua de alimentación de la desaladora, mas cinco pozos adicionales cuyo gasto serviría para diluir la salmuera. Teniendo así 15 pozos para este esquema. Siguiendo este razonamiento, se analizaron escenarios para "2x" (20 pozos) y "3x" (25 pozos).
- Punto de equilibrio: dado que el problema de la intrusión marina se origina en la inversión del gradiente hidráulico por la explotación intensiva causada por el bombeo, se buscó encontrar el punto de equilibrio en el que, con ayuda de la batería de alimentación de la planta desaladora, se volviera a invertir el gradiente (hacia la costa) para tratar de mitigar de alguna forma el avance de la intrusión marina. Lo anterior se logró variando la profundidad de los pozos y la localización de su distancia con respecto a la costa.
- Inyección de agua residual tratada: la planta de tratamiento de aguas residuales de La Paz tiene una capacidad de $11\text{hm}^3/\text{año}$ de los cuales, $6\text{hm}^3/\text{año}$ es destinada al intercambio con los agricultores; pero aún se tienen $5\text{hm}^3/\text{año}$ más que se podrían inyectar al acuífero.



Dilución variable

En este escenario los pozos se situaron lo más cerca posible a la línea de costa para que representaran el funcionamiento de pozos playeros. Se llevaron a cabo 3 corridas: una con 15 pozos (10 para alimentación y 5 para dilución), otra con 20 pozos (10 para alimentación y 10 para dilución) y una última con 25 pozos (10 para alimentación y 15 para dilución).

FIGURA 3.8 ESQUEMA DILUCIÓN VARIABLE, UBICACIÓN DE BATERÍA



De estos primeros 3 casos se puede concluir que a mayor número de pozos se puede apreciar un mayor impacto (positivo o negativo según la ubicación de la batería de alimentación) debido a la superposición de efectos. Igualmente, conviene por dos razones unir esfuerzos y colocar los pozos a una distancia tal que permita el cierre de la barrera hidráulica para impedir en la medida de lo posible que siga el avance de la intrusión marina.

En la FIGURA 3.9 se observa la ubicación de la batería de alimentación (puntos en rojo), y algunas de las líneas de corriente calculadas por el modelo numérico que pasan entre los pozos fluyendo con dirección del mar hacia tierra adentro, por no estar lo suficientemente cercanos el uno del otro.



FIGURA 3.9 BATERÍA DE ALIMENTACIÓN A LO LARGO DE LA LÍNEA DE COSTA (izquierda) Y LÍNEAS DE CORRIENTE FLUYENDO HACIA TIERRA ADENTRO (derecha)



Punto de equilibrio

En esta modalidad se busca observar el comportamiento de las concentraciones y cargas hidráulicas al variar la posición de la batería de alimentación con respecto a la costa y la profundidad de extracción.

Partiendo de la hipótesis de que a mayor número de pozos mayor será la superposición de efectos, y a mayor gasto mayor será el impacto positivo que se pueda generar en el acuífero; los resultados que a continuación se presentarán son para un esquema de dilución 3x (es decir, 25 pozos de 50 lps).

Para este escenario se tienen los siguientes casos:

- PE1: batería a 3km de la costa, a una profundidad de -26 m.s.n.m
- PE2: batería a 3 km de la costa, a una profundidad de -226 m.s.n.m
- PE3: batería a 3 km de la costa, a una profundidad de -326 m.s.n.m
- PE4: batería a una profundidad de -26m, a 1.7km de la costa
- PE5: batería a una profundidad de -326m, a 1.7km de la costa
- PE6: batería a una profundidad de -26m, a 200m de la costa
- PE7: batería a una profundidad de -326m, a 200m de la costa



Para todos estos casos la ubicación de la batería de alimentación se reubicó a la zona de Chametla para cerrar el frente que le pudiera hacer la barrera hidráulica a la intrusión y que simultáneamente protegiera los pozos de los acueductos. (FIGURA 3.10).

FIGURA 3.10 BATERÍA DE ALIMENTACIÓN VARIANDO SU UBICACIÓN CON RESPECTO A LA LÍNEA DE COSTA



Punto de equilibrio variando la profundidad

A continuación se hace el análisis comparativo variando la profundidad de extracción de la batería de alimentación. La FIGURA 3.11 se refiere a la comparación entre la profundidad de extracción de la batería de alimentación a lo largo de la sección transversal (FIGURA 3.1). En este caso se mantienen constantes el número de pozos que son 25 (caso de dilución 3x) y la distancia a la que se ubican respecto a la costa (que serían para esta gráfica 3km). Cabe destacar que los resultados muestran que no es significativo el cambio en el nivel estático y que por lo tanto no es sensible a la profundidad.

La leyenda describe el tipo de dilución, la distancia a la que se ubicaron los pozos de alimentación y la profundidad de extracción para cada curva.

Se escogieron 3 pozos de observación para analizar las variaciones de carga hidráulica y de concentraciones en función del tiempo y se clasificaron en tres tipos (FIGURA 3.12):

- El pozo tipo A describe el comportamiento que tendrían todos aquellos pozos que quedarán entre la línea de costa y la batería de alimentación.
- El pozo tipo B describe el comportamiento que tendrían los pozos que quedarán sobre la línea de la batería de alimentación.
- El pozo tipo C describe el comportamiento que tendrían los pozos que quedarán detrás de la batería de alimentación.



El pozo tipo A es representativo de aquellos que quedarán dentro de la franja entre la zona de costa y la batería de alimentación, a la que se le denomina franja de sacrificio, ya que para todos ellos se incrementará su salinidad y se abatirá su nivel estático.

Cabe destacar que actualmente en esta zona muchos pozos ya se han abandonado o se han intercambiado por agua residual tratada, porque la calidad del agua que producen ya no es buena para los cultivos. Además, los agricultores están aceptando cada vez más a intercambiar esos pozos (o sea dejar de explotarlos) a cambio de agua proveniente de la planta de tratamiento.

La leyenda de la FIGURA 3.13 describe la distancia a la que se ubicaron los pozos de alimentación y la profundidad de extracción de los mismos para cada curva. Se pone sólo como una referencia la serie nombrada “sin desaladora”, la cual representa las condiciones actuales.

El pozo tipo B es representativo de aquellos que se encuentren en la línea de la batería de alimentación y se observarán grandes abatimientos y cambios en la concentración de los mismos aunque menores con respecto al caso anterior.

Este tipo de pozo también da idea en buena medida del comportamiento que tendrían los pozos de la batería de alimentación.

El pozo tipo C describe el comportamiento de aquellos que quedarán protegidos por la batería de alimentación. Mientras más alejados de ella, los abatimientos serán menores.



FIGURA 3.13 POZO TIPO A, CARGA HIDRÁULICA Y CONCENTRACIÓN

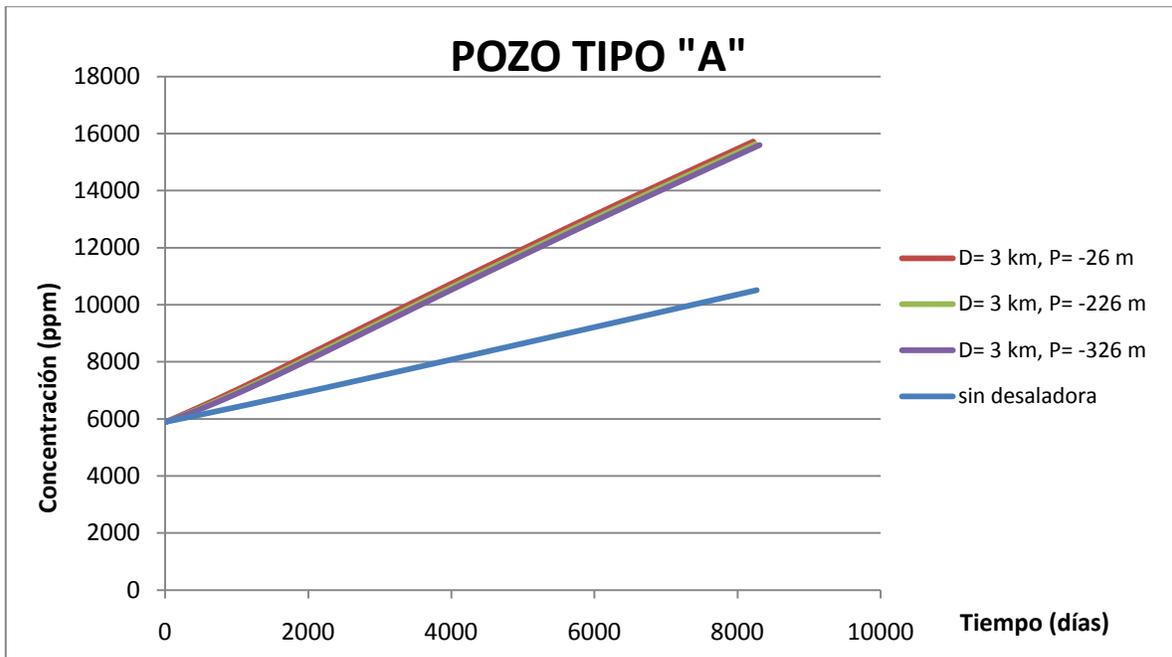
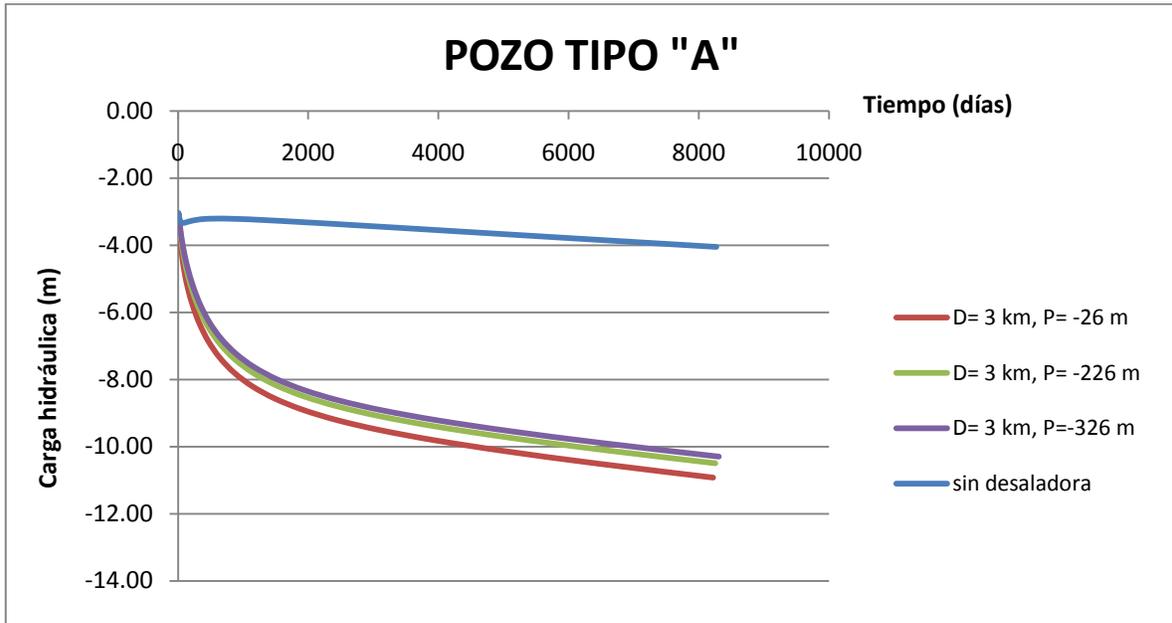


FIGURA 3.13 POZO TIPO B, CARGA HIDRÁULICA Y CONCENTRACIÓN

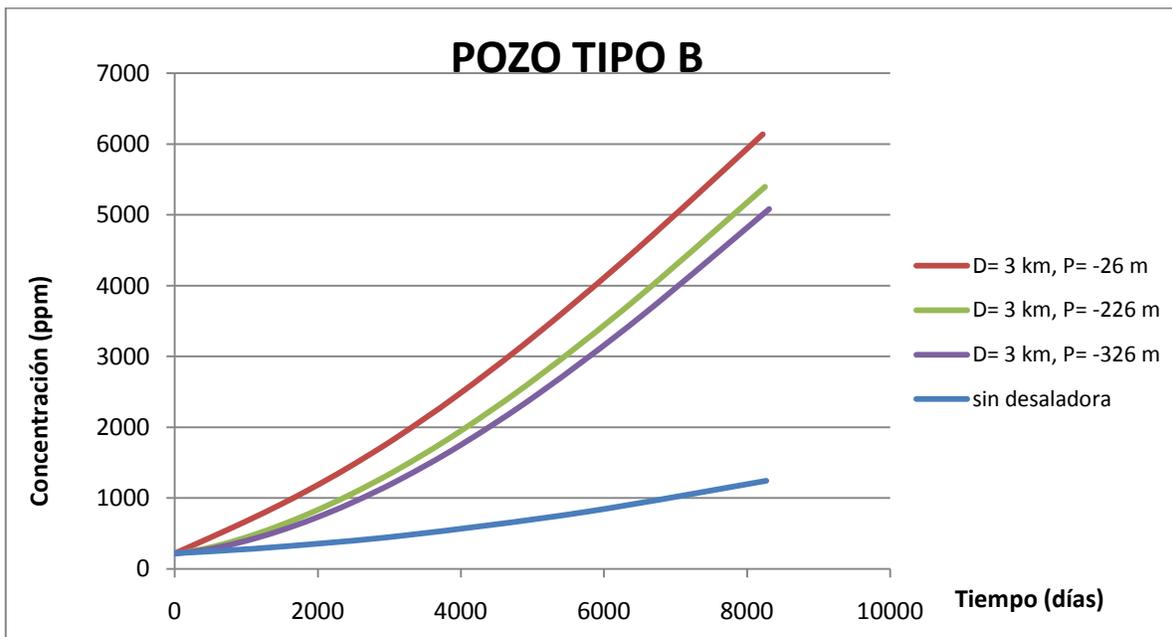
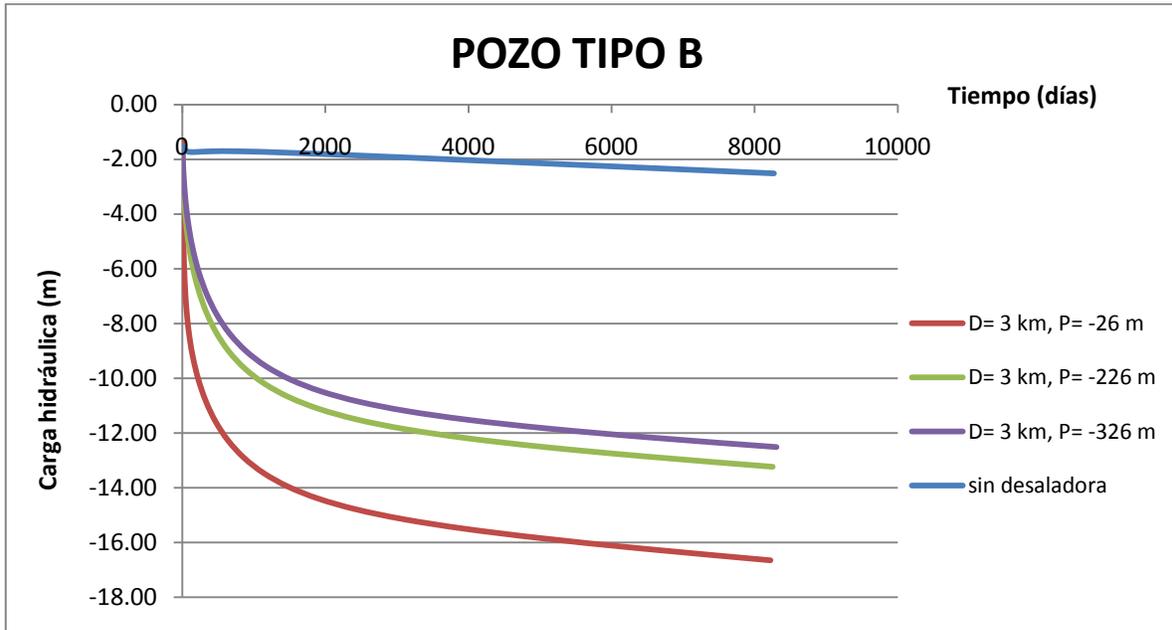
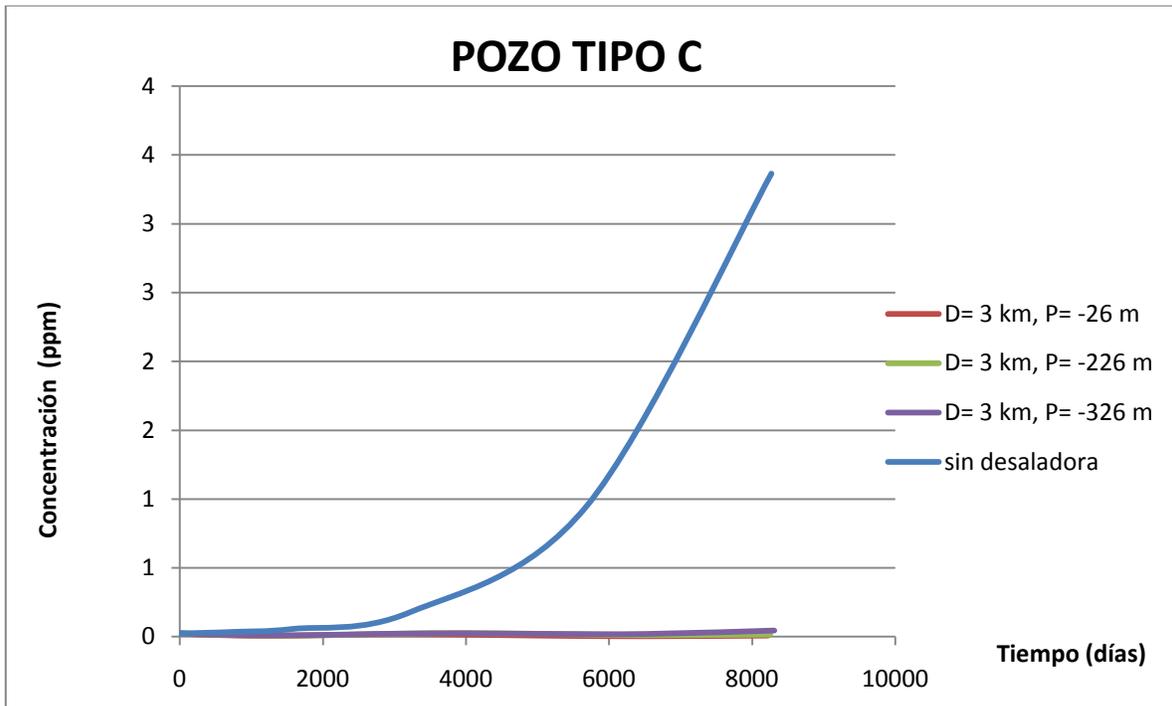
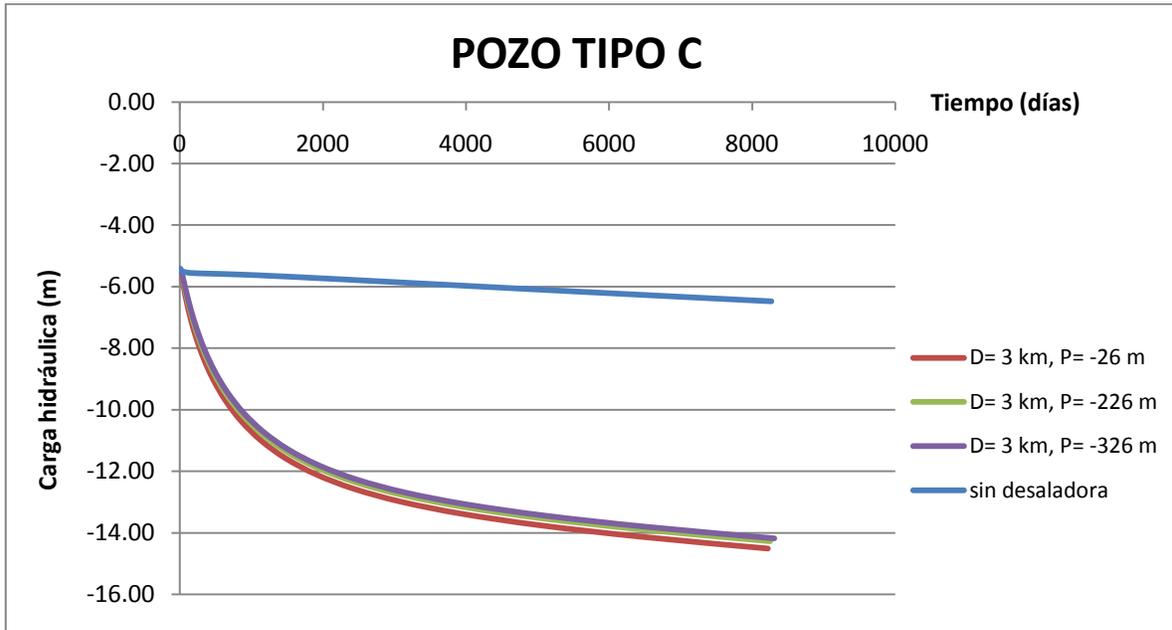


FIGURA 3.13 POZO TIPO C, CARGA HIDRÁULICA Y CONCENTRACIÓN

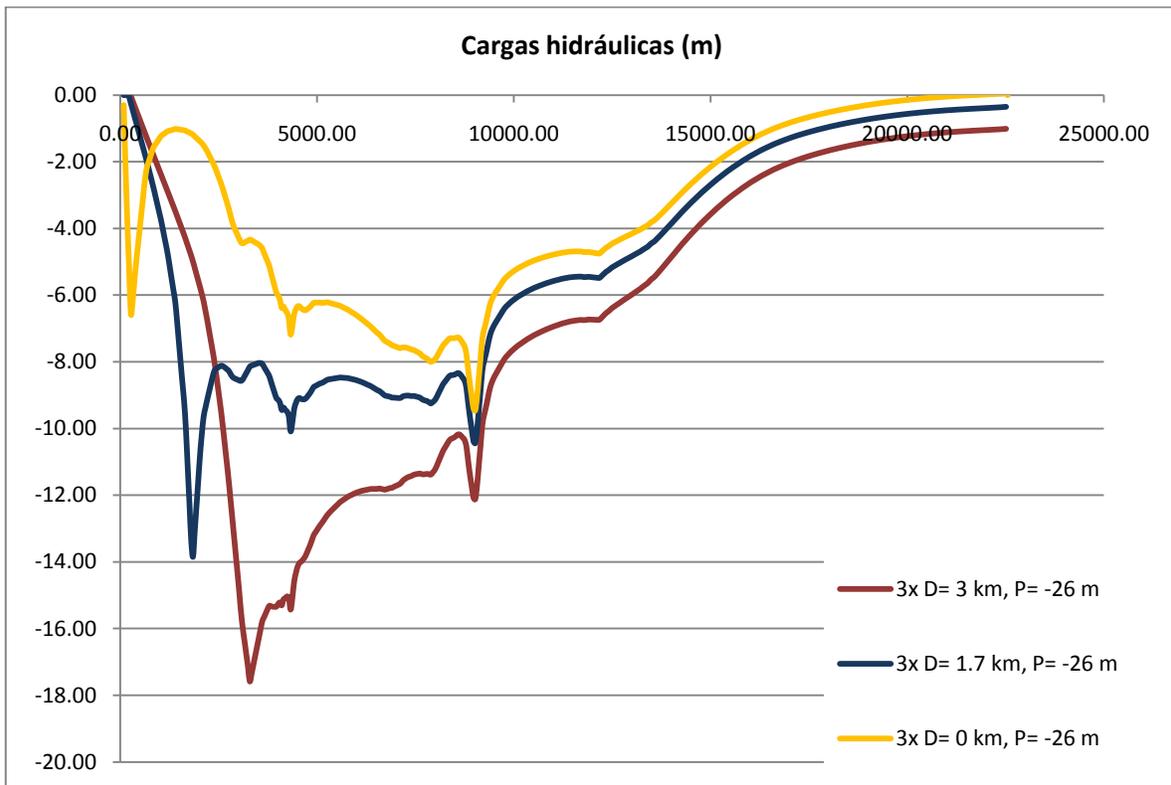


Punto de equilibrio variando la distancia respecto a la costa

En este escenario para una misma profundidad de extracción se observa el comportamiento de la carga hidráulica a lo largo de la sección transversal y la opción más favorable para invertir el gradiente hidráulico sería ubicando la batería de alimentación a 3km de distancia de la costa. Sin embargo como se verá más adelante, no es conveniente debido al aumento de la concentración de sales.

La FIGURA 3.14 describe el comportamiento de elevación de nivel estático a lo largo de la sección transversal. La leyenda describe el tipo de dilución, la distancia a la que se ubicaron los pozos de alimentación y la profundidad de los mismos para cada curva.

FIGURA 3.14 CARGA HIDRÁULICA EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL PARA ESCENARIO PUNTO DE EQUILIBRIO VARIANDO LA UBICACIÓN DE LA BATERÍA DE ALIMENTACIÓN



En lo tocante a la configuración de la intrusión marina se puede observar en la FIGURA 3.15 que no resulta conveniente localizar la batería de alimentación a 3km de la costa, debido a que la franja de sacrificio se extiende en el sentido transversal; y por lo tanto afecta un mayor número de pozos. Es decir, se induce la intrusión marina a toda el área que está al norte de ella. Respecto a ubicarla a la orilla del mar, como pozos playeros,



debido a que éstos se estarían alimentando casi en su totalidad de agua marina, no permitiría invertir el gradiente y por lo tanto las condiciones del acuífero serían como si no hubiera desaladora. De hecho se puede observar más adelante en el análisis de los resultados de los pozos tipo que las cargas hidráulicas y las concentraciones de este caso en particular se mantienen muy cerca de la serie sin desaladora.

La mejor opción resulta ser la ubicación de la batería de pozos a 1.5 km de la costa, por ofrecer una menor área de sacrificio y promover la inversión del gradiente; es decir que el agua fluya nuevamente de tierra adentro hacia el mar en la zona de influencia de ésta. Cabe destacar que se puso especial atención a la zona natural protegida por la SEMARNAT, y que al ubicar una batería de alimentación hacia el sur de la carretera Transpeninsular Cd. Constitución-La Paz se estaría respetando esta condición ambiental (FIGURA 3.16).

FIGURA 3.15 AVANCE DE LA INTRUSIÓN MARINA EN FUNCIÓN DE LA UBICACIÓN DE LA BATERÍA DE DESALACIÓN

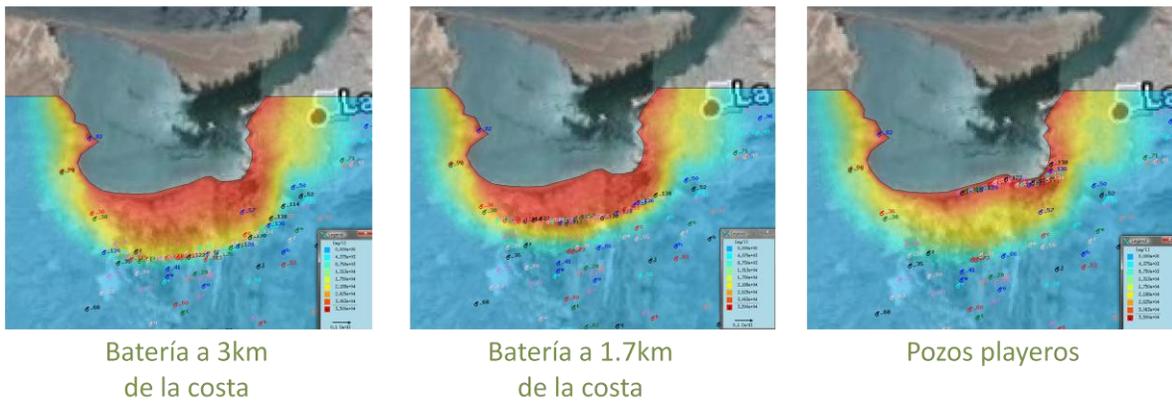


FIGURA 3.16 UBICACIÓN DE BATERÍA DE ALIMENTACIÓN



Revisando el comportamiento de carga hidráulica y concentración en los 3 pozos tipo se observa lo siguiente:

La variación de la carga hidráulica y de la concentración es sensible a la ubicación de la batería de alimentación; habiendo dejado como constante la profundidad de extracción y el número de pozos. Y en este caso si se observa una mejoría en la calidad del pozo tipo A para la serie verde, que es el caso de los 1.7km. También cabe destacar que si se colocan pozos playeros prácticamente no afecta en nada las condiciones actuales; es decir, es como si no estuviera la desaladora. La leyenda describe la distancia a la que se ubicaron los pozos de alimentación y la profundidad de los mismos para cada serie (FIGURA 3.17).

FIGURA 3.17 POZO TIPO A, CARGA HIDRÁULICA Y CONCENTRACIÓN

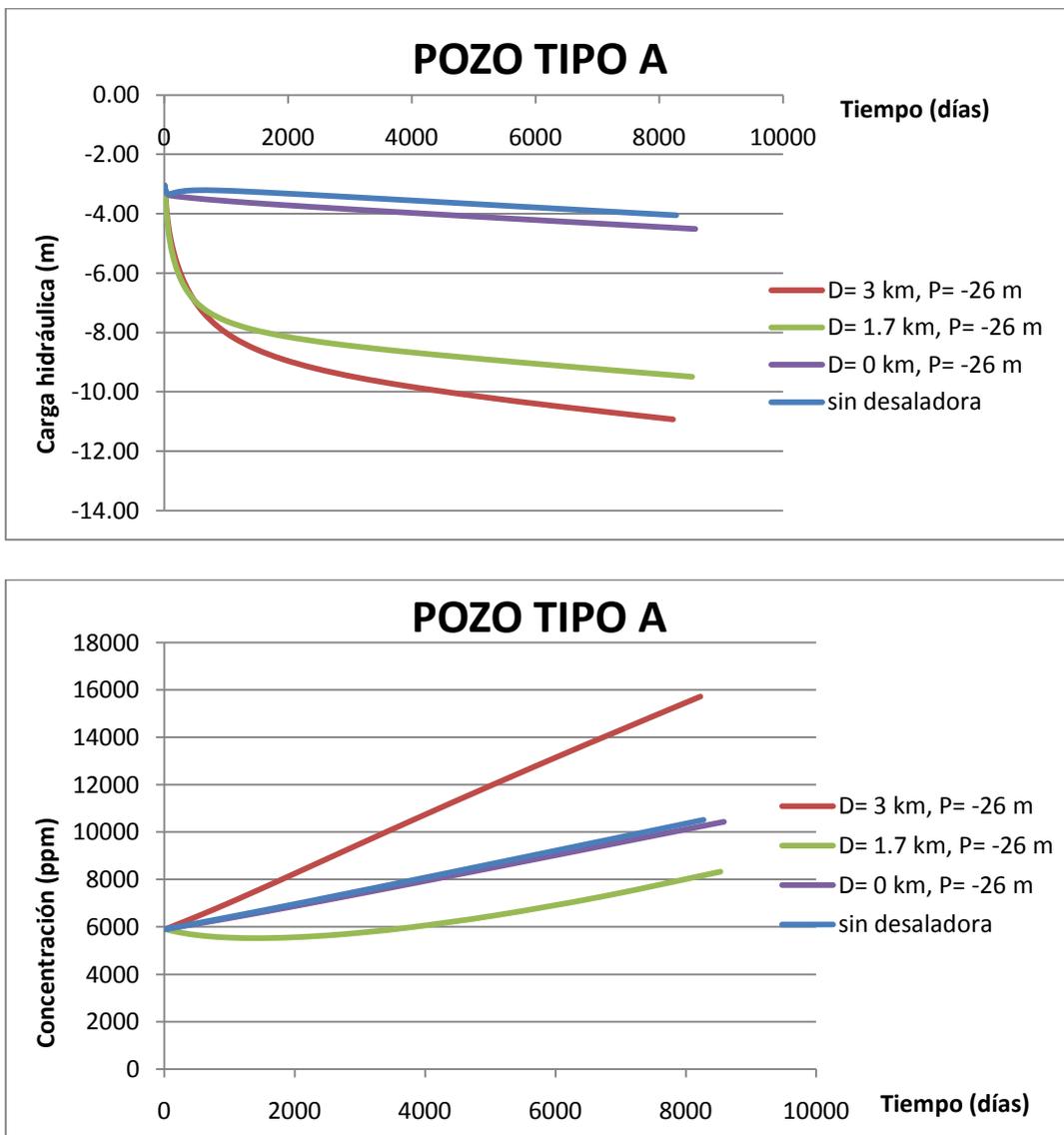


FIGURA 3.17 POZO TIPO B, CARGA HIDRÁULICA Y CONCENTRACIÓN

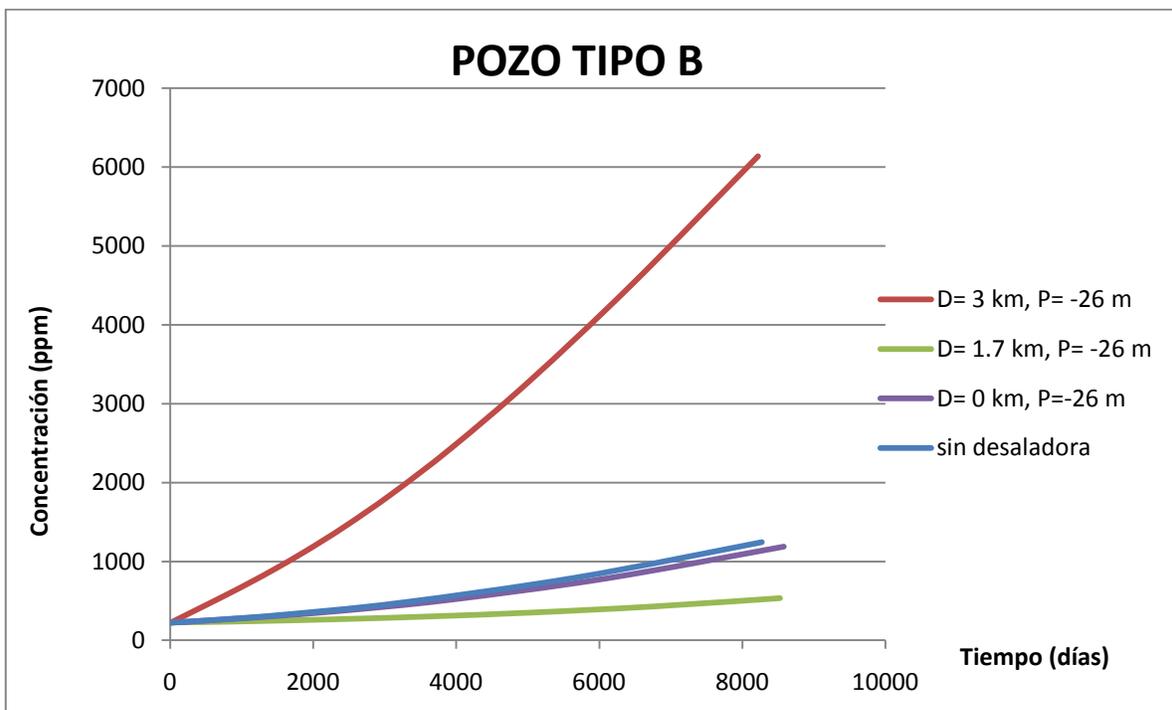
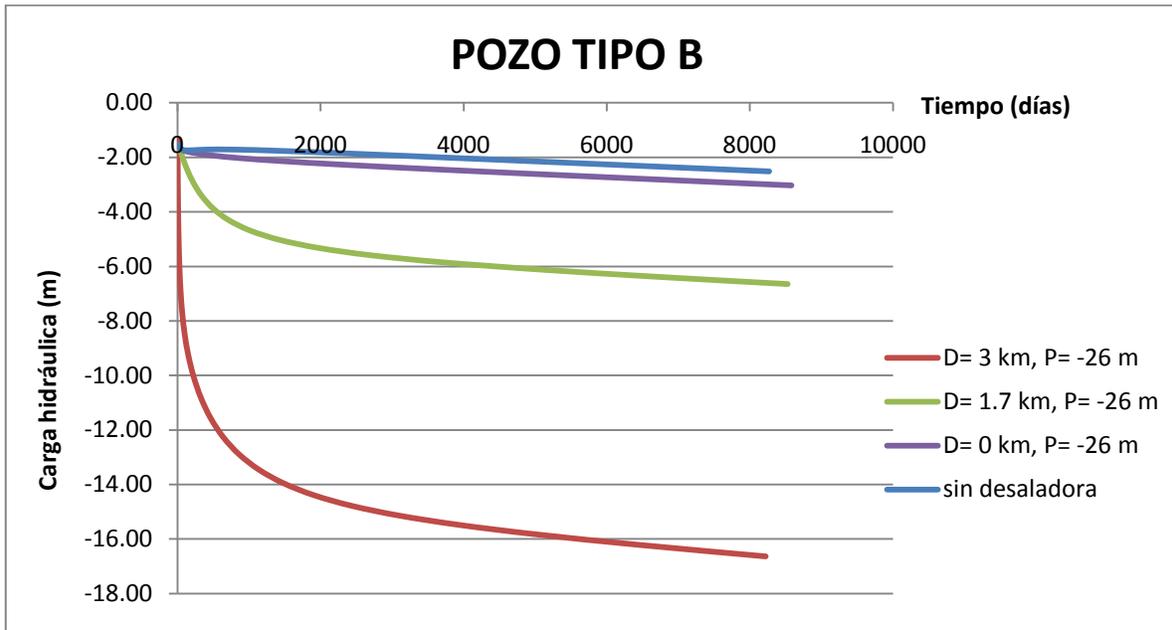
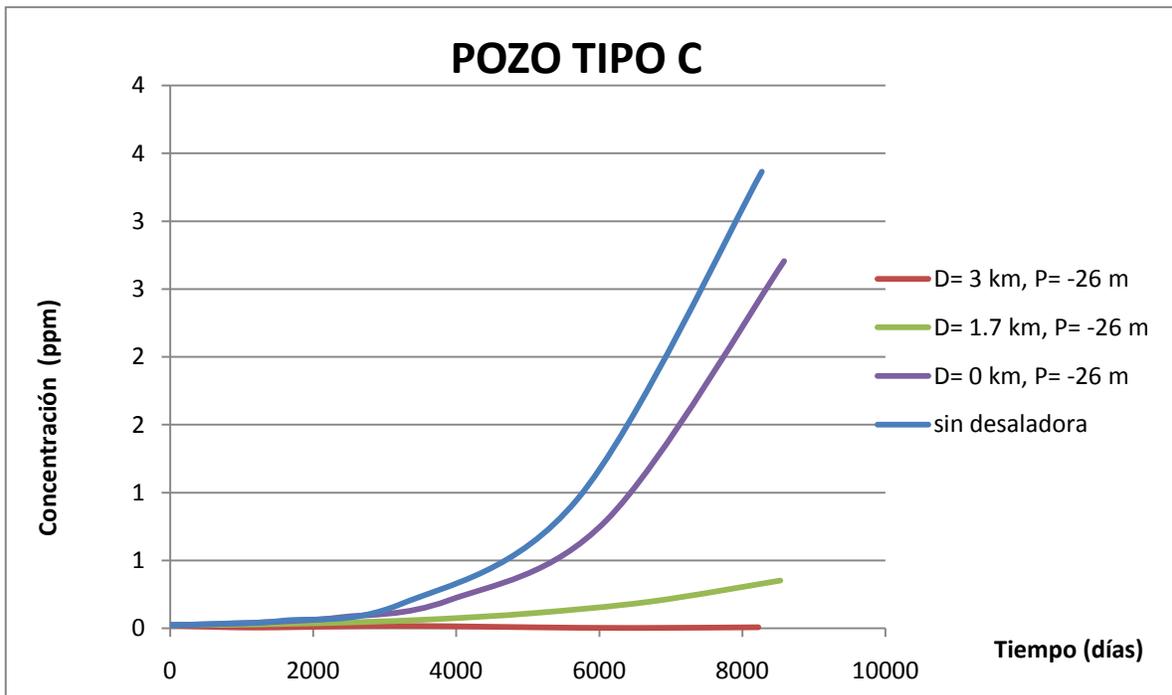
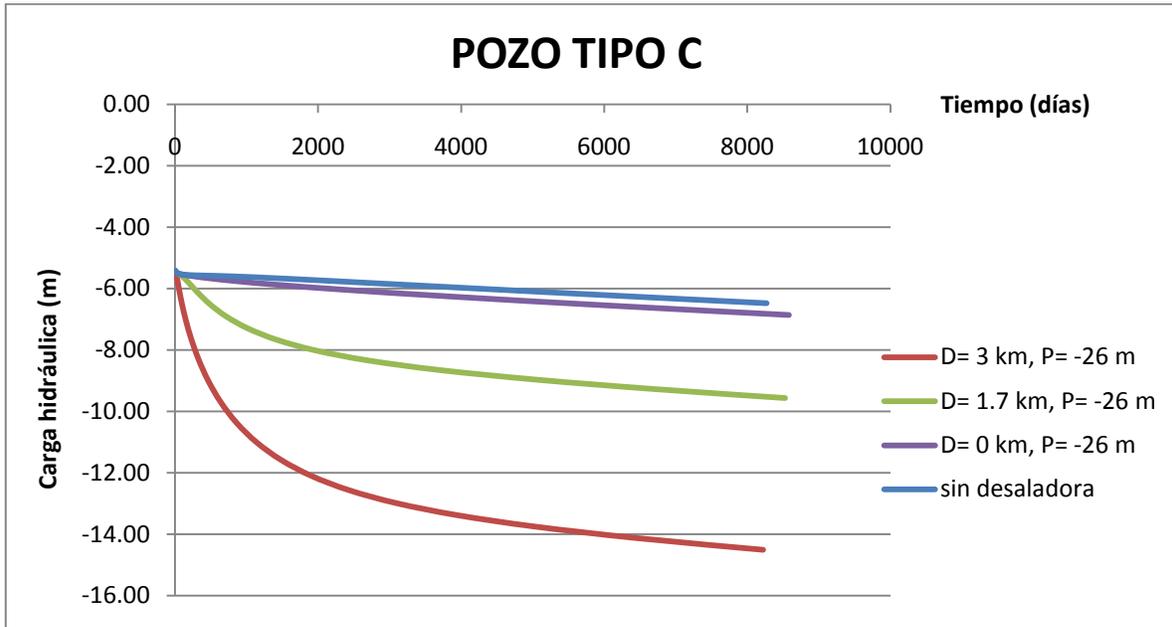


FIGURA 3.17 POZO TIPO C, CARGA HIDRÁULICA Y CONCENTRACIÓN



Inyección de aguas residuales tratadas

En general cuando se trata de sanear un acuífero, una de las opciones a considerar es la inyección de aguas tratadas; pero casi no se considera la extracción como una condición que promueva la recuperación del mismo. Si bien es cierto que inyectar agua de buena calidad tiene un mayor impacto positivo en el medio acuífero, el extraer agua con un fin como el de desalación también contribuye, aunque en una menor escala.

De la misma manera que se llevó a cabo una serie de corridas para buscar el punto de equilibrio, en esta sección se describen las simulaciones hechas para inyectar agua residual tratada.

Fueron cinco casos los analizados en este sentido. En los 3 primeros se convirtió la batería de alimentación en una batería de inyección con las mismas características. Aunque estos tres casos son utópicos, debido a la relación costo – beneficio, si da una buena idea de lo que implicaría sanear el acuífero de La Paz. Los últimos dos casos se llevaron a cabo con el gasto real que podría ser inyectado por ser un excedente de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad.

- IN1: 25 pozos a 3km de la costa a una profundidad de -26m.s.n.m
- IN2: 25 pozos a 3km de la costa a una profundidad de -226 m.s.n.m
- IN4: 25 pozos a 1.7km de la costa a una profundidad de -26 m.s.n.m
- IN350res1: 7 pozos a 3km de la costa a una profundidad de -26 m.s.n.m
- IN350res2: 7 pozos a 1.7km de la costa a una profundidad de -26 m.s.n.m

Como se observa en las FIGURAS 3.18 y 3.19, comparando los casos IN1 e IN2 en donde sólo se varía la profundidad de inyección; el modelo nuevamente no es sensible a dicho parámetro. En donde se tienen mejores resultados es en el caso IN4, que es a 1.7km de la costa y a una profundidad de -26msnm. Sin embargo, habrá que recordar que estos tres casos sólo son ejercicios para analizar la respuesta del sistema al inyectarle 500lps bajo esas condiciones.

Los casos IN350res1 e IN350res2 se llevaron a cabo con la cantidad disponible que la planta de tratamiento pudiera ceder para inyección.



FIGURA 3.18 CARGA HIDRÁULICA EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL PARA ESCENARIO DE INYECCIÓN

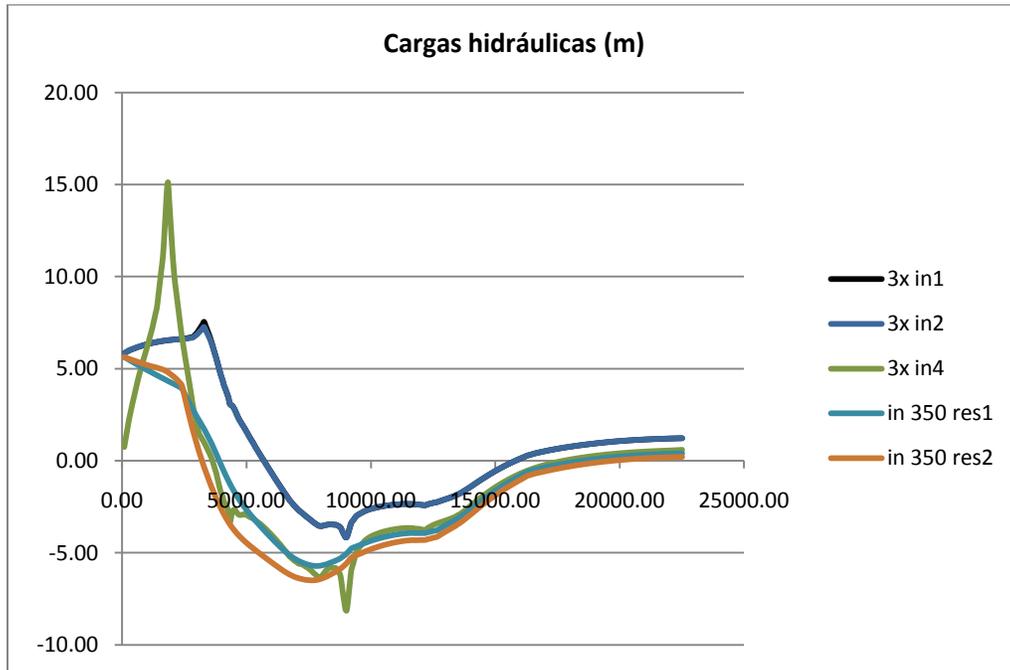
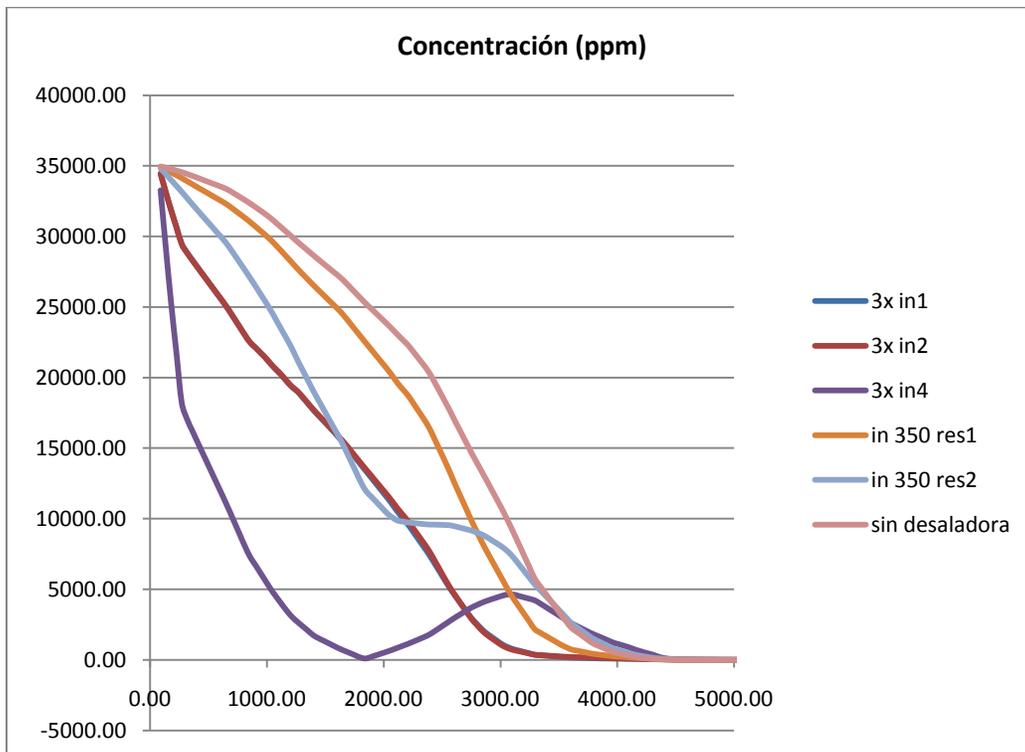


FIGURA 3.19 CONCENTRACIÓN EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL PARA ESCENARIO DE INYECCIÓN



La realidad es que actualmente la planta de tratamiento de aguas residuales maneja un volumen de aproximadamente 11 Mm³/año, de los cuales 6 ya están comprometidos como aguas de intercambio con los agricultores de los ejidos Centenario y Chametla y otra parte se destina a Paraíso del Mar, un fraccionamiento ubicado en el Mogote (FIGURA 3.20). Los 160lps restantes, se representaron en el modelo como 3 pozos de inyección (FIGURA 3.21).

FIGURA 3.20 DISPONIBILIDAD DEL AGUA RESIDUAL TRATADA

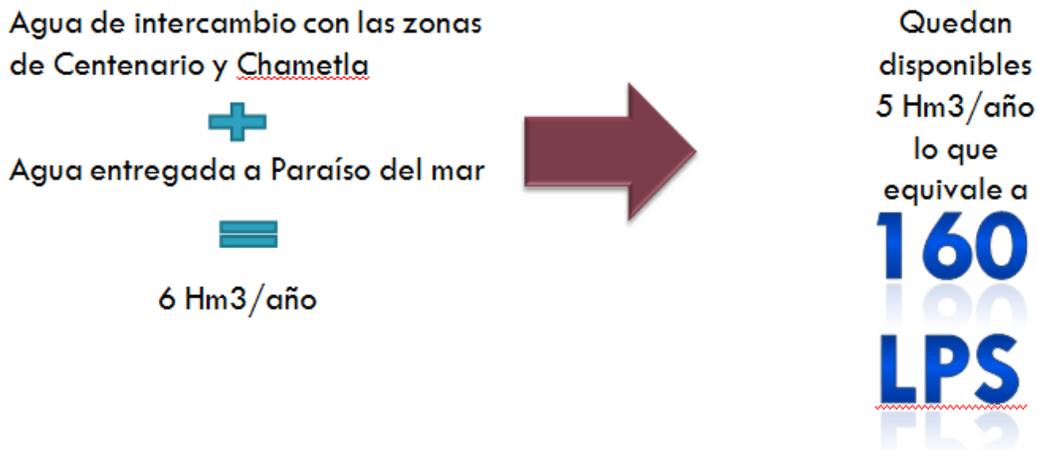
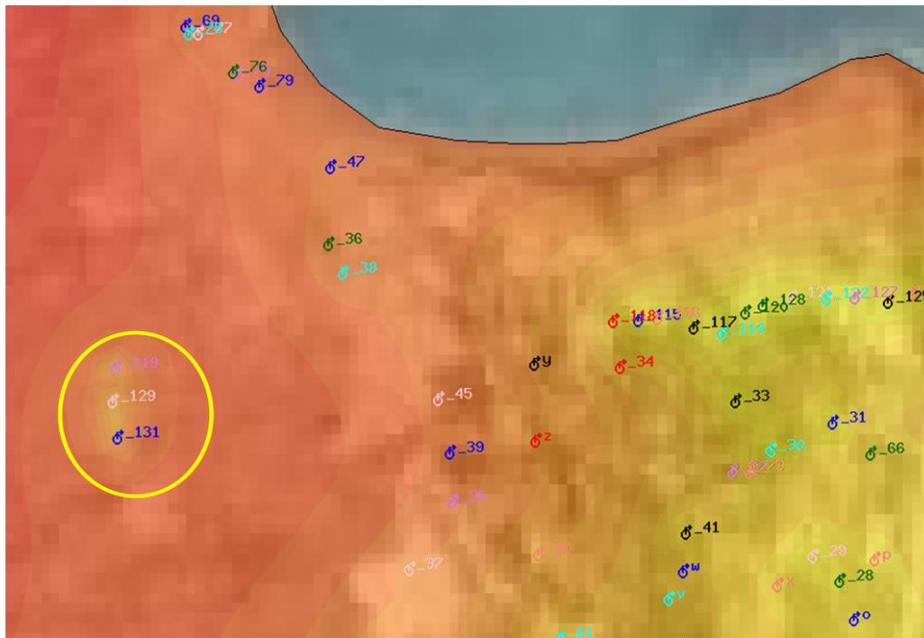
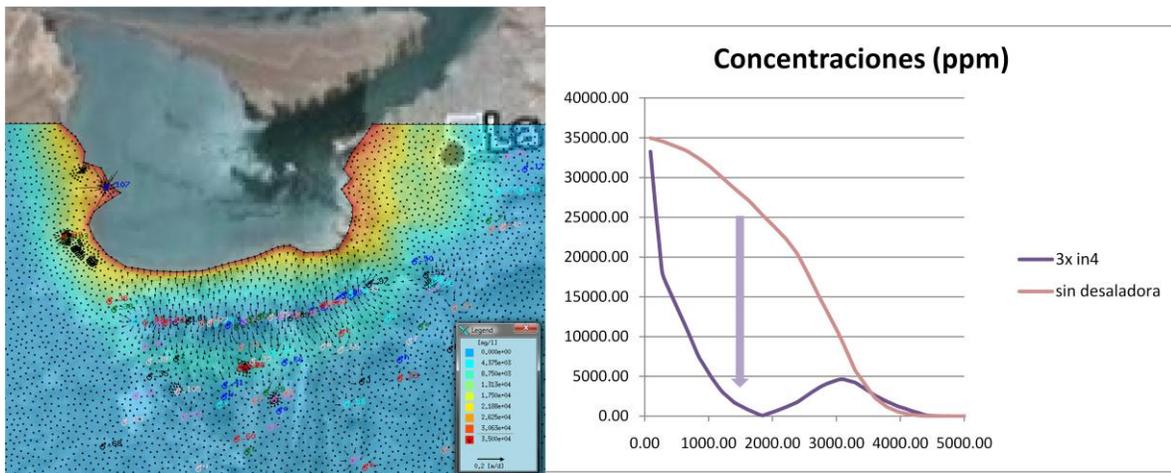


FIGURA 3.21 POZOS DE INYECCIÓN DE AGUA TRATADA DISPONIBLE



Ahora bien, para lograr un mayor impacto en el acuífero al tratar de frenar la cuña salina se necesitaría inyectar una gran cantidad de agua dulce. A continuación se presenta un ejemplo de modelación en FeFlow de la inyección de $1\text{m}^3/\text{s}$ en donde es notable el desplazamiento de la cuña hacia el mar y en corte la disminución de la concentración (FIGURA 3.22); sin embargo, esto es económicamente incosteable.

FIGURA 3.22 INYECCIÓN DE $1\text{m}^3/\text{s}$ PARA DESPLAZAR LA INTRUSIÓN MARINA

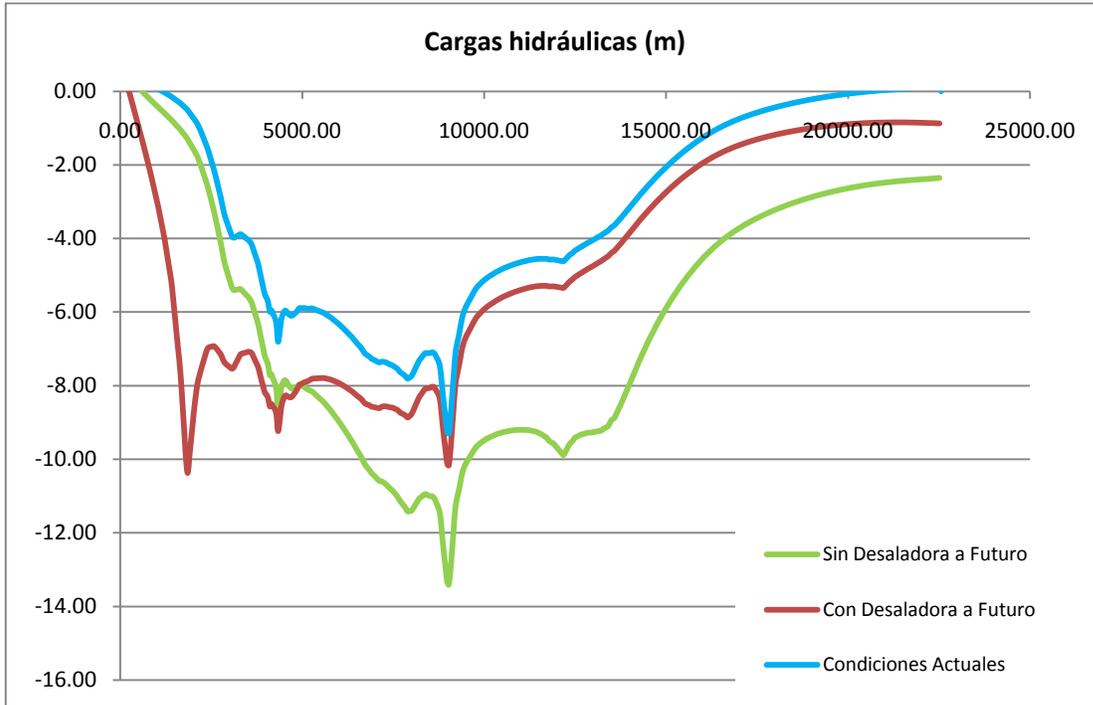


Cabe mencionar que a futuro se contempla intercambiar toda el agua tratada con el gremio agrícola. Por otro lado, si no mejoran las condiciones de calidad del agua será muy difícil llevarlo a cabo debido a que en los últimos años la actividad agrícola ha ido en disminución precisamente por el problema de la intrusión marina. Por tal motivo, vale la pena emprender acciones que permitan al sector agrícola mantenerse y lograr el intercambio de agua tratada por la cancelación de pozos de agua potable en el área de explotación; y no descartar la posibilidad de que en el intermedio se inyecte el agua que en la actualidad no se utiliza y sólo se dispone en algunas parcelas.

Finalmente, se llevó a cabo una comparación entre las condiciones actuales, que muestran un abatimiento en el nivel aproximadamente en el centro del valle (que es el generado por el bombeo de todos los pozos en su conjunto); el comportamiento del abatimiento si no se pone una batería de pozos que funja como pantalla hidráulica; y finalmente el comportamiento colocando la batería de alimentación (FIGURA 3.23).

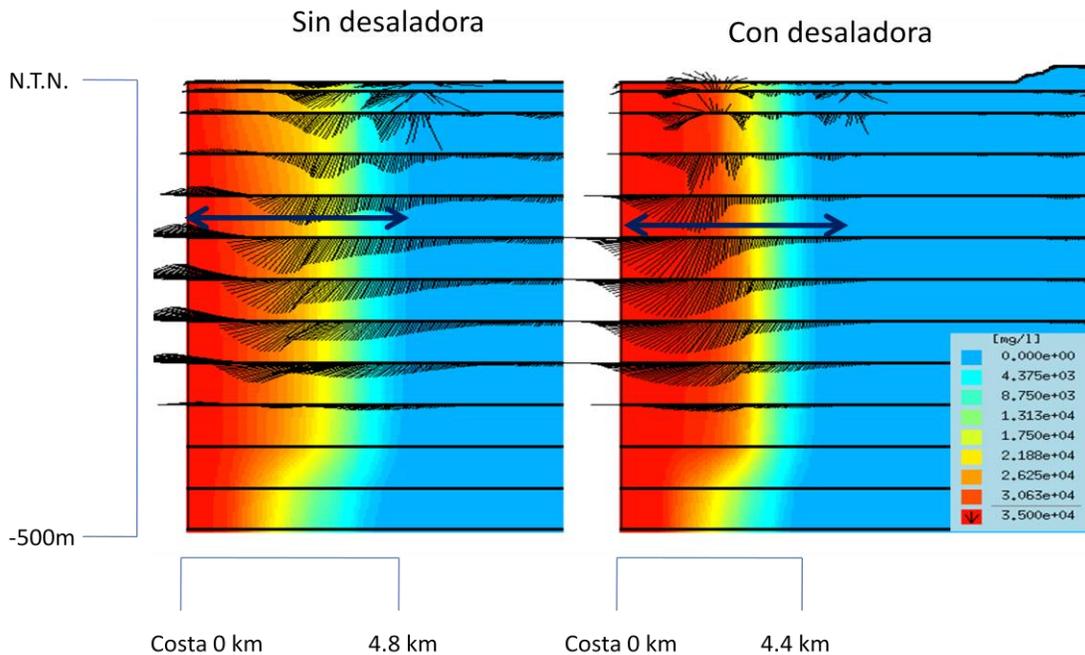


FIGURA 3.23 COMPARACIÓN DE CARGAS HIDRÁULICAS SITUACIÓN ACTUAL Y FUTURA



En la FIGURA 3.24 se observa que de no colocarse la desaladora el avance de la intrusión será mayor que con ella, aunque no de forma muy significativa.

FIGURA 3.24 COMPARACIÓN DE CONCENTRACIONES SITUACIÓN ACTUAL Y FUTURA



CONCLUSIONES



CONCLUSIONES

El problema de la intrusión marina es característico de los acuíferos costeros y se acentúa en aquellas localidades en donde la explotación del agua subterránea supera la recarga de los mantos acuíferos.

En el presente trabajo se partió de la hipótesis de que al simular el comportamiento de una batería de pozos paralelos a la línea de costa se promovería una inversión del gradiente hidráulico (que el agua subterránea volviera a fluir de la parte alta hacia la bahía); y se formaría una pantalla hidráulica que limitaría el paso de la intrusión marina hacia tierra adentro.

Lo anterior se comprobó que sucede; sin embargo, para lograr un impacto mayormente cuantitativo se requeriría una batería de aproximadamente 49 pozos de 50lps, lo cual es incosteable.

Las ventajas de haber hecho esta simulación a través de un modelo numérico tridimensional son los ahorros en cuanto a costo, ya el costo del estudio no se compara con el costo que tendría perforar una batería de prueba. Otra ventaja, es que se pueden simular varios escenarios y arreglos de pozos hasta seleccionar el más conveniente. Además, no se tiene que esperar 10 o 20 años para observar los resultados, sino de forma casi inmediata se pueden conocer buenas aproximaciones de lo que sucedería con la calidad del agua subterránea en el tiempo de disponerse dicha batería.

Una vez habiendo realizado todas estas corridas, con los ¿datos ó resultados? de la variación de la calidad del agua en el tiempo, se procedió a calcular la concentración de la salmuera (TABLA 4.1).

Dado que se estaría extrayendo agua salobre, la concentración de la salmuera no es tal que requiera una predilución. Es decir, que se han de considerar sólo 10 pozos para la batería de alimentación de la planta desaladora, con una profundidad tal que proporcionen el gasto de 50lps cada uno de ellos y de preferencia que el tramo ranurado se encuentre entre el nivel del terreno y los -100msnm, ya que es ahí donde se tiene el mayor impacto por bombeo en el valle de La Paz.



TABLA 4.1 VARIACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN EN EL TIEMPO DE UN POZO TIPO DE LA BATERÍA DE ALIMENTACIÓN

año	Concentración
	ppm
0	9500
1	10330
2	11500
3	12500
4	13500
5	14700
6	15200
7	15700
8	16100
9	16700
10	17300

año	Concentración
	ppm
10	17300
11	17800
12	18300
13	18800
14	19300
15	19900
16	20300
17	20700
18	21120
19	21500
20	22000

Respecto a la localización de la batería de pozos, la mejor opción evaluada en este estudio es ubicarla en la franja del kilómetro 1 al 2 (medido a partir de la línea de la costa) en la zona de Chametla, hacia el sur de la carretera Transpeninsular Cd. Constitución – La Paz. Ya que con esto se provoca la inversión del gradiente hidráulico y por lo tanto la formación de una pantalla hidráulica que limita el paso del agua marina hacia continente, respetando así la zona natural protegida.

La distancia entre los pozos de la batería deberá promover la superposición de efectos y cerrar la barrera hidráulica. Mientras más cercanos se encuentren los pozos mucho más eficiente será la medida de mitigación. En el modelo se hicieron las simulaciones con una separación entre pozos de 200 a 300m.

Cabe mencionar que mientras más cercana a la playa se localice la batería de pozos, menor será el impacto (positivo o negativo) que ésta tenga sobre el acuífero.

El análisis de sensibilidad realizado en el escenario *Punto de equilibrio variando la profundidad de extracción*, muestra que no es sensible a dicho parámetro; debido a que en los 3 casos de pozos tipo, las concentraciones y las cargas hidráulicas son muy similares. En cambio, deberá observarse cuidadosamente la distancia a la que se localizará la batería con respecto a la línea de costa, ya que para este parámetro si resultó ser muy sensible el modelo.

Respecto a la inyección de agua tratada, será importante no descartarla y generar condiciones que permitan al sector agrícola mantenerse y lograr a futuro el intercambio



total de agua tratada por la cancelación de pozos de agua potable en el área de explotación.

Es recomendable que se analice la calidad del agua de inyección incluyendo por estudios bacteriológicos y evaluar la relación costo – beneficio para determinar si sería factible dar un tratamiento al agua residual al punto de que cumpla con las normas, para que no se contamine el acuífero, o en su defecto, esperar a que se den los intercambios de agua tratada con los ejidatarios.

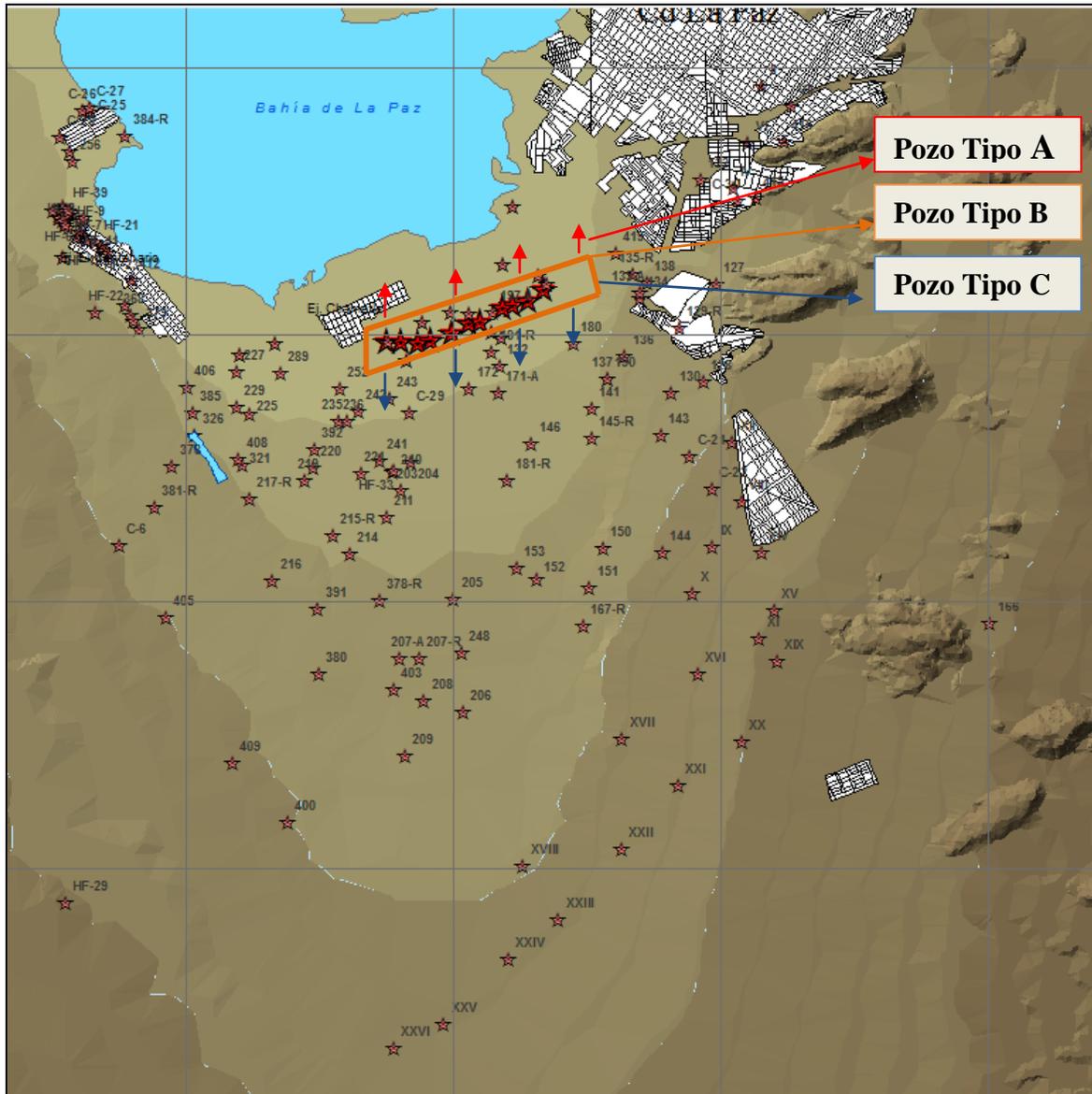
El comportamiento general del acuífero, de llegarse a construir la planta desaladora, quedaría dividido en tres grandes grupos: el de los pozos cuya calidad se verá más deteriorada (Pozo tipo A) por encontrarse en la franja de sacrificio, el de los pozos cuyo comportamiento será muy similar al de los pozos en la batería de alimentación (Pozo tipo B) y el de los pozos beneficiados que quedarán protegidos por la barrera hidráulica (Pozo tipo C).

Finalmente, se concluye que la barrera hidráulica construida a partir de una batería de pozos para alimentación de una planta desaladora, si bien no revierte el problema de intrusión marina, si la puede mitigar en alguna medida. Ya que le dificulta el paso a la intrusión, en comparación a si no se pone y se continúa con el ritmo de explotación que la ciudad demanda.

Todas estas acciones ayudarán en alguna medida a impedir que el acuífero se siga deteriorando; sin embargo, se requieren conjuntar algunas otras medidas en un plan integral de manejo del acuífero del valle de La Paz.



FIGURA 4.1 COMPORTAMIENTO GENERAL DEL ACUÍFERO CON DESALADORA



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CIGSA-Comisión Nacional del Agua, subdirección Técnica, Gerencia de Aguas subterráneas, Estudio de caracterización y modelación de la intrusión marina en el acuífero de la Paz, B.C.S. Diciembre 2001.
- Comisión Nacional del Agua, Subdirección Técnica, Gerencia de Aguas Subterráneas Subgerencia de Evaluación y Modelación Hidrogeológica: Determinación de la Disponibilidad de Agua en el Acuífero de La Paz, Balance Hidrológico, abril 2002.
- Bienvenido al Sitio Oficial del O.O.M.S.A.P.A., Consulta de Tandeo (sectores), Tarifas y Costos, www.lapaz.gob.mx/sapa 2008.
- **Juan Francisco Zúñiga Santana, Iraida Oviedo Rivero, Elena Cancio Martínez. La Desalinización del Agua de Mar y su Tendencia Actual:** jfz@cubanergia.cu y evan@ocpi.cu
- Cesar Nava Escudero, Agua y Desalación en México: Del Engaño al Oscurantismo Jurídico, Seminario internacional Desalación de Agua de Mar con Energías renovables, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Jurídicas-Instituto de ingeniería, Serie Doctrina Jurídica, No. 413, México 2008.
- Enciclopedia de los Municipios de México; Estado de Baja California Sur; La Paz. Localización.
- Comisión Nacional del Agua, Acuíferos del Municipio de La Paz, Baja California Sur, Balance Hídrico 2002.
- Álvarez Arellano A.D.; Rojas Soriano H.; Prieto Mendoza J.J.; Geología de la Bahía de La Paz y Áreas Adyacentes, Universidad Autónoma de Baja California Sur, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, 1997.
- Blanca Estela Romero López, José Luis León de la Luz; José Juan Pérez Navarro; Gustavo de La Cruz Agüero. Estructura y Composición de la Vegetación de la Barra Costera El Mogote, Baja California Sur, México. Boletín de la Sociedad Botánica de México, diciembre 2006, No. 079, pp.21-32.
- Enciclopedia de los Municipios de México; Estado de Baja California Sur; La Paz. Climas.



- Steinz, C., R. Faris, M. Flaxman, O. Arizpe, M. Angeles, M. Cariño, T, Maddock (2006). *Alternative Futures for the Region of La Paz, Baja California Sur, México*. México City: Fundación Mexicana para la Educación Ambiental & International Community Foundation.
- Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática (INEGI). Baja California Sur, Información Geográfica, mapa de Regiones Hidrológicas, 2008.
- Cruz Falcón A, 2007. Caracterización y Diagnóstico del Acuífero de La Paz B.C.S. Mediante Estudios Geofísicos y Geohidrológicos. Tesis de Doctorado, IPNCICIMAR, Diciembre de 2007. 139p.
- Enciclopedia de los Municipios de México; Estado de Baja California Sur; La Paz; Orografía.
- Comisión Nacional del Agua, Subdirección Técnica, Gerencia de Aguas subterráneas, Usos del Agua en La Paz B.C.S. 2002.
- Comisión Nacional del Agua, Subdirección Técnica, Gerencia de Aguas subterráneas, Datos de extracción de agua para uso público-urbano en la Paz B.C.S. Archivos Excel 2005-2008.
- Sistema de Agua Potable y Alcantarillado Municipio La Paz, B.C.S. (SAPA) FRO Ingenieros S.A. de C.V.; Estudio de Diagnóstico y Planeación Integral del Sistema de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Análisis de la Demanda y Agua No Contabilizada, 2003-2005.
- Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática (INEGI). XII Censo General de Población y Vivienda 2000.
- Consejo Nacional de Población (CONAPO), II Conteo Nacional de Población 2005.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) Estadísticas a Propósito del Día Mundial del Agua, Datos Nacionales 2005.
- Datos, Cifras y Mapas. Cuaderno de Información Municipal 2009. H. XIII Ayuntamiento La Paz, B.C.S.
- Tania Molina Ramírez, Jornaleros en el Desierto, El Mundo Ideal de Greenver; www.jornada.unam.mx/2001/04/22mas-mundo.html



- Comisión Nacional del Agua, Gerencia Técnica, Gerencia del Consultivo Técnico. Diagnóstico del Sistema Lagunar de La Paz, Baja California Sur, mayo 2009.
- Comisión Nacional del Agua-Niparáj A.C., Estudio de la Calidad del Agua en 500 Pozos de Baja California Sur, 2004-2005.
- Rodríguez Roxanne (2009): Mitos del sistema de agua potable de La Paz, *Alternativa*, enero.
- Uribe Malagamba Pablo (2009): Los retos de la desalación para La Paz, *Alternativa*, enero.
- Gámez Vázquez Sandino (2009): La Desaladora de La Paz, alternativa, enero
- Valiente Carmina (2009): Lo que el agua se lleva, el tiempo lo regresa. El tratamiento de aguas residuales en La Paz y la salud pública, *Alternativa de BCS*, enero.
- Coplen, T. (1988) "Normalization of oxygen and hydrogen isotope data" *Chemical Geology (Isotope Geoscience Section)*, 72 pp 293-297.
- Werner Roland A. and Brand Willi A. (2001). Referencing strategies and techniques in stable isotope ratio analysis. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 15: 501-519.
- Genhe M, Geilmann H, Richter J, Werner R.A and Brand W.A (2004). Continuous flow 2H/1H and 18O/16O analysis of water samples with dual inlet precision. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 18; 2650-2660.
- Domenico, P. A. and Schwars F.W., *Physical and Chemical Hydrology*, John Wiley Sons Ed. 2nd Edition 1997.
- Carlos Jaime Prieto Bolívar., *El Agua "Sus Formas, Efectos, Abastecimiento, Usos, Danios, Control y Conservación"*, Edición 2-2004, ECOE Ediciones.
- Fred G. Bell, *Engineering Properties of Soils and Rocks*, Fourth Edition, Blackwell Science.
- Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), *Proceso de Certificación de Playas para garantizar la calidad de agua de mar y la reducción de los riesgos a la salud*, Norma Mexicana NMX-AA-120-SCFI-2006.



- Enciclopedia de los Municipios de México; Estado de Baja California Sur; La Paz; Principales ecosistemas.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Delegación Baja California Sur; Áreas Naturales Protegidas. WWW.SEMARNAT.GOB.MX
- Maclovio Obeso Nieblas, et. al. Variabilidad Hidrográfica en la Bahía de La Paz, Golfo de California, México (1995-2005). Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas IPN; Instituto Oceanográfico de la Universidad de Colima. Revista de Biología Marina y Oceanografía, Vol. 43, No. 003.
- F.J. Sandoval, J. Gómez Valdés. Tides and Tidal Currents in Ensenada de La Paz, Baja California Sur, México. Geofísica Internacional, January-March 1997, vol. 36, No. 001; Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ángel R. Jiménez Illescas; Miguel A. Alatorre Mendieta; et. al. Efectos de la construcción de un Canal Artificial entre la Ensenada y la Bahía de La Paz. CICIMAR- Instituto Politécnico Nacional; ICMYL, Universidad Nacional Autónoma de México, 2006.
- Felipe Salinas González; Oleg Zaytsev; Vyacheslav Makarov. Formation of the Thermoahline Structure of Water in the Bahía de La Paz from Summer to Autumn. Universidad Autónoma de Baja California, Ciencias Marinas, marzo 2003, Vol. 29, No. 001. Ensenada, México.
- Gobierno del estado de Baja California Sur; H. Ayuntamiento de La Paz, B.C.S. 2009. www.gbcs.gob.mx
- Consejo Nacional de Población, La población de los municipios de México 1950-1990, UNO servicios gráficos, México, 1994.
- Secretaría de Gobernación. Centro Nacional de Estudios Municipales, Gobierno del Estado de Baja California Sur, Los Municipios de Baja California Sur, en “Colección: Enciclopedia de los Municipios de México”, Talleres Gráficos de la Nación, México, 1987.
- Índice de Desarrollo Humano. Programa de las Naciones Unidas PNUD-México 2007
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Datos estadísticos 2007-2008. H.XIII AYUNTAMIENTO LA PAZ, B.C.S.



- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) Anuario Estadístico del Estado de Baja California Sur, México.
- Gobierno del Estado de Baja California Sur. Secretaría de Pesca y Acuicultura. Volumen y Valor de la Producción 2005-2008. sepescabcs@bcs.gob.mx
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), Censo Económico 1999-2004, (SIE) Baja California Sur.
- María Luisa Cabral Bowling, Baja California Sur: Vista al mar al mejor postor. Diario Vanguardia, Coahuila, México, Universidad Autónoma de Baja California Sur, 15 agosto 2007.
- María Luisa Cabral Bowling, Reflexiones sobre el Modelo de Desarrollo de Baja California Sur. Foro de Análisis, Universidad Autónoma de Baja California Sur, noviembre 2008.
- Programa de Ordenamiento Municipal de La Paz, Política ambiental, Taller 2 La Paz, 2008.
- Antonina Ivanova, Manuel Ángeles, Eduardo Juárez, Ivonne Gómez, Ekaterine Ramírez. Estudio Socio-Económico para la Construcción de Plantas Desaladoras en La Paz B.C.S. Etapa II. Documento interno elaborado para IMPULSA IV, UNAM, Junio 2009.
- Felipe Correa Díaz, El Impacto Social y Económico de la Desalación de Agua de Mar: El proyecto de la Desaladora de Hermosillo, Seminario internacional Desalación de Agua de Mar con Energías Renovables, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Jurídicas-Instituto de ingeniería, Serie Doctrina Jurídica, No. 413, México 2008.
- Halcón T., Peter Patterson y Pablo Uribe (2005): ¿Podemos darle 378,432,000,000,000 de litros anuales de agua a Paraíso del Mar? ¿Tenemos suficiente agua en nuestros hogares? *Análisis*, mayo.
- Velasco Silva Bertoldo (2005): Estamos acabando con el acuífero; urge construir una desaladora en La Paz, *Análisis*, febrero.
- Comisión Nacional del Agua (2008): Viable la construcción de una planta desaladora en La Paz, *Análisis*, agosto.



- Cruz Falcón Arturo, Enrique Troyo Diéguez y Felipe Salinas González (2008): Se acaba el agua en La Paz; se ha sobre explotado el acuífero. revista *Análisis*, noviembre. (7.14)
- Aceves Bueno Juan Salvador (2009): El programa oficial de desarrollo urbano del centro de población de La Paz. Los Problemas sociales y culturales de su aplicación y la búsqueda de un modelo alternativo. *Alternativa*, enero.
- Sabine Lattemann and Thomas Höpner, Rani Amir. UNEP (2008) Desalination Resource and Guidance Manual for Environmental Impact Assessments. United Nations Environment Programme, Regional Office for West Asia, Manama, and World Health Organization, Regional Office for the Eastern Mediterranean, Cairo. UNEP/ROWA 2008 ISBN: 978-92-807-2840-8.



ANEXOS



Los primeros tres parámetros se midieron con un Multiparámetro YSI Modelo 30 (FIGURA A1.2), cuya calibración fue realizada de acuerdo al siguiente procedimiento:

- Se encendió el multiparámetro
- Se seleccionaron tres soluciones con una conductividad similar a la esperada a medir en campo:
 - Para agua de mar se usó YSI catalog 3169, con 50 mS/cm de conductividad estándar.
 - Para agua dulce se usó YSI catalog 3167, con 1 mS/cm de conductividad estándar.
 - Para agua salobres se usó YSI catalog 3168, con 10 mS/cm de conductividad estándar.
- Se vertieron 3 pulgadas de la primer solución en un vaso limpio de precipitado
- Se sumergió la sonda en la solución hasta cubrir por completo el orificio ovalado en el extremo de la sonda. Durante el proceso de calibración la sonda se suspendió por encima del fondo del vaso de precipitado por lo menos 2cm y en el centro del vaso
- Se presionó la tecla MODE hasta que el multiparámetro comenzó a medir conductividad
- Se le permitió estabilizarse un periodo de 60 segundos para tomar la lectura
- Se movió el electrodo de lado a lado para remover cualquier burbuja de aire del mismo
- Se presionaron y soltaron simultáneamente las teclas UP / DOWN ARROW hasta que el símbolo CAL apareciera en la pantalla, indicando que se encuentra en modo de calibración
- Cuando la lectura registrada no correspondió con la de la solución de calibración en turno se hicieron los ajustes
- Una vez que el instrumento lee el valor exacto correspondiente a la solución de calibración en turno, se oprimió ENTER y con esto la calibración concluyó para agua de mar
- Posteriormente se repitió el mismo proceso con las soluciones para agua dulce y agua salobre



FIGURA A1.2 MULTIPARÁMETRO YSI MODELO 30 Y PHÍMETRO OAKTON PHTESTR20



Para la obtención de la lectura de pH se utilizó un pHímetro marca Oakton modelo pHTestr20 con una resolución 0.01pH, calibrado de fábrica (FIGURA A1.2).

La metodología para la medición de los parámetros físicos fue la que a continuación se describe:

- Al llegar al sitio se tomaron las coordenadas del pozo en cuestión
- Si era un pozo en operación se abrió la válvula y se dejó correr el agua por 3 minutos
- Posteriormente se enjuagó el colector con agua del pozo 3 veces y luego se desechó
- A continuación se tomó la muestra y se procedió a la medición de los parámetros
- Por último se recabó la información constructiva y operativa del pozo y se tomaron fotos



Para efectos de calibración del modelo hidrodinámico se midió de esta forma, ya que aunque el modelo puede dar el perfil de la intrusión para cada capa, los cálculos en el tiempo los realiza con el promedio de las calidades del agua de todos los estratos de donde es extraída.

A continuación se presenta la tabla de resultados.

TABLA A1.1. RESULTADOS CON LOS PARÁMETROS FÍSICOS MEDIDOS EN CAMPO

ID	UTM		CONDUCTIVIDAD		STD	T	PH
	X	Y	μS/cm	S/m	ppm	°C	
419	557307	2666870	5070	0.507	2500	29	-
211	560461	2661958	4348	0.4348	2100	28.6	-
143	559121	2658216	749	0.0749	300	29.8	-
s/n	559744	2657779	691	0.0691	300	31.1	-
s/n	558495	2659333	1899	0.1899	900	30.6	-
209	562175	2657374	1315	0.1315	600	29.3	-
s/n	560419	2658600	1981	0.1981	900	28.9	-
205	556655	2660328	1740	0.174	800	29	7.06
378-R	563798	2660285	2425	0.2425	1200	28.2	7.21
252	562972	2664231	5420	0.542	2700	27.9	6.46
408	561117	2663001	8530	0.853	4500	27.9	6.32
217	561247	2662142	6470	0.647	3300	28.1	6.83
Bola De Fuego	561798	2660631	1596	0.1596	700	28.9	6.89
391	562671	2660257	3743	0.3743	1800	28.9	6.77
s/n	561156	2660721	3688	0.3688	1800	28.9	6.65
405	559874	2661337	1559	0.1559	700	31.7	7.08
381-R	559506	2662248	1221	0.1221	600	29.3	7.43
8	570465	2662309	1337	0.1337	600	33.6	7.15
20	570469	2657774	945	0.0945	400	30.5	7.43
19-R	570261	2656150	720	0.072	300	30.6	7.04
21	569424	2656790	642	0.0642	300	30.8	7.23
22	568226	2655653	692	0.0692	300	30.6	7.31
2-R	569010	2655058	806	0.0806	400	30.4	7.67
4-R	567848	2653758	590	0.059	300	30.5	7.36
6-R	567013	2652708	675	0.0675	300	30.2	7.61
24	565986	2653576	777	0.0777	300	29.3	7.77
25	564882	2652512	914	0.0914	400	29.4	7.44
26	563892	2651530	950	0.095	400	29.5	7.77
23	566901	2654422	667	0.0667	300	31.5	7.64
18	566453	2655397	627	0.0627	300	32	7.65
15-Bis	567387	2656573	663	0.0663	300	31.1	7.34
17	568301	2657712	760	0.076	300	30.6	7.48
17-Bis	568198	2658152	1178	0.1178	500	30.3	7.52



IMPACTO DE UNA PLANTA DESALADORA EN UN ACUÍFERO COSTERO
Y SU RELACIÓN CON EL COMPORTAMIENTO DE LA INTRUSIÓN MARINA

16	569706	2658924	825	0.0825	400	30.7	7.03
11	569166	2659529	1165	0.1165	500	31.1	7.3
10	569609	2660492	2624	0.2624	1200	30.8	7.18
9	570046	2661388	1415	0.1415	600	31.2	7.22
12	570375	2663254	2164	0.2164	1000	30.9	7.34
14	570930	2661261	1268	0.1268	600	30.5	7.38
19	571238	2659187	1055	0.1055	400	32.6	7.18
407	561127	2662654	4796	0.4796	2500	26.8	6.83
392	562644	2659409	1858	0.1858	900	28.6	7.16
380-R	562646	2658890	1026	0.1026	500	28.9	7.33
386	560425	2662005	2920	0.292	1400	27.8	6.98
385	560154	2663837	3868	0.3868	2000	26.8	6.88
326	560203	2663461	3510	0.351	1800	27.3	6.91
406	560091	2664257	2952	0.2952	1500	27.1	6.94
384	559035	2663468	2432	0.2432	1100	29.8	7.02
379	559241	2665320	8570	0.857	4400	28.8	6.95
368	559105	2665653	4593	0.4593	2200	29.1	6.88
242-R	563644	2663814	5890	0.589	3000	27.5	6.56
Granja San Miguel	560757	2664533	4157	0.4157	2100	27.3	6.75
197-A	565779	2665328	489	0.0489	400	29.4	7.38
182-R	565990	2664753	2324	0.2324	1100	28.7	7.34
171	565973	2664155	9130	0.913	4800	28.1	6.83
172	565601	2663277	2122	0.2122	1000	28.8	7.26
181-R	566131	2662569	1117	0.1117	500	29.5	7.42
152	566760	2660733	1287	0.1287	600	29.9	7.19
153	566323	2660924	1860	0.186	900	28.7	7.2
164	569087	2661197	2358	0.2358	1200	31.3	6.97
167-R	567624	2659841	1326	0.1326	600	30.3	7.34
145	567721	2663357	4780	0.478	2300	29.3	6.86
141	567843	2663847	560	0.056	2700	29.8	6.77
138	568640	2664309	4784	0.4784	2300	29.3	6.84
134	568658	2665952	3415	0.3415	1600	29.3	6.95
208-R	564622	2658430	3076	0.3076	1500	28.8	6.95
253	561128	2664600	6660	0.666	3600	25.8	6.77
129-B	569366	2665347	3071	0.3071	1500	29.3	7.11
Pozo 2 SAPA	574858	2646689	523	0.0523	200	28.7	6.97
Buen sur	575748	2646598	779	0.0779	400	28.6	6.94
415	570564	2667969	744	0.0744	300	29.6	7.37
416-R	571115	2667974	594	0.0594	300	28.8	7.19
SAPA 2	570850	2670252	618	0.0618	300	28.2	7.13
SAPA 7	571656	2669762	734	0.0734	300	28.3	7.19
SAPA 6	570367	2669204	1250	0.125	600	27.9	7.55
SAPA 4	570315	2668120	995	0.0995	500	29.3	7.09
122-R	564335	2663808	4813	0.4813	2300	29.7	6.77



TABLA A1.2 INFORMACIÓN CONSTRUCTIVA Y DE OPERACIÓN RELACIONADA CON LOS POZOS VISITADO

ID	PROF.	ϕ ADEME	TIPO DE BOMBA	GASTO	OPERACIÓN	CONSTRUCCION	USO
	m	in		lps	h/día	AÑO	
419	29	6	Sumergible	-	2	2002	Ganadero
211	27	-	Vertical	-	5	1980	Agrícola
143	75	12	Vertical	60	2	1985	Agrícola
s/n	45	12	Vertical	29	2	2004	Agrícola
s/n	70	12	Vertical	39	12	-	Agrícola
209	80	8	Vertical	25	7.5	2008, Reposición 30 Años	Agrícola
s/n	62	-	Vertical	-	-	2005, Reposición desconocido	Agrícola
205	47	12	Vertical	-	-	1972, Reposición 4 años	Agrícola
378-R	80	-	Vertical	-	-	1989, Reposición 25 años	Agrícola
252	22	12	Vertical	-	5	1966	Agrícola
408	23	-	Vertical	100	3	1969	Agrícola
217	76	12	Sumergible	16.5	-	1994, Reposición 15 años	Agrícola
Bola De Fuego	80	10	Centrifuga	2	0.5	2003	Agrícola
391	80	14	Vertical	33	3	1975	Agrícola
s/n	80	10	Vertical	-	-	-	Agrícola
405	90	14	Vertical	45	-	1964	Agrícola
381-R	90	14	Vertical	40	-	2007, Reposición 1972	Agrícola
8	300	14	Vertical	-	24	1974	Potable
20	128	14	Vertical	35	24	1980	Potable
19-R	150	12	Sumergible	27	24	1997	Potable
21	150	12	Vertical	24	24	1980	Potable
22	150	12	Vertical	50	24	1980	Potable
2-R	150	12	Sumergible	32	24	1997	Potable
4-R	150	12		20	24	1997	Potable
6-R	150	12	Sumergible	19	24	1997	Potable
24	150	12	Sumergible	54	24	1980	Potable
25	150	12	Vertical	45	24	1980	Potable
26	150	12	Vertical	45	24	1980	Potable
23	150	12	Vertical	32	24	1980	Potable
18	300	12	Vertical	32	24	1975	Potable
15-Bis	150	12	Vertical	27	24	2000	Potable
17	150	12	Vertical	20	24	1975	Potable
17-Bis	150	12	Vertical	30	24	1970	Potable
16	150	12	Vertical	28	24	1975	Potable
11	150	12	Sumergible	25	24	1972	Potable
10	150	12	Vertical	20	24	1972	Potable
9	150	12	Vertical	28	24	1972	Potable
12	150	12	Sumergible	25	24	1972	Potable
14	150	12	Vertical	19	24	1972	Potable
19	150	12	Sumergible	12	24	1980	Potable
407	20	-	Sumergible	0.67	24	1974	Agrícola
392	-	6		25	-	1994	Agrícola
380-R	-	-	Vertical	35	-	-	Agrícola
386	-	-		29	-	-	Agrícola
385	25	-	Centrifuga	0.92	1	-	Pecuario Domestico
326	-	-	Sumergible	1	3	-	Pecuario
406	20	-	Sumergible	5	0.17	1979	Abrevadero
384	35	-	Vertical	25	2	-	Abrevadero
379	-	-	Sumergible	14	-	-	Agrícola-Agropecuario
368	14	-	Sumergible	-	8	-	Agrícola

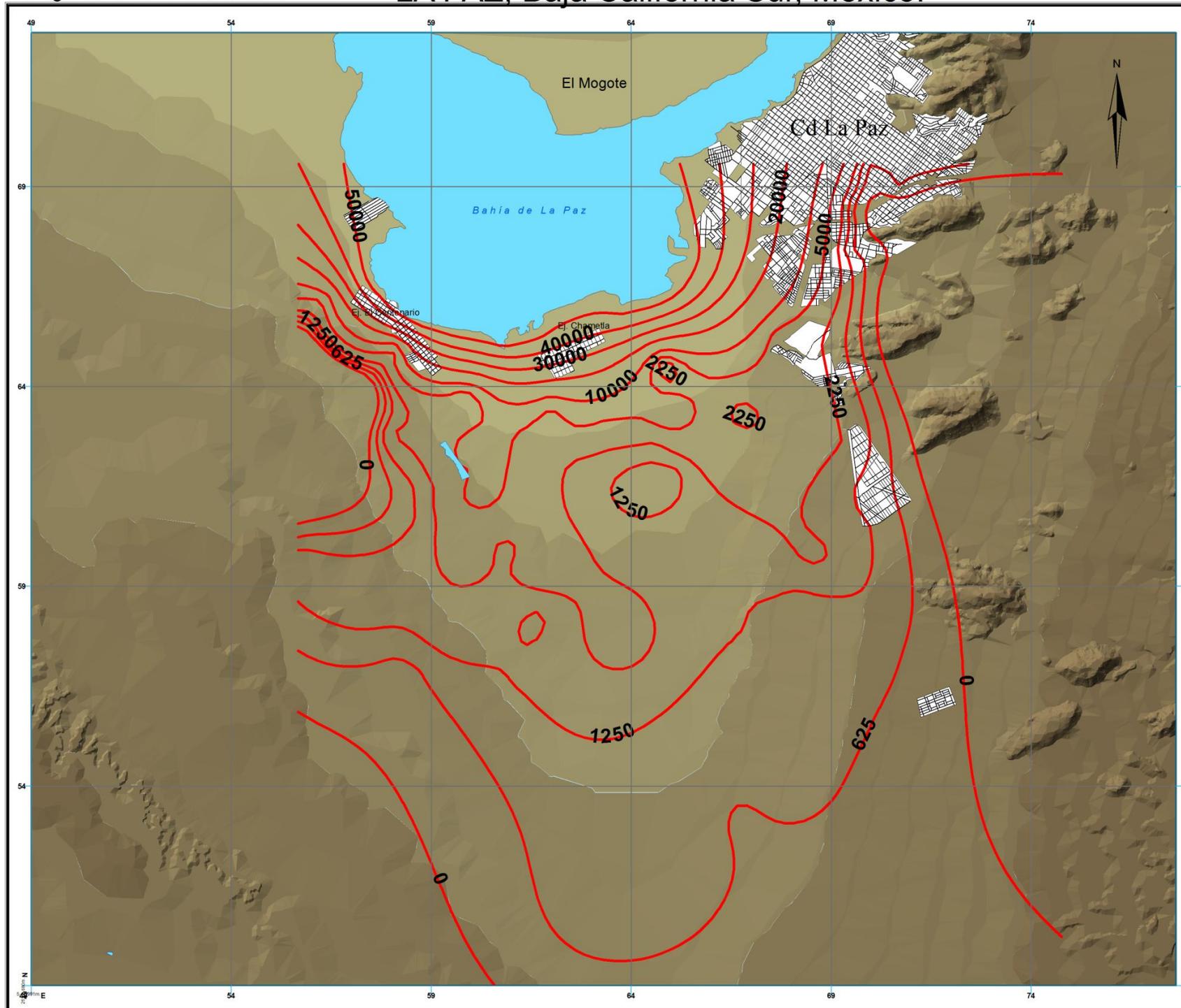


242-R	-	-	Sumergible	2	-	-	Pecuario
Granja San Miguel	6	-	Sumergible	-	-	1959	Domestico-Agropecuario
177-A	-	12	Sumergible	-	1	-	Domestico
182-R	28	-	Vertical	12	-	1969	Agrícola
171	-	12	Vertical	10	-	-	Agrícola
172	50	12	Sumergible	-	-	1992	Domestico
181-R	50	12	Vertical	25	-	1980	Agrícola
152	50	12	Vertical	-	12	1959	Agrícola
153	50	12	Vertical	35	10	1995	Agrícola
164	100	14	Vertical	32	6	1979	Agrícola
167-R	100	14	Vertical	32	6	1995	Agrícola
145	100	12	Vertical	35	24	-	Agrícola
141	-	12	Vertical	25	12	-	Agrícola
138	-	14	Vertical	35	24	-	Potable
134	30	8	Vertical	21	8	1955	Domestico
208-R	60	14	Sumergida	14	-	1989	Agrícola
253	-	-	Centrífuga	27	1	-	Agrícola
129-B	-	12	Vertical	27	12	-	Agrícola
Pozo 2 SAPA	-	-	Sumergida	20	24	-	Potable
Buen sur	-	24	Sumergida	15	2	-	Agrícola
415	83	10	Sumergida	15	5	1981	Industrial PEPSI
416-R	60	14	Sumergida	30	-	2007	Industrial COCA-COLA
SAPA 2	-	-	Vertical	20	24	-	Potable SAPA
SAPA 7	-	-	Sumergida	20	24	-	Potable SAPA
SAPA 6	-	-	Vertical	-	24	-	Potable SAPA
SAPA 4	-	-	Vertical	-	24	-	Potable SAPA
122-R	50	12	Sumergida	-	5	1993	Domestico-Riego

Se observa en las FIGURAS A1.3 y A1.4 que las configuraciones de conductividad y de STD son muy similares en una relación 2 a 1, tal y como se esperaba. Según la NOM-127-SSA1-1994 el límite máximo permisible para agua potable corresponde a una conductividad equivalente a las 1000ppm.

En las FIGURAS A1.5 y A1.6 se muestran las configuraciones de temperatura y pH, respectivamente. En cuanto a pH se observa que los valores se encuentran dentro de la norma, excepto por los pozos 252 y 408, que están por debajo del límite (6.46 y 6.32).





Configuración Conductividad (S/cm)

Conductividad 2009

Vías de Comunicación

Calles

Area Urbana

Limite Zona Urbana

Almacenamientos de Agua

Almacenamientos

Topografía

Elevación (m)

- 1000 - 1260
- 800 - 1000
- 600 - 800
- 400 - 600
- 200 - 400
- 100 - 200
- 50 - 100
- 20 - 50
- 10 - 20
- 0 - 10



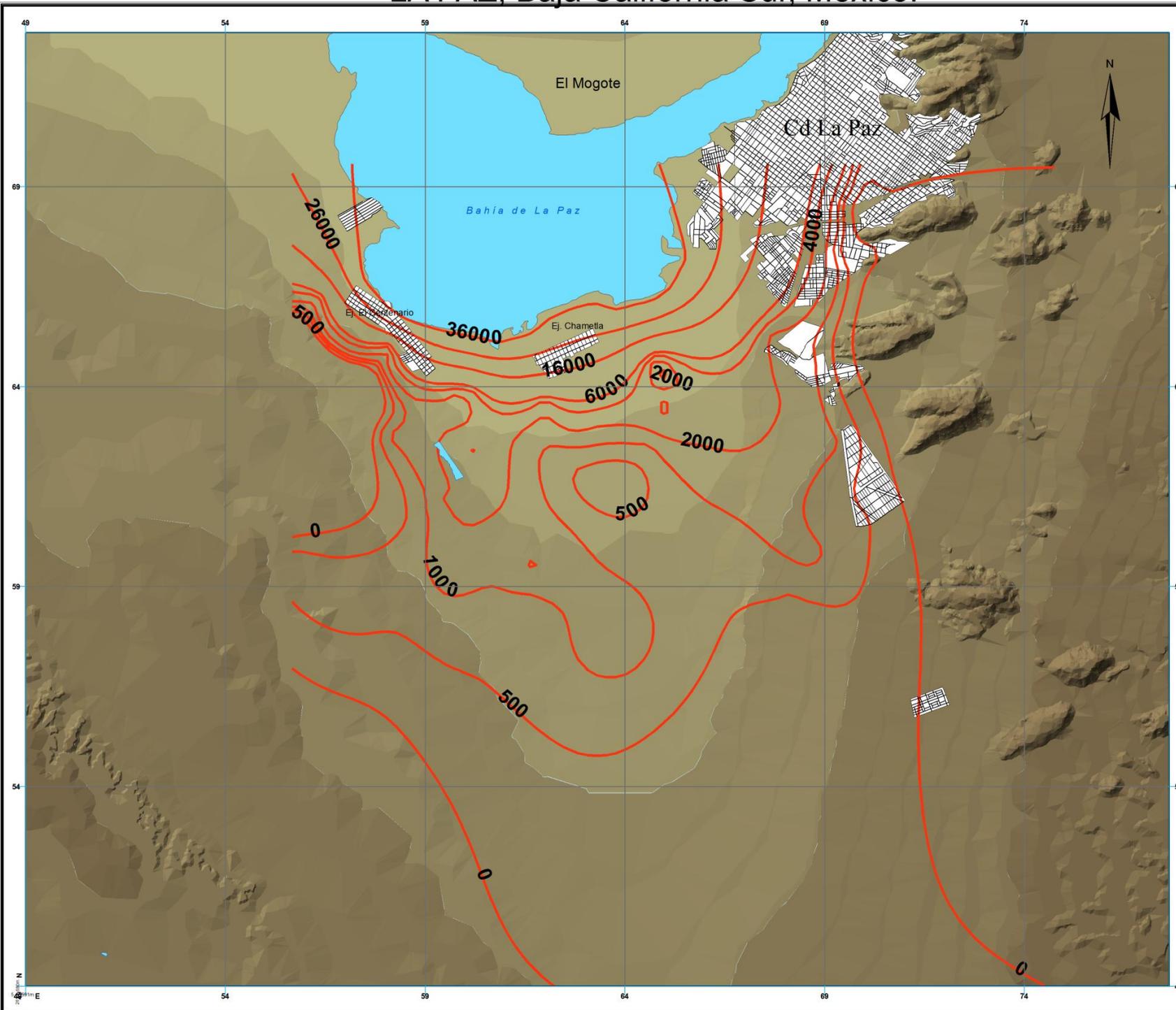
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA
SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

SITUACIÓN ACTUAL Y POSIBLES ESCENARIOS DE INTRUSIÓN SALINA EN EL ACUÍFERO DE LA PAZ, B.C.S. Y SU APROVECHAMIENTO COMO FUENTE DE DESALACIÓN PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE

No. Contrato: SGT-GAS-001-08

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM

FIG. 5.3 México, D.F., Enero 2010



Configuración STD (ppm)

STD

Vías de Comunicación

Calles

Area Urbana

Limite Zona Urbana

Almacenamientos de Agua

Almacenamientos

Topografía

Elevación (m)

- 1000 - 1260
- 800 - 1000
- 600 - 800
- 400 - 600
- 200 - 400
- 100 - 200
- 50 - 100
- 20 - 50
- 10 - 20
- 0 - 10

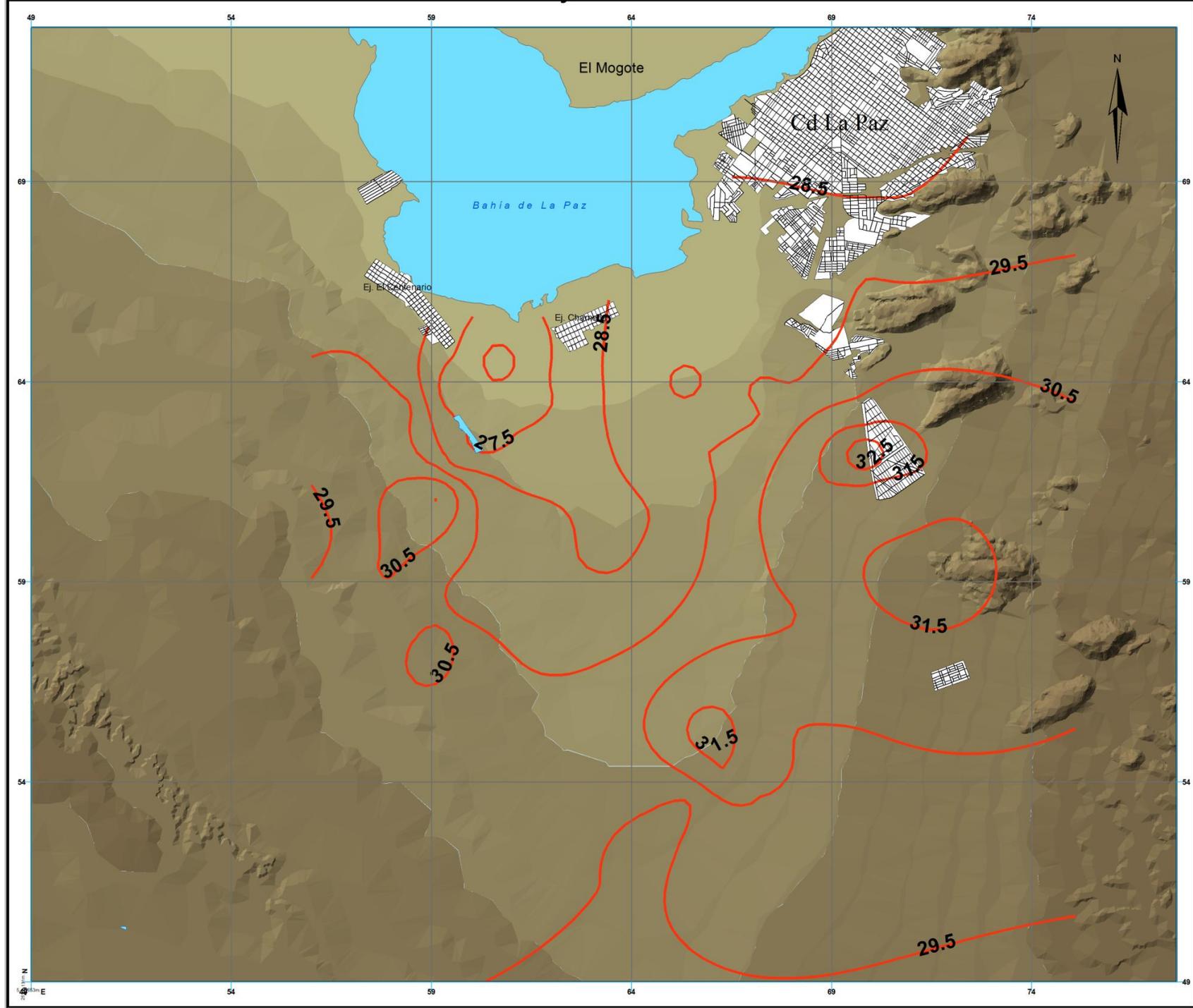


COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA
SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

SITUACIÓN ACTUAL Y POSIBLES ESCENARIOS DE INTRUSIÓN SALINA EN EL ACUÍFERO DE LA PAZ, B. C. S. Y SU APROVECHAMIENTO COMO FUENTE DE DESALACIÓN PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE

No. Contrato: SGT-GAS-001-08

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM



Configuración Temperatura (°C)

— Temperatura 2009

Vías de Comunicación

— Calles

Area Urbana

— Limite Zona Urbana

Almacenamientos de Agua

— Almacenamientos

Topografía

Elevación (m)

- 1000 - 1260
- 800 - 1000
- 600 - 800
- 400 - 600
- 200 - 400
- 100 - 200
- 50 - 100
- 20 - 50
- 10 - 20
- 0 - 10



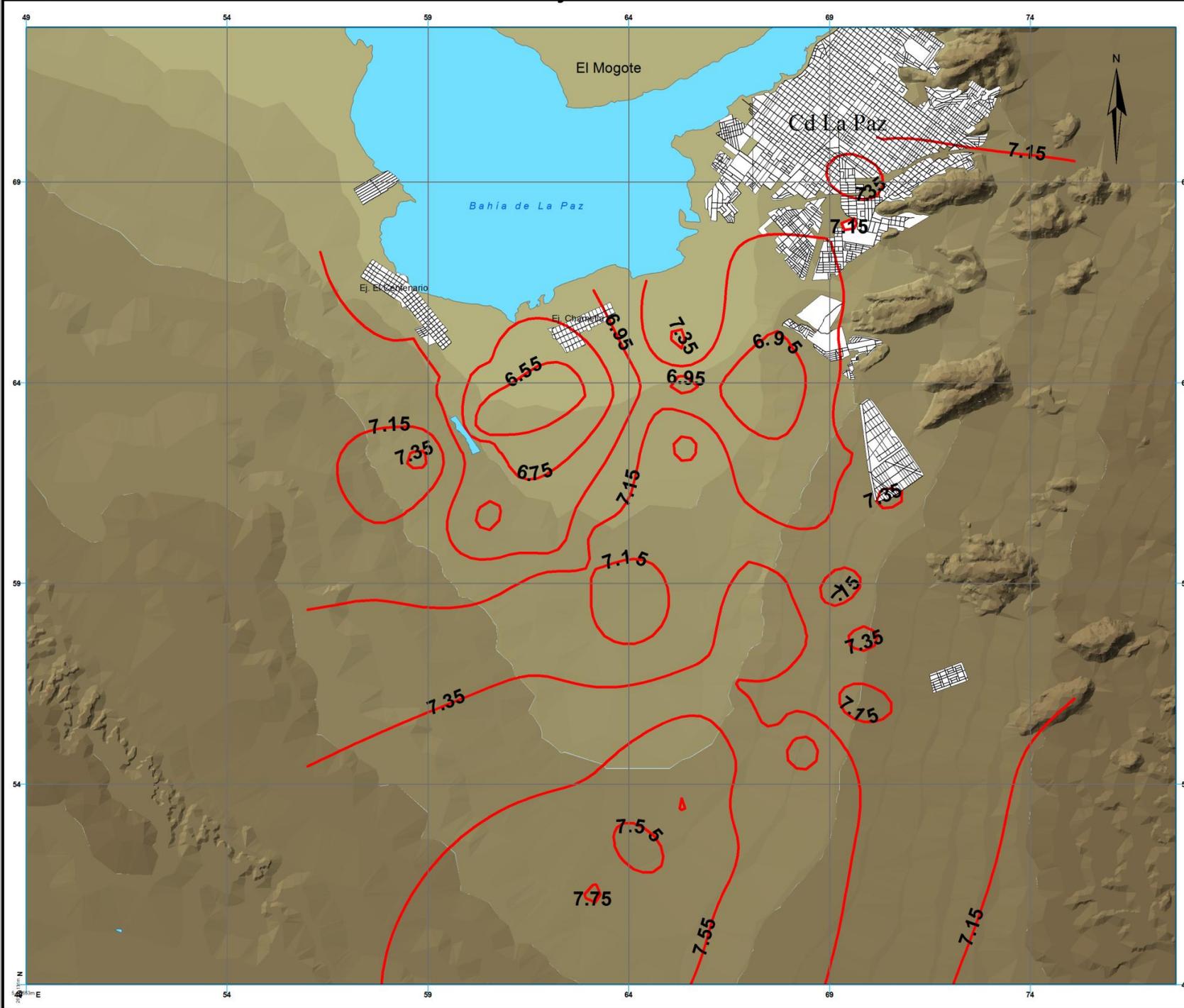
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA
SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

SITUACIÓN ACTUAL Y POSIBLES ESCENARIOS DE INTRUSIÓN SALINA EN EL ACUÍFERO DE LA PAZ, B.C.S. Y SU APROVECHAMIENTO COMO FUENTE DE DESALACIÓN PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE

No. Contrato: SGT-GAS-001-08

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM

FIG. 5.5 México, D.F., Enero 2010



Configuración de pH
 pH

Vías de Comunicación
 Calles

Area Urbana
 Limite Zona Urbana

Almacenamientos de Agua
 Almacenamientos

Topografía
Elevación (m)

- 1000 - 1260
- 800 - 1000
- 600 - 800
- 400 - 600
- 200 - 400
- 100 - 200
- 50 - 100
- 20 - 50
- 10 - 20
- 0 - 10



COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA
 SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
 GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

SITUACIÓN ACTUAL Y POSIBLES ESCENARIOS DE INTRUSIÓN SALINA EN EL ACUÍFERO DE LA PAZ, B.C.S. Y SU APROVECHAMIENTO COMO FUENTE DE DESALACIÓN PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE

No. Contrato: SGT-GAS-001-08

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM

FIG. 5.6 México, D.F., Enero 2010

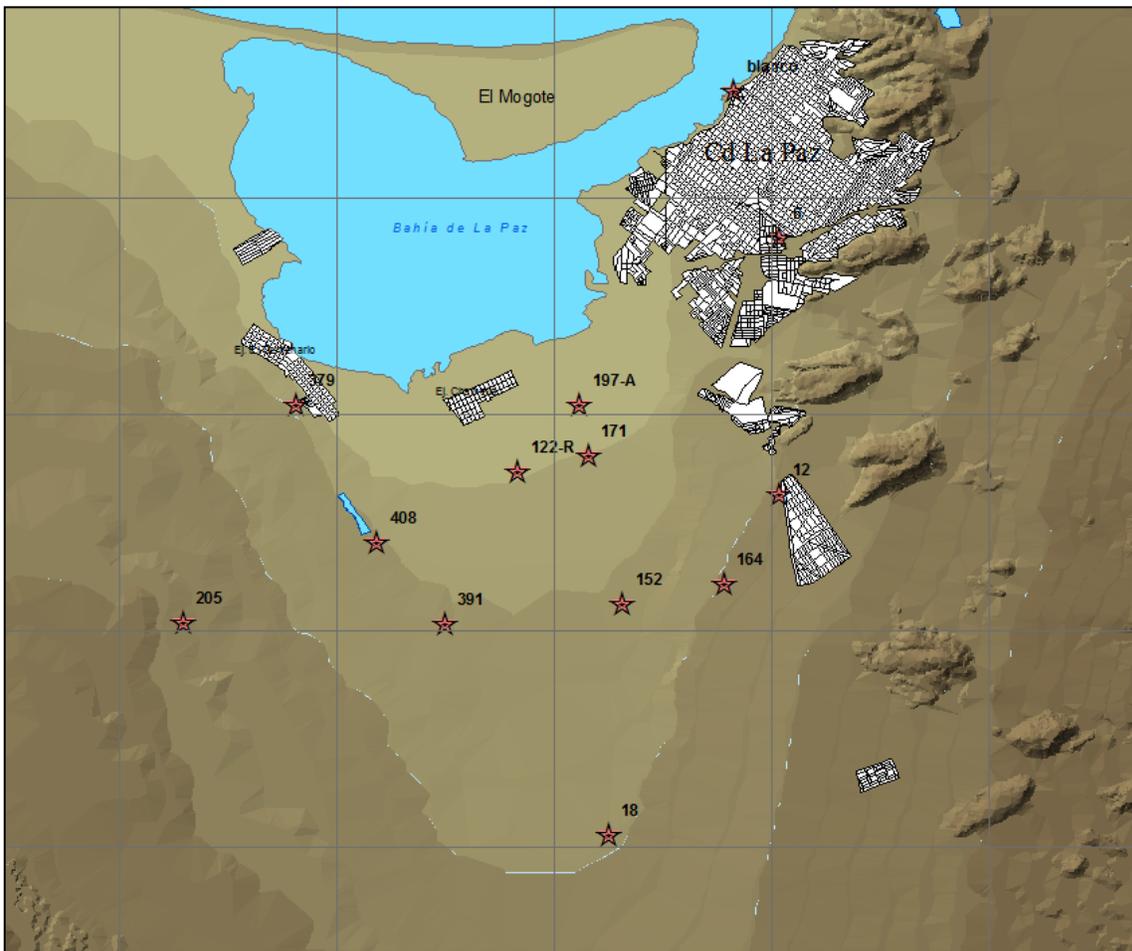
Análisis químicos

Los análisis químicos consistieron en dos tipos: análisis de elementos mayores (aniones y cationes) y otro de isotopía para conocer el origen de las aguas.

Metodología de recolección de muestras en campo

Se recolectaron doce muestras de agua del acuífero y una de mar según la distribución que se muestra en la FIGURA A1.7 y posteriormente se enviaron al laboratorio de Edafología Ambiental y al laboratorio de Espectrometría de Masas de Isótopos Estables pertenecientes al Instituto de Geofísica de la UNAM para su análisis.

FIGURA A1.7 LEVANTAMIENTO DE PARÁMETROS QUÍMICOS DEL AGUA EN EL VALLE DE LA PAZ



La metodología utilizada para la colecta de muestras en campo se describe a continuación:

- Al llegar al sitio se tomaron las coordenadas del pozo en cuestión
- Si era un pozo en operación se abrió la válvula y se dejó correr el agua por 3 minutos
- Se enjuagó con agua destilada el recipiente en donde se colectó la muestra para eliminar polvo y suciedad o algún tipo de contaminación
- Posteriormente se acondicionó el filtro de 0.45 de nitrocelulosa pasando 100ml de agua del pozo a través de él y enjuagando 3 veces la botella de filtrado con esta porción
- A continuación se descartó ese filtrado y luego se colectó el volumen requerido para la muestra filtrándola
- Dado que para algunos análisis era necesario acidificar las muestras para impedir el crecimiento de microorganismos se les agregó ácido sulfúrico hasta disminuir su pH a menos de 3; lo cual se comprobaba con el pHímetro
- Se cerraba la botella y se sellaba con parafilm
- Finalmente se etiquetaron con la clave del pozo, fecha y tipo de análisis a practicarse en la misma

Cabe mencionar que las muestras se transportaron en hieleras del sitio de recolección al punto de envío y en menos de 24 horas se encontraban en los laboratorios de la UNAM en donde se preservaron a 4°C hasta su análisis.

Metodología de análisis en laboratorio

Entre los cationes analizados se encuentran Ca, Mg, Na y K, y respecto a los aniones tenemos CO₃, HCO₃, Cl, NO₂, Br, NO₃, HPO₄, SO₄.

Todas las muestras se filtraron con un filtro de nitrocelulosa de 0.22µm y luego se determinaron en cromatografía utilizando diferentes diluciones. Se utilizó un cromatógrafo de líquidos marca Waters que tiene un detector de conductividad para determinar las concentraciones de los analitos.

Para determinar los aniones se utilizó una columna de separación aniónica ICPack HR, que requiere una mezcla de Gluconato Borato de Sodio 1.3mM, en acetonitrilo al 1.2 % y 0.2% de butanol como fase móvil, a un flujo de 1 ml/min con control de temperatura de la columna a 35°C.

Para los cationes se utilizó una columna Metrhomn, que requiere una mezcla de ácido dipicolínico 0.75 mM y ácido tartárico 4mM, como fase móvil, a un flujo de 1 ml/min con control de temperatura de la columna a 35°C.



Con lo que respecta a los isótopos analizados se encuentran oxígeno 18 ($\delta^{18}\text{OVSMOW}$) y deuterio ($\delta^2\text{HVSMOW}$) y para cada una de las 12 muestras más una de mar se obtuvo la alícuota correspondiente.

Las medidas se realizaron utilizando un espectrómetro de masas para medir isótopos estables Delta Plus XL, usando un Analizador de Termo descomposición a alta temperatura (TC/EA), un automuestreador GC PAL y como interfase un Conflo III.

Las muestras de agua fueron filtradas utilizando una membrana con un tamaño de poro de $0.22\mu\text{m}$. La temperatura del TC/EA fue de 1350oC utilizando un reactor descrito en (Genre 2004). Cada muestra se inyectó 6 veces. Para verificar los resultados se inyectó cada 6 muestras un estándar de agua.

Se utilizó un tanque de CO 99.99% de Praxair como gas de trabajo ($\delta^{18}\text{OVSMOW} = 6.15$ and $\delta^{13}\text{CVPDB} = -38.05$), el cual fue calibrado con un tanque de CO marca Oztech ($\delta^{18}\text{OVSMOW} = -5.5$ and $\delta^{13}\text{CVPDB} = -55.5$).

La $\delta^{18}\text{OVSMOW}$ de las muestras fue calculada utilizando la siguiente expresión.

$$\delta^{18}\text{O} = \left[\frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{Muestra}}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{VSMOW}}} - 1 \right] \cdot 10^3$$

Se utilizó un tanque de H_2 99.9999% ($\delta^2\text{HVSMOW} = -128$) el cual fue calibrado con un tanque marca Oztech of H_2 ($\delta^2\text{HVSMOW} = -124.15$)

La $\delta^2\text{HVSMOW}$ de las muestras fue calculada utilizando la siguiente expresión:

$$\delta^2\text{H} = \left[\frac{(^2\text{H}/\text{H})_{\text{Muestra}}}{(^2\text{H}/\text{H})_{\text{VSMOW}}} - 1 \right] \cdot 10^3$$

Los resultados de $\delta^{18}\text{OVSMOW}$ y $\delta^2\text{H VSMOW}$ fueron normalizados en la escala VSMOW, SLAP de acuerdo con Coplen, Tyler, (1988) and Werner (2001)

Para estimar la precisión y exactitud de la medida del conjunto de muestras se utilizó una muestra de valor conocido como estándar interno W3888 lab ref 921201 del USGS. Para esta técnica $\delta^{18}\text{OVSMOW} = -6.21 \pm 0.12 \text{‰}$ y $\delta^2\text{H VSMOW} = -36.1 \pm 1.2 \text{‰}$ $n = 30$, La desviación estándar reportada por otros laboratorios es de $0,2 \text{‰}$ para la relación isotópica de oxígeno y 2‰ para hidrógeno. El valor reportado para esta muestra por Tyler Coplen es $\delta^{18}\text{OVSMOW} = -6.21 \text{‰}$ y $\delta^2\text{H VSMOW} = -35.7 \text{‰}$.



Resultados

Los resultados del análisis de elementos mayores se compararon con los la NOM-127-SSA1-1994 (TABLA A1.3) y para el caso de los elementos Ca y Mg se tomaron en cuenta las recomendaciones del Ph.D. František Kožíšek del Instituto Nacional de la Salud Pública, República Checa; quien encontró en sus investigaciones que el agua puede ser considerada potable si contiene de 40 a 80 mg/l de calcio y de 20 a 30 mg/l de magnesio sin ocasionar problemas de salud a la población.

TABLA A1.3 LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES SEGÚN LA NOM-127-SSA1

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE (ppm)
Aluminio	0,20
Arsénico (Nota 2)	0,05
Bario	0,70
Cadmio	0,005
Cianuros (como CN ⁻)	0,07
Cloro residual libre	0,2-1,50
Cloruros (como Cl ⁻)	250,00
Cobre	2,00
Cromo total	0,05
Dureza total (como CaCO ₃)	500,00
Fenoles o compuestos fenólicos	0,3
Fierro	0,30
Fluoruros (como F ⁻)	1,50
Hidrocarburos aromáticos en microgramos/l:	
Benceno	10,00
Etilbenceno	300,00
Tolueno	700,00
Xileno (tres isómeros)	500,00
Manganeso	0,15
Mercurio	0,001
Nitratos (como N)	10,00
Nitritos (como N)	1,00
Nitrógeno amoniacal (como N)	0,50
pH (potencial de hidrógeno) 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)	1,00
Gamma-HCH (lindano)	2,00



Hexaclorobenceno	1,00
Heptacloro y epóxido de heptacloro	0,03
Metoxicloro	20,00
2,4 – D	30,00
Plomo	0,01
Sodio	200,00
Sólidos disueltos totales	1000,00
Sulfatos (como SO ₄ =)	400,00
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	0,50
Trihalometanos totales	0,20
Yodo residual libre	0,2-0,5
Zinc	5,00

De acuerdo a los resultados presentados en la TABLA A1.4, se observa que los pozos con que presentan un mayor grado de contaminación por intrusión marina son el 171, 391, 379, 122-R y el 408; lo cual concuerda perfectamente con las lecturas de los sólidos totales disueltos en campo que fueron reportadas: 4800, 1800, 4400, 2300 y 4500 ppm respectivamente.

En cuanto al calcio, tan sólo una tercera parte de ellos cumple la recomendación del Dr. František Kožíšek y el resto excede la misma.

Otro parámetro que llama la atención es el de los nitratos, cuyo límite máximo permisible es de 10 y al cuál exceden 7 de los 12 pozos. Y para el caso del pozo 379 la concentración de dicho elemento va hasta las 988 ppm.

Los demás elementos se encuentran dentro de la norma.

TABLA A1.4 RESULTADOS DE ELEMENTOS MAYORES

Clave de campo	Clave de laboratorio	CATIONES				ANIONES							
		Ca ppm	Mg ppm	Na ppm	K ppm	CO ₃ ppm	HCO ₃ ppm	Cl ppm	NO ₂ ppm	Br ppm	NO ₃ ppm	HPO ₄ ppm	SO ₄ ppm
Agua de mar	A09-190	420	1676.1	2416.2	269	60.5	53.4	7845.7	nd	9.3	nd	nd	2939.2
Pozo 6	A09-191	75.6	26.6	145.7	4.3	33.2	249.6	251.4	nd	nd	84.1	nd	17
Pozo 12	A09-192	111.1	57.2	160.6	4.3	56.4	78.4	483.9	nd	nd	149.1	nd	49.9
Pozo 18	A09-193	29.4	10.4	80.7	1.8	23.3	74.6	74.6	nd	nd	10	nd	5.3
Pozo 152	A09-194	79.4	34	64.7	3.3	29.1	400.4	140.5	nd	nd	nd	nd	5.3
Pozo 164	A09-195	184.4	65.3	119.5	9.1	31.4	65.2	565.6	nd	nd	5	nd	14.4
Pozo 171	A09-196	511.1	310.8	635.6	13.7	42.5	0	3486.7	nd	nd	13.1	nd	254.2
Pozo 197-A	A09-197	48	27.1	172	3	46	268.7	281.2	nd	nd	20.4	nd	69.7
Pozo 205	A09-198	100	38.5	134.3	1.4	35.5	21.8	832.4	nd	nd	9.8	nd	12.8
Pozo 391	A09-199	378.3	113.3	368.3	4.7	13.4	371.5	1469.4	nd	3.2	20.6	nd	160.9
Pozo 379	A09-200	392.2	107.1	1012.3	9.6	44.8	0	2923.2	nd	2.2	988	nd	586.3
122-R	A09-201	335	162.1	396.8	3.8	20.4	21.6	1564.6	nd	30	88.1	nd	768.6
Pozo 408	A09-202	622.2	270.3	704.1	8.9	30.8	22.3	3170.3	nd	38.2	nd	nd	515.6

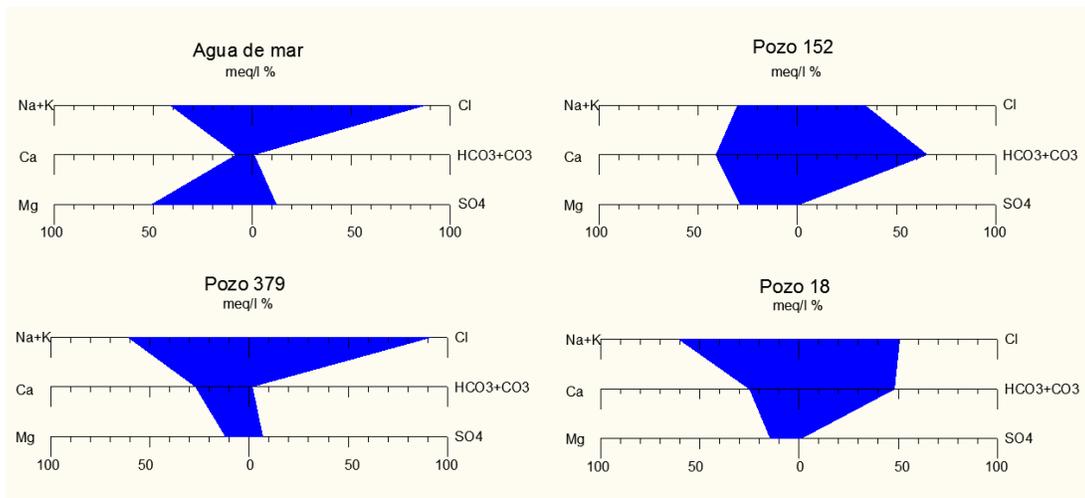


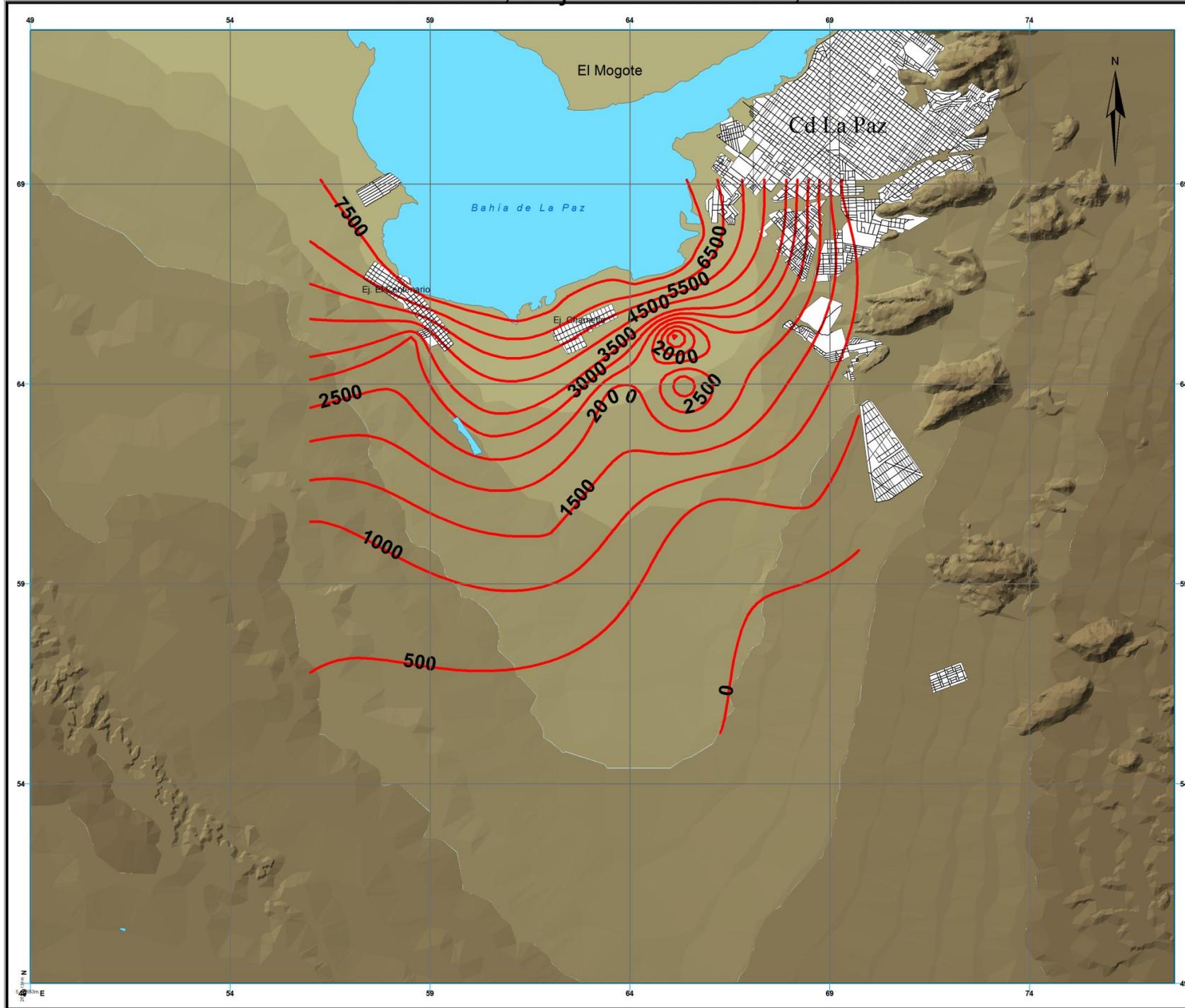
Otro indicador del avance de la intrusión marina es la configuración de cloruros que se representa en la FIGURA A1.8.

A partir de los resultados de elementos mayores se construyeron los diagramas de Stiff (FIGURAS A1.9 y A1.10) para cada una de las muestras, de donde se identifican 3 familias de aguas principalmente:

- Agua de reciente infiltración como lo muestra el pozo 152, que se encuentra localizado en la zona de recarga
- Agua con influencia marina, como el 379 y
- Agua con mayor influencia de agua meteórica como el pozo 18, aunque presentando algún tipo de contaminación antropogénica.

FIGURA A1.9 DIAGRAMAS DE STIFF REPRESENTATIVOS DEL AGUA DE MAR EN LA PAZ, B.C.S, Y DE LAS FAMILIAS DE AGUA ENCONTRADAS EN LA ZONA





Configuración de Cloruros (ppm)

Cloruros 2009

Vías de Comunicación

Calles

Area Urbana

Limite Zona Urbana

Almacenamientos de Agua

Almacenamientos

Topografía

Elevación (m)

- 1000 - 1260
- 800 - 1000
- 600 - 800
- 400 - 600
- 200 - 400
- 100 - 200
- 50 - 100
- 20 - 50
- 10 - 20
- 0 - 10



COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA
SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

SITUACIÓN ACTUAL Y POSIBLES ESCENARIOS DE INTRUSIÓN SALINA EN EL ACUÍFERO DE LA PAZ, B.C.S. Y SU APROVECHAMIENTO COMO FUENTE DE DESALACIÓN PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE

No. Contrato: SGT-GAS-001-08

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM

Finalmente, los resultados de isotopía sirvieron para corroborar lo detectado por la lectura de parámetros físicos y análisis de elementos mayores. Así se tienen 3 métodos de entender la dinámica del acuífero (TABLA A1.5).

TABLA A1.5 RESULTADOS ISOTÓPICOS

Clave Lab	$\delta^2\text{H}_{\text{VSMOW}} \text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}} \text{‰}$	$\delta\text{-excess}[\text{‰}]$	ID
MMM 01	-69.3	-9.73	8.5	164
MMM 02	-70.8	-9.77	7.4	152
MMM 03	-68.8	-9.36	6.1	171
MMM 04	-69.5	-9.7	8.1	197-A
MMM 05	-55.1	-7.37	3.9	379
MMM 06	-60.8	-8.08	3.9	408
MMM 07	-63.1	-8.35	3.6	391
MMM 08	-67.6	-8.95	4	122-R
MMM 09	-70	-9.35	4.8	205
MMM 10	-74	-9.64	3.1	12
MMM 11	-65.6	-8.82	4.9	18
MMM 12	-89.1	-11.55	3.3	6
MMM 13	-3.7	0.34	-6.5	blanco

En la FIGURA A1.11 se muestra la línea meteórica del agua y paralela a ella, muy cerca, se encuentran todas las muestras recolectadas en los pozos; lo cual indica que todos ellos toman agua del almacenamiento que es producto de la infiltración del agua de lluvia; y que en mayor o menor grado se han ido contaminando con el agua de mar, según se alejen o se acerquen a la muestra del agua de mar.

Por ejemplo, el pozo 379 resulta ser la más contaminada con agua de mar (por ser la más cercana al origen). El pozo 6, si bien es la que menor influencia de agua marina presenta, su composición isotópica muestra que tiene algún tipo de contaminación ya que guarda cierta distancia con respecto a la línea meteórica del agua.



FIGURA A1.11 RESULTADOS DE ISOTOPÍA

