



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



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

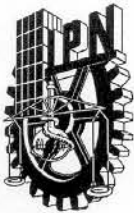
TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS
EN
CIENCIAS MARINAS

PRESENTA

ARTURO CRUZ FALCÓN

LA PAZ, B.C.S., DICIEMBRE DE 2007



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
ACTA DE REVISION DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 12:00 horas del día 31 del mes de Octubre del 2007 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR

para examinar la tesis de grado titulada:

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

Presentada por el alumno:

CRUZ

Apellido paterno

FALCÓN

materno

ARTURO

nombre(s)

Con registro:

B	0	3	1	4	5	2
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante al grado de:

DOCTORADO EN CIENCIAS MARINAS

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISION REVISORA

Director de tesis
PRIMER VO CAL

DR. FELIPE SALINAS GONZÁLEZ

PRESIDENTE

DR. ENRIQUE HIPARCO NAVA SÁNCHEZ

SECRETARIO

DR. SERGIO AGUÍNIGA GARCÍA

SEGUNDO VO CAL

DR. JORGE RAMÍREZ HERNÁNDEZ

TERCER VO CAL

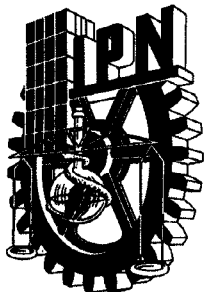
DR. ROGELIO VÁZQUEZ GONZÁLEZ

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

DR. RAFAEL CERVANTES DUARTE



L. P. N.
CICIMAR
DIRECCION



**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 20 del mes Noviembre del año 2007, el (la) que suscribe ARTURO CRUZ FALCÓN alumno(a) del Programa de DOCTORADO EN CIENCIAS MARINAS con número de registro B031452 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo al dirección de: DR. FELIPE SALINAS GONZÁLEZ y cede los derechos del trabajo titulado: "CARACTERIZACIÓN Y DIAGNÓSTICO DEL ACUÍFERO DE LA PAZ, B.C.S. MEDIANTE ESTUDIOS GEOFÍSICOS Y GEOHIDROLÓGICOS" al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: afalcon04@cibnor.mx fsalinas@ipn.mx

Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

ARTURO CRUZ FALCÓN

nombre y firma

DEDICATORIA

A mis padres:

Daniel Cruz Bringas (†)

Gloria Falcón de Cruz

A mi esposa:

María del Carmen Escalante Martínez

Mis hijos:

Arturo (Pichón)

Carolina (Reina)

Carmen Itzel (Chiquita)

Mis hermanos:

Marina

Daniel

Carlos

Martha

Olivia

A mis demás familiares (sobrinos y cuñados)

AGRADECIMIENTOS

- ✓ Al Dr. Felipe Salinas González por su excelente dirección en el desarrollo de esta tesis. Siempre con entusiasmo y firmeza.

- ✓ A los investigadores miembros del comité de tesis: Dr. Enrique H. Nava Sánchez (CICIMAR), Dr. Sergio Aguiñiga García (CICIMAR), Dr. Rogelio Vázquez González (CICESE), Dr. Jorge Ramírez Hernández (UABC), y Dr. Viatcheslav Makarov (CICIMAR), por todo su apoyo para la realización de este trabajo, asesorías, comentarios y acertadas sugerencias.

- ✓ A los Investigadores: Dr. Alejandro D. Alvarez Arellano (UABCS), Dr. Enrique Troyo Diéguez CIBNOR), y Dr. Oscar E. Holguín Quiñónez (CICIMAR), por sus aportaciones y apoyo en las actividades relacionadas con mis estudios de posgrado.

- ✓ Al Dr. Juan Manuel Espinoza Cardeña (CICESE), por su sincera y valiosa ayuda en la toma de criterios, procesamiento de datos y programas facilitados.

- ✓ Al Ing. José Luis Meza Trejo (CNA). Por su accesibilidad, así como por facilitar los informes de estudios geohidrológicos del valle de La Paz.

- ✓ Al Ing. Joaquín Rivera Rosas (CIBNOR) por su amistad y valioso apoyo en el manejo de programas y desarrollo de sistemas de información geográfica.

- ✓ A la M.C. Sandra Robles Gil (CNA), por asesorarme y facilitar información hidrometeorológica.

- ✓ Al Dr. Jorge A. Arzate Flores (IGU), por facilitarme la información de sondeos eléctricos y magnéticos de los levantamientos realizados en 1985 por SARH-UNAM-UABCS, 1986.

- ✓ Al Ing. Miguel Angel Calderón Bernal (CNA) por la información piezométrica y de calidad de agua.

- ✓ A Santiago Rodríguez Álvarez (CIBNOR) por su valioso apoyo en la encuadernación de esta tesis.

- ✓ A la Secretaría de Investigación y Posgrado del Instituto Politécnico Nacional por el apoyo financiero a los proyectos CGPI:2003164, y CGPI:20041050.

- ✓ Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo a través de la beca doctoral.

- ✓ Agradezco a todos los colegas y amigos su apoyo y comprensión durante el desarrollo de la presente tesis.

“ El agua ”

Tú, dulce agua cristalina
Que brotas del manantial
Mi sed se termina
Con tu dulce sabor natural

No quiero jugo
Ni quiero leche
Solo quiero agua
Sin importar lo que le eche

No quiero perderte
Tampoco agotarte
Quiero protegerte
Para lograr encontrarte

Permanece siempre fresca
Permanece siempre limpia
Quiero que mi sed crezca
Para beberte cada día

Agua no te agotes
Ni te contamines
Permanece limpia
Y nunca te extermines

Cuidemos el agua potable
No tirando basura
Elemento tan despreciable
Que nos llena de locura

El agua es inodora
El agua es incolora
Ella me oxigena
Y me hace sentir llena

Con ella me lavo
Con ella me refresco
Siempre limpia acabo
Sintiendo lo fresco

El agua es tu amiga
Y nos llena la barriga
Nace, crece y nos da vida
Por favor...
no provoques su partida.

**Carolina
Cruz
Escalante**

Septiembre de 2007.

RESUMEN

Mediante estudios geofísicos y geohidrológicos en la cuenca de La Paz se caracterizó el acuífero y se estimaron las condiciones actuales de explotación, para determinar su inestabilidad e impacto en un futuro cercano.

Con el análisis de información geofísica de otros estudios realizados en el valle de La Paz se construyó un modelo de seis capas de la zona acuífera. Las tres capas superiores tienen un basamento de material volcánico y conforman un acuífero libre, y las tres capas inferiores con un basamento cristalino forman un acuífero semiconfinado. Con el uso del método gravimétrico apoyado con sondeos eléctricos y datos aeromagnéticos se estimó la profundidad al basamento cristalino de la fosa tectónica del valle de La Paz y se determinó la estructura geológica regional. Las profundidades al basamento van de 0 a 200 m al centro y este del valle, de 200 a 500 m al sur y sureste, y es más profundo (hasta 1500 m) hacia el oeste, NNW y NNE. El basamento presenta un basculamiento en dirección WNW. Se identificaron las fallas La Paz y El Carrizal, que forman respectivamente los flancos este y oeste del graben. Por interpretación de la anomalía magnética se infiere que la falla El Carrizal se prolonga al sur hasta el océano Pacífico, y la falla La Paz se acuña con la falla El Carrizal formando un graben triangular. Se estimó la capacidad potencial de almacenamiento de agua de la zona de explotación acuífera hasta el basamento del acuífero, resultando en un volumen de 9,467 Mm³ y una disponibilidad de 947 Mm³. Se analizó la información piezométrica y química de pozos, para observar la evolución de los niveles estáticos y sólidos totales disueltos (STD) causada por la sobreexplotación del acuífero y la intrusión marina. De esto resalta que de 1990 a 2004 la profundidad a los niveles estáticos ha aumentado más de 10 m, la elevación de los niveles estáticos ha disminuido notablemente hasta -10 m bajo el NMM, y los STD se han concentrado más en zonas más retiradas de la línea de costa. De la evolución de los STD, se infiere que la cuña de intrusión marina en la zona de explotación acuífera se localiza aproximadamente a 5.25 km de la línea de costa en la parte este, y 6.25 km en la parte oeste. Utilizando un sistema de información geográfica (SIG) con la ecuación de balance hidrológico, se estimó la recarga vertical por lluvias en la cuenca de La Paz (área de 1,275 km²) en 67 Mm³/año. Con

información piezométrica y la Ley de Darcy, se estimó la recarga horizontal por flujo subterráneo de agua dulce y de mar en la zona de explotación acuífera (superficie de 200 km²), así mismo, se estimó la recarga vertical por lluvias en esta misma zona. Los resultados indican una recarga total de agua dulce de 18.5 Mm³/año. Con una extracción de 31.8 Mm³/año en la zona de explotación acuífera para el 2004, se estimó un balance de -13.3 Mm³/año, pero debido a que la recarga estimada de agua de mar fue de 4.3 Mm³/año, el balance se reduce a -9 Mm³/año. Del déficit total de agua dulce, una tercera parte es ocupada por agua de mar. Se identificaron las zonas de recarga potencial en la cuenca de La Paz, mediante un SIG con información de diferentes parámetros físicos. Las zonas que presentan una mayor recarga potencial se localizan en la parte sur y sureste de la cuenca.

Los resultados generales indican que el acuífero de La Paz tiene la capacidad potencial de almacenar suficiente de agua, el problema es la escasa precipitación que ocurre en la región, y la extracción de agua que es mayor a la recarga natural, lo que provoca un balance negativo. Consecuentemente el déficit de agua es ocupado por la intrusión de agua de mar.

De continuar así, sin tomar las medidas adecuadas de conservación, y no incorporar otras alternativas para el abastecimiento de agua en la ciudad de La Paz y sus alrededores, en un futuro cercano el acuífero sufrirá un daño irreversible y la población se verá gravemente afectada por la escasez de agua potable.

ABSTRACT

By means of geophysical and geohydrological studies in the basin of La Paz the aquifer was characterized and the current exploitation conditions were estimated, from this to determine its instability and the near future impact.

With the analysis of geophysical information of other studies carried out in the valley of La Paz there was constructed a six layer model of the aquifer zone. The three top layers with a basement of volcanic material form a free aquifer, and the three lower layers with a crystalline basement form a semiconfined aquifer. With use of the gravimetric method supported with electrical soundings and aeromagnetic data, the depth to the crystalline basement of the tectonic pit was estimated, and the regional geological structure was determined. The depth to the basement ranges from 0 to 200 m on the center and east side of the valley, to the south and south-east ranges from 200 to 500 m, and it is deeper (1500 m) towards the west, NNW and NNE. The basement is tilted in a WNW direction. There were identified the La Paz fault and the El Carrizal fault. These faults form the east and west flanks of the graben, respectively. By interpretation of the magnetic anomaly it was inferred that the El Carrizal fault extends to the south down to the Pacific ocean, and the La Paz fault is joined to the El Carrizal fault, forming a triangular graben. The potential capacity of water storage of the zone of aquiferous exploitation down to the basement of the aquifer was estimated, resulting in a volume of 9,467 Mm³ and an availability of 947 Mm³. Piezometric and chemical information of wells was analyzed to observe the evolution of the groundwater levels and total dissolved solids (TDS), caused by the overexploitation of the aquifer and sea water intrusion. From this, it stands out from 1990 to 2004 that the depth to the static levels has increased to more than 10 m, the elevation of the static levels have diminished notably down to -10 m under the mean sea level (MSL), and the TDS have concentrated more in farther zones from the coast line. From the evolution of STD, it is inferred that the sea water intrusion front in the zone of exploitation is located approximately 5.25 km from the coast line on the east part, and 6.25 km on the west part. Using a geophysical information system (GIS) with the hydrological balance equation, it was estimated the rain's vertical recharge in the basin of La Paz (area of 1,275 km²) in 67 Mm³/year. With piezometric data

applying Darcy's Law, it was estimated the horizontal recharge by the underground flow of fresh and salt water in the aquifer zone of exploitation (surface of 200 km²), it was also estimated the vertical recharge by rain in the same zone. The results indicate a total recharge of fresh water of 18.5 Mm³/year. With an exploitation of 31.8 Mm³/year in the aquifer zone of exploitation for the year of 2004, there was calculated a balance of -13.3 Mm³/year, but due to the estimated recharge of 4.3 Mm³/year of salt water, the balance is reduced to -9 Mm³/year. Of the total deficit of fresh water, a third part is occupied by sea water. The zones of potential recharge in the basin of La Paz were identified using a GIS with information of different physical parameters. The zones with major potential recharge are located in the south and south-east part of the basin.

The general results indicate that the aquifer of La Paz has a potential capacity of storage sufficient water, the problem is the scarcity of rainfall nearby, and the water exploitation that is major than the natural recharge, what causes a negative balance. Consequently the water deficit is occupied by sea water intrusion.

If this scenario continues the same, not taking the suitable responsibilities of conservation, and not contemplating other alternatives for water supply in the city of La Paz and its surroundings, in a nearby future the aquifer will suffer an irreversible damage and the population will be seriously affected by the escarcity of fresh water.

INDICE DE CONTENIDO

1. MARCO DE REFERENCIA

1.1 Introducción.....	1
1.2 Antecedentes.....	3
1.2.1 Estudios realizados.....	4
1.3 Planteamiento del problema.....	6
1.4 Justificación del estudio.....	7
1.5 Hipótesis de trabajo.....	8
1.6 Objetivo general.....	9
1.7 Objetivos específicos.....	9
1.8 Metodología.....	10
1.9 Localización y descripción del área.....	12

2. CUENCA Y ACUIFERO

2.1 Cuenca hidrológica de La Paz.....	14
2.2 Acuífero de La Paz.....	15
2.3 Marco geológico del valle de La Paz-El Carrizal.....	18

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 MODELO DE CAPAS.....	20
3.1.1 Información utilizada.....	20
3.1.1.1 Pozos de exploración (INGESA, 1972).....	21
3.1.1.2 Sondeos transitorios electromagnéticos (CIGSA, 2001).....	21
3.1.2 Construcción del modelo.....	22
3.1.3 Discusión.....	24
3.2 GEOFISICA.....	27
3.2.1 Trabajo de campo y colecta de datos.....	27
3.2.1.1 Levantamiento gravimétrico.....	27
3.2.1.2 Sondeos eléctricos verticales (SEV).....	28

3.2.2 Análisis y corrección de datos	29
3.2.2.1 Datos aeromagnéticos.....	29
3.2.2.2 Datos gravimétricos.....	31
3.2.2.2.1 Correcciones.....	32
3.2.2.2.1.1 Corrección por deriva.....	32
3.2.2.2.1.2 Corrección por latitud.....	32
3.2.2.2.1.3 Corrección por elevación (aire libre y Bouguer).....	32
3.2.2.2.1.4 Corrección por topografía.....	34
3.2.2.2.2 Anomalía de Bouguer.....	36
3.2.2.2.3 Separación regional-residual.....	37
3.2.2.3 Datos eléctricos.....	39
3.2.2.3.1 Análisis y procesamiento de los datos de campo.....	39
3.2.2.3.2 Interpretación.....	39
3.2.3 Estimación de la profundidad al basamento cristalino	41
3.2.3.1 Cálculo directo.....	41
3.2.3.2 Modelación.....	44
3.2.4 Estimación de la capacidad de almacenamiento de agua	46
3.2.4.1 De la zona cubierta por aluvión hasta el basamento granítico.....	49
3.2.4.2 De la zona de explotación acuífera hasta el basamento granítico y el basamento del acuífero.....	49
3.2.5 Discusión	50
3.2.5.1 Anomalía magnética y anomalía de Bouguer.....	50
3.2.5.2 Profundidad y topografía del basamento.....	51
3.2.5.3 Topografía subterránea y estructura geológica.....	53
3.2.5.4 Estimación de la capacidad de almacenamiento de agua.....	54
3.3 GEOHIDROLOGIA	56
3.3.1 Uso del agua subterránea	56
3.3.2 Pozos de explotación	56
3.3.3 Niveles estáticos (piezometría) y sólidos totales disueltos (STD)	59
3.3.3.1 Evolución de la profundidad al nivel estático.....	59
3.3.3.2 Evolución de la elevación del nivel estático.....	61

3.3.3.3 Evolución de sólidos totales disueltos (STD).....	62
3.3.3.3.1 Intrusión marina en la zona de explotación.....	63
3.3.4 Estimación de la recarga.....	65
3.3.4.1 Métodos para estimar recarga.....	65
3.3.5 Estimación de la recarga en la cuenca de La Paz.....	69
3.3.5.1 Balance hidrológico.....	69
3.3.5.2 SIG para estimar la recarga vertical por lluvias.....	70
3.3.5.2.1 Cambio de dimensión de la cuenca.....	71
3.3.5.2.2 Información requerida.....	72
3.3.5.2.3 Modelo digital de precipitación.....	72
3.3.5.2.4 Modelo digital de temperatura.....	73
3.3.5.2.5 Modelo digital de evapotranspiración.....	74
3.3.5.2.6 Modelo digital de escurrimiento.....	75
3.3.5.2.7 Modelo digital de infiltración (recarga).....	77
3.3.6 Estimación de la recarga en la zona de explotación acuífera.....	79
3.3.6.1 Recarga horizontal.....	79
3.3.6.1.1 Flujo subterráneo.....	79
3.3.6.1.2 Información requerida.....	79
3.3.6.1.3 Celdas de gradiente hidráulico.....	80
3.3.6.1.4 Cálculos.....	81
3.3.6.1.4.1 Recarga de agua dulce.....	81
3.3.6.1.4.1.1 Primer caso.....	81
3.3.6.1.4.1.2 Segundo caso.....	82
3.3.6.1.4.2 Recarga de agua de mar.....	83
3.3.6.2 Recarga vertical.....	84
3.3.7 Balance hidrológico (recarga – explotación).....	84
3.3.8 Estimación de la recarga por año a partir de las precipitaciones anuales.....	85
3.3.9 Identificación de las zonas potenciales de recarga por lluvias en la cuenca de La Paz.....	88
3.3.9.1 Metodología.....	88
3.3.9.2 Datos e información.....	89

3.3.9.3 Modelos.....	89
3.3.9.4 Integración de los modelos.....	93
3.3.10 Discusión.....	96
3.3.10.1 Evolución de la profundidad al nivel estático.....	96
3.3.10.2 Evolución de la elevación del nivel estático.....	97
3.3.10.3 Evolución de los STD.....	97
3.3.10.4 Intrusión marina.....	98
3.3.10.5 Vulnerabilidad del acuífero de La Paz.....	99
3.3.10.6 Estimación de la recarga en la cuenca de La Paz.....	100
3.3.10.7 Captación de precipitación en la cuenca de La Paz y subcuencas.....	101
3.3.10.8 Estimación de la recarga y balance hidrológico en la zona de explotación acuífera.....	102
3.3.10.9 Estimación de la recarga y balance por año en la zona de explotación acuífera a partir de las precipitaciones anuales.....	105
3.3.10.10 Identificación de las zonas de recarga en la cuenca de La Paz.....	105
 4. CONCLUSIONES.....	 107
 5. RECOMENDACIONES.....	 110
 LITERATURA CITADA.....	 113
 GLOSARIO DE CONCEPTOS GEOHIDROLÓGICOS.....	 122
 LISTA DE FIGURAS.....	 133
 LISTA DE TABLAS.....	 137
 ANEXOS.....	 139

1. MARCO DE REFERENCIA

1.1 Introducción

Para la supervivencia, bienestar y desarrollo socioeconómico de la humanidad es un requisito fundamental tener garantizado el acceso a un suministro suficiente de agua potable, sin embargo continuamos actuando como si el agua dulce fuera un recurso abundante e inagotable cuando realmente no lo es (Kofi Annan, 2001).

En algunas zonas del mundo la demanda de agua potable sobrepasa las reservas existentes debido a que gran parte de la población mundial vive en las zonas áridas o semiáridas donde este preciado líquido es escaso, y el incremento en su demanda ha superado en más del doble la tasa de crecimiento demográfico. La industria, la agricultura, así como los sectores urbanos reclaman cada vez más agua. La agricultura consume la mayor parte del agua dulce de la tierra por la dependencia que se tiene de los cultivos de riego. Durante años la mayor demanda se ha abastecido de las reservas provenientes de las aguas subterráneas, pero éstas no son inagotables. Si las extracciones fueran moderadas, los acuíferos permanecerían en equilibrio ya que se abastecen constantemente por la recarga natural del agua de lluvia que se filtra en el subsuelo, pero el hombre lleva años extrayendo grandes volúmenes de agua que el ciclo natural no puede reemplazar, en consecuencia, el nivel freático desciende continuamente. Esto ocurre en muchos de los acuíferos del mundo.

Las aguas subterráneas forman los acuíferos. La recarga de un acuífero se lleva a cabo a un ritmo relativamente lento y si esa agua se extrae a un ritmo mayor, el volumen de agua almacenada disminuye. Esto es particularmente grave en lugares donde las precipitaciones son escasas. Así mismo, el aumento de áreas urbanas derivada del crecimiento de la población contribuye a la disminución de la recarga de los acuíferos. La zona impermeabilizada del terreno producto de la urbanización, que incluye viviendas y carreteras, hace que el agua precipitada no tenga otro camino que el de escurrir superficialmente en vez de infiltrarse (Freeze y Cherry, 1979).

En los acuíferos costeros el agua de lluvia se percola a través de los poros o espacios que existen entre el sedimento o las rocas fracturadas y posteriormente

fluye lentamente en dirección al mar donde se encuentra asociada con la capa de mezcla que se forma por la intrusión marina en el subsuelo (Johannes y Hearn, 1985). En estas zonas el nivel freático casi permanece invariable debido a que el agua extraída por bombeo es sustituida rápidamente por el avance de la cuña de agua de mar hacia tierra (Hubbert, 1940).

Un acuífero no solamente puede ser afectado por la sobreexplotación, sino también por la contaminación que tiene como resultado el uso de los fertilizantes agrícolas, las fugas de aguas negras y los desechos industriales, entre otros. Cuando un acuífero se contamina su saneamiento puede tomar largo tiempo y resultar muy costoso, incluso puede llegar a ser imposible restablecer su condición anterior. Además, la salinización de las tierras en la zona costera causada por las grandes extensiones de cultivo que se riegan con agua salobre proveniente de la interfase agua dulce - agua salada que forma la cuña subterránea, provoca que ésta penetre más rápidamente sobre los acuíferos costeros (Henry, 1959).

En México el 70% del agua que reciben las ciudades proviene del subsuelo (SEMARNAT, 2002). La sobreexplotación de los acuíferos y el deterioro en su calidad de agua es cada vez más grave. En 1975 se tenían 32 acuíferos sobreexplotados, y solo 25 años después, en el año 2000, la cifra se elevó a 96, de los 653 acuíferos identificados en el territorio nacional. De éstos 96 acuíferos se extrae el 50% el total del agua subterránea (SEMARNAT, 2002). Esta situación ha provocado diversos problemas y graves impactos ecológicos. Debido a esta crítica realidad, desde inicios de la pasada administración federal (2000-2006) se declaró al agua como un recurso estratégico y de seguridad nacional, ya que de ello depende la sobrevivencia, estabilidad y desarrollo del país (SEMARNAT, 2002).

El estado de Baja California Sur es una de las entidades más áridas y con menor precipitación anual en el país, y la necesidad del recurso se satisface principalmente con agua subterránea.

En el año 2001, el Ing. Cristóbal Jaime Jacques, extitular de la Comisión Nacional del Agua (CNA) a nivel nacional (período 2000-2006), publicó una lista de 100 ciudades del país donde se menciona que en los próximos cinco años se viviría una crisis severa de agua, y dentro de ellas se encuentra lamentablemente la ciudad de

La Paz (Ávila, 2002). Esta crisis hídrica aún no se ha presentado en tal magnitud, pero quizá esta muy cerca de acontecer.

1.2 Antecedentes

La precipitación pluvial en el estado de Baja California Sur es sumamente escasa, con una media anual de 175 mm (SARH-CNA, 1991). En la cuenca de La Paz se tienen registros de 265 mm/año de precipitación anual promedio (CNA, 2005). Regularmente las lluvias se presentan de manera torrencial y de corta duración en la temporada de ciclones (finales de verano e inicios de otoño), las cuales no solo ocasionan inundaciones, sino que el agua de lluvia que llega al suelo escurre velozmente hacia el mar sin ser aprovechada, perdiéndose casi en su totalidad. El agua aprovechable es el agua subterránea, la cual es extraída del acuífero para su uso como ha ocurrido durante años.

Desde finales de los años 60's a principios de los 70's, se detectaron indicios de intrusión de agua de mar en algunos pozos y norias cercanos a la costa (CNA, 1997). A partir del inicio de una explotación más intensiva en 1976, el aumento en el contenido de sales disueltas en algunos pozos pasó de 400 partes por millón (ppm) a un agua tolerable (más de 1000 ppm) en los límites de salobre (SARH-CNA, 1991).

Los pozos localizados dentro de la mancha urbana fueron eliminados casi en su totalidad a principios de los años 80's, debido a que el agua que se extraía de ellos ya rebasaba los contenidos máximos permisibles de sales disueltas, es decir, concentraciones mucho mayores de 1000 mg/l de sólidos totales disueltos (STD), que es el valor establecido para agua de consumo humano por la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994-Salud Ambiental.

Desde hace varios años el acuífero de La Paz se encuentra sobreexplotado, debido entre otras cosas, al incremento en la demanda de agua por el aumento de la población, lo que provoca el descenso del nivel freático y como consecuencia se favorece el avance de la intrusión marina en los pozos cercanos a la costa (CNA, 1997).

A pesar de haberse implementado el Plan Hidráulico del Estado de Baja California Sur (Ortega,1985) hace ya más de 20 años, como una medida por parte de los

gobiernos estatal y federal, para concientizar y enseñar a la ciudadanía sobre el buen uso del agua, su conservación y distribución adecuada para alcanzar un equilibrio entre la explotación y la recarga, impulsar el tratamiento progresivo de aguas negras y la utilización de las mismas, impulsar la desalación del agua de mar y los programas de construcción de obras de recarga de acuíferos, alentar la tecnificación del riego agrícola, etc. Este plan funcionó durante el período de gobierno del Lic. Alberto Alvarado Arámburo (1981-1987), pero no tuvo continuidad con los siguientes gobernantes.

Como parte del Plan Hidráulico Estatal (1982-1987) se llevó a cabo la construcción de varias obras hidráulicas para el aprovechamiento de los escurrimientos superficiales, como bordos de contención, diques de gabión y presas. Entre las presas importantes, se encuentra la presa de La Buena Mujer, localizada sobre el cauce del arroyo El Cajoncito en las cercanías de la ciudad de La Paz, que constituye la única obra en el valle de La Paz que se construyó para el control de avenidas que ayuden a la protección de la ciudad y la recarga del acuífero (Gobierno del Estado de B.C.S., 1985).

1.2.1 Estudios realizados

El área de interés considerada en el presente estudio, ha sido incluida en un número considerable de investigaciones, casi todas de carácter regional y en su mayoría se refieren a aspectos geológicos y evolución tectónica. Entre los estudios más importantes se encuentran los de Beal, 1948; Gastil y Minch, 1979; Hausback, 1984; Aranda y Pérez, 1988 y 1997; Lonsdale, 1989; Munguía et al., 1992; Ramos-Velázquez, 1998; Fletcher y Munguía, 2000. También se han realizado estudios regionales sobre geología económica (yacimientos minerales-energéticos) como los de Altamirano, 1970, y Escandón, 1978. En geofísica regional se incluyen estudios de magnetometría (Hilde, 1963), y gravimetría (Harrison y Mathur, 1964; Couch et al., 1981).

La mayor participación de investigación en estudios geohidrológicos la ha realizado en forma directa o indirecta el gobierno federal a través de instancias tales como la Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH) y la Comisión Nacional del Agua (CNA).

Desde 1968, la SRH realizó algunos estudios en el acuífero de los valles de La Paz y El Carrizal sobre balance geohidrológico, registros de pozos, geohidrología y geofísica (SRH, 1968-1969; SRH, 1971; SRH, 1972-1974), en varios de los cuales se especula sobre una intercomunicación subterránea entre los acuíferos de ambos valles, así como la confirmación de intrusión marina en algunos pozos cercanos a la costa en el valle de La Paz.

Desde los años 70's las instituciones federales encargadas de la administración del agua han contratado a varias compañías particulares tales como GEOFIMEX (1971); INGESA (1972); ROASA (1981); ADI Construcciones, S.A. de C.V. (1997); CIGSA, S.A. de C.V. (2001), entre otras, que han realizado estudios geohidrológicos, geofísicos y perforaciones exploratorias.

En 1986, la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y la Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS), realizaron un estudio geohidrológico y geofísico del acuífero de La Paz y El Carrizal. Sugieren llevar a cabo otros estudios geofísicos, geológicos y geoquímicos complementarios, así como la generación de un modelo conceptual satisfactorio y simulación con modelos numéricos. Arzate (1986) realizó un estudio geofísico entre el valle de La Paz y El Carrizal, utilizando resistividad eléctrica y magnetometría, con lo cual hizo una interpretación geológica y localizó en varias zonas la manifestación de las fallas de La Paz y El Carrizal. Estimó la profundidad al basamento, para lo que sugiere realizar un estudio gravimétrico. Definió parcialmente los acuíferos de La Paz y El Carrizal y su transmisividad hidráulica. La CNA (1997) realizó trabajos geohidrológicos diversos y una recopilación de otros estudios del acuífero de La Paz-El Carrizal. Menciona que existe una señal de alerta al continuar el ritmo de explotación de las aguas del subsuelo, ya que se pone en alto riesgo el equilibrio y vida útil del mismo, favoreciendo el avance de la interfase salina. CIGSA (2001) llevó a cabo una recopilación y reinterpretación de información geohidrológica y geofísica, realizó sondeos transitorios electromagnéticos (TEM) para generar un modelo estratigráfico del acuífero, así como una interpretación estructural a través de fotografía aérea y cartografía geológica, con lo cual identificaron varias fallas en la zona del valle de

La Paz. Estimaron la recarga natural y obtuvieron resultados que evidencian la sobreexplotación del acuífero. Drago y Maddock (2004) realizaron un modelo hidrológico para estimar la necesidad de agua en la ciudad de La Paz para las próximas décadas, tomando en cuenta el crecimiento poblacional, y estimaron la recarga natural de la zona acuífera. Steinitz et al. (2005) realizaron un proyecto enfocado a la modelación del crecimiento de la ciudad de La Paz por la interacción de aspectos como economía, turismo, hidrología y ecosistemas marinos. Plantean el panorama de cómo este crecimiento afectará a la ciudad en los próximos 20 años, y pronostican que el requerimiento principal para el desarrollo será el recurso agua y el uso ordenado del suelo.

1.3 Planteamiento del problema

En la actualidad el crecimiento social y económico del estado de Baja California Sur, sobre todo en su capital, se basa implícitamente en el suministro suficiente de agua potable para las actividades inherentes de la población. La apertura actual del gobierno estatal a la inversión de capitales para promover el desarrollo comercial, turístico y de nuevas unidades habitacionales en la ciudad de La Paz, obliga a plantear la pregunta ¿Cómo es posible que se promueva el desarrollo social y económico, sin tener la certeza de ofrecer un suministro suficiente y sustentable de agua potable?. El satisfacer esta necesidad básica, sin considerar otras alternativas de suministro de agua potable conlleva al correspondiente deterioro del acuífero, que consiste en su contaminación por agua del mar.

Cuando la explotación de un acuífero es planificada y racionalmente controlada conduce a un buen aprovechamiento y conservación del mismo, pero cuando no es así, se crean serios problemas.

Con información de 1970 a 2000, el IPN-CICIMAR/CIBNOR/UABCS (2002) estimaron una recarga promedio anual del acuífero de La Paz de 20.1 Mm³ (millones de metros cúbicos), contra una extracción de 29.1 Mm³, calculándose un déficit de 9 Mm³. Esta situación pone en un futuro crítico la conservación del acuífero.

Existe la posibilidad de que el Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de la ciudad de La Paz (SAPA) utilice volúmenes mayores de agua en la distribución, que

el volúmen recibido por el consumidor (CNA, 1999), de lo que se infiere la existencia de innumerables fugas de agua en la red de distribución de la ciudad de La Paz.

Aunque en la década de los 80's se disminuyó en gran medida la agricultura, para proteger el excesivo gasto de agua del acuífero (Gobierno del Estado de B.C.S., 1985), actualmente pocos agricultores han modificado su sistema de riego y no aplican adecuadamente los programas de riego para los diferentes cultivos (Arteche, com. pers.). Aunado a esto, existen hoteles, servicios turísticos, talleres de lavado de autos y lavanderías que no tienen planta de tratamiento para reciclaje de agua, además prevalece un uso irracional de este imprescindible recurso por parte de la ciudadanía.

En el aspecto científico, como se mencionó en los antecedentes, se han realizado varios estudios concernientes a conocer y evaluar las características físicas y geohidrológicas del acuífero, sin embargo, no están integrados ni claramente definidos, por lo que se hace necesario continuarlos y aplicar nuevos métodos para caracterizar mejor el acuífero.

Por simplicidad se mencionan dos aristas del problema: I) La técnica-científica, encargada de mediciones, análisis, modelación e interpretación de datos e información. De tales resultados se deben establecer alternativas de solución, propuestas y recomendaciones relacionadas con el problema del agua y su entorno, y II) La responsabilidad de las instituciones y ciudadanos encargados de la administración y manejo del agua, mediante el establecimiento de reglamentos, normas y leyes, que la población e instituciones en su conjunto deben respetar, para hacer del agua un recurso sustentable.

La propuesta de investigación aquí planteada se circunscribe a la arista I.

1.4 Justificación del estudio

La disponibilidad del recurso agua en la ciudad de La Paz es cada día menor, lo que puede ocasionar una escasés notoria de agua potable de uso por habitante y para otros usos, disminución drástica de la agricultura que requiere agua con pocas sales y frenar el desarrollo. Si se presenta esta crisis hídrica, que representa un agotamiento de las reservas de agua dulce, como y de donde se obtendrá agua?. La

pregunta es, ¿por que esperar a que esto suceda?. Si continuamos con el mismo ritmo de explotación como se ha venido haciendo, hasta agotar la reserva de agua dulce y luego pensar como resolver el problema, vamos a enfrentar una crisis segura. Pero si atendemos esta situación desde ahora y buscamos alternativas que permitan una menor explotación del acuífero el panorama puede cambiar.

Debido a la necesidad de contar con agua potable de manera sustentable y eficiente para el desarrollo de la ciudad y del estado, es importante realizar evaluaciones permanentes del acuífero a través de estudios geofísicos y geohidrológicos, que permitan definir sus características, comportamiento y condiciones reales. La descripción de las características hidráulicas, físicas y químicas del acuífero de La Paz, permitiría obtener un diagnóstico claro de la problemática real y un balance hidrológico objetivo, que tendría como resultado la definición de los criterios técnicos para proponer las medidas más adecuadas encaminadas a su conservación. De lo contrario, si no se atiende el problema, no se realizan los estudios pertinentes y no se toman las medidas necesarias para su conservación, nos veremos forzados a presenciar una escasez notoria de agua dulce y a hacer uso apresurado de otras tecnologías para su obtención, que todavía resultan costosas y acarrearán otro tipo de problemas ambientales. Entonces será irremediable la contaminación del acuífero por agua del mar, y sus consecuencias serán muy severas.

El presente estudio se justifica por la aportación de un mayor conocimiento de la cuenca y acuífero La Paz, contribuyendo en aspectos técnico y científico con respecto al recurso agua, que finalmente redundará en un beneficio social para la población y las futuras generaciones.

1.5 Hipótesis de trabajo

Por causa de la creciente demanda de agua subterránea debido al incremento en la población de la ciudad de La Paz, se ha inducido a la sobreexplotación del acuífero. Y por tratarse de un acuífero costero, se considera que al ser mayor la extracción que la recarga se provoca su contaminación por agua de mar. Mediante un estudio para su caracterización, se pretende probar que el acuífero de La Paz

está sobreexplotado y que los conos de abatimiento cercanos a la costa han provocado la penetración progresiva del agua de mar.

1.6 Objetivo general

El objetivo del presente estudio es la caracterización del acuífero de La Paz y el diagnóstico de su explotación, a través de estudios geofísicos y geohidrológicos.

1.7 Objetivos específicos

- 1) Construir un modelo de capas de la zona acuífera, con información geofísica disponible, para determinar sus espesores y profundidad.
- 2) Realizar un estudio gravimétrico y sondeos de resistividad eléctrica, para estimar la profundidad al basamento cristalino en la cuenca de La Paz.
- 3) Realizar un análisis e interpretación de información aeromagnética, para determinar la estructura subterránea de la región.
- 4) Determinar la capacidad potencial de almacenamiento de agua de la zona cubierta por depósitos aluviales hasta el basamento granítico. De forma similar, en la zona de explotación acuífera hasta el basamento del acuífero. Utilizando el modelo de profundidad al basamento y el modelo de capas.
- 5) Estimar la intrusión marina en la zona acuífera, mediante el análisis de las variaciones de los niveles estáticos y sólidos totales disueltos.
- 6) Estimar la recarga potencial por lluvias en la cuenca de La Paz, mediante la ecuación general de balance, utilizando fórmulas empíricas e información climatólogica, a través de un sistema de información geográfica (SIG) para generar los modelos correspondientes.
- 7) Estimar la recarga por flujo subterráneo en la zona acuífera, aplicando la Ley de Darcy, mediante el cálculo del caudal a partir de los desniveles piezométricos, con la construcción de celdas de gradiente hidráulico y la transmisividad de la capa acuífera.
- 8) Estimar el balance hidrológico en la zona de explotación acuífera a partir de datos de extracción y estimaciones de la recarga.

- 9) Estimar la recarga anual en la zona de explotación acuífera, a partir de las precipitaciones anuales en la cuenca de La Paz.
- 10) Identificar las zonas de recarga potencial en la cuenca de La Paz, por medio de la asignación de 'pesos' a las clases de diferentes parámetros físicos, utilizando un sistema de información geográfica (SIG).

1.8 Metodología

La metodología utilizada se describe a detalle en cada uno de los temas principales (3.1 Modelo de Capas, 3.2 Geofísica y 3.3 Geohidrología), cumpliendo con los objetivos específicos del estudio.

En esta sección se describe de manera general la metodología utilizada, en el mismo orden en que se desarrolla el trabajo:

Se delimitó la cuenca de La Paz y subcuencas, utilizando el modelo digital de elevación del terreno (MDET) y las capas de escurrimientos superficiales del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). La demarcación de los polígonos se realizó en forma manual.

Se construyó un modelo de capas de la zona acuífera a partir de información de secciones de resistividad construidas con sondeos transitorios electromagnéticos (TEM) de CIGSA (2001), midiendo directamente los contactos de las secciones resistivas para determinar su espesor y profundidad.

Se realizó un levantamiento de campo en el valle de La Paz utilizando el gravímetro Lacoste & Romberg G-599. Se corrigieron los datos de campo siguiendo los criterios de Dowdy (1977) y Telford et al. (1982). Para la corrección topográfica se utilizó el programa de Ballina (1990), con los modelos de elevación y densidad generados con el programa ArcView 3.2., a partir de las capas de temáticas digitales de INEGI. Se calculó la anomalía de Bouguer, y por un método gráfico se realizó la separación regional-residual. Se modelaron tres perfiles de anomalía residual con el programa Webring (1985), y se estimó la profundidad al basamento con la fórmula para el cálculo de la gravedad en un punto sobre una capa horizontal de extensión infinita (Carmichael y Henry, 1977)

Se estimó la capacidad de almacenamiento de agua, por la sumatoria de prismas calculados a partir del modelo de profundidad al basamento, considerando una porosidad media del paquete sedimentario y una profundidad media del nivel estático. Las estimaciones se realizaron para la zona cubierta por aluvión y la zona de explotación acuífera hasta el basamento granítico, así como de la zona de explotación acuífera hasta el basamento del acuífero.

Se realizaron tres sondeos de resistividad eléctrica. Los datos de campo fueron modelados con el programa VES 3.0 de Cooper (2000), para calcular el número de capas, espesor y resistividad. Estos sondeos sirvieron de apoyo para la interpretación del modelo de capas.

Los datos aeromagnéticos del Consejo de Recursos Minerales (CRM) fueron submuestreados e interpolados, y se interpretó la anomalía magnética, que se utilizó como apoyo del modelo gravimétrico de profundidad al basamento.

Para determinar la evolución de los niveles estáticos, elevación de los niveles estáticos y sólidos totales disueltos (STD), se analizó la información existente proporcionada por la Comisión Nacional de Agua (CNA), se interpolaron los datos, se generaron secciones para observar la evolución de éstos parámetros. Se elaboró un esquema de la distribución del tipo de agua y se determinó el avance de la intrusión de agua de mar al acuífero.

Se estimó la recarga vertical por lluvias en la cuenca de La Paz, utilizando la fórmula general de balance hidrológico (Gastany, 1971) aplicada en un sistema de información geográfica (SIG), con información de precipitación y temperatura de 12 estaciones meteorológicas. Se utilizaron, la fórmula empírica de Turc (1961, en Custodio y Llamas, 2001) para el cálculo de la evapotranspiración, y la expresión empírica de la NOM-011-CNA-2000-Conservación del Recurso Agua, para el cálculo de los escurrimientos. Estas fórmulas fueron ligeramente modificadas de acuerdo a las características de esta región. Se generó un modelo de recarga en la cuenca de La Paz.

Para la estimación de la recarga por flujo horizontal en la zona acuífera se calculó un caudal a partir de los desniveles piezométricos y la transmisividad de la capa acuífera, por la ecuación de Darcy (Freeze y Cherry, 1979). El balance hidrológico

(recarga-explotación) se realizó para una zona definida de explotación acuífera, con las estimaciones de recarga y los datos de extracción.

La estimación de la recarga a partir de las precipitaciones anuales, fue estimada considerando el criterio de que la recarga para cualquier año proviene de las precipitaciones del año anterior, tomando en cuenta los resultados de recarga del 2004.

Se identificaron las zonas potenciales de recarga en la cuenca de La Paz, utilizando un SIG con información de diferentes parámetros físicos, cuyas clases fueron asignadas con valores o 'pesos' (Katpatal y Dube, 2004) de acuerdo a su importancia en la contribución a la recarga.

1.9 Localización y descripción del área

La cuenca hidrológica donde está ubicado el valle de La Paz, se localiza en la parte sur de la península de Baja California donde se asienta la ciudad de La Paz (Fig.1.1). Está comprendida dentro de la región hidrológica No.6 (RH 6) Baja California sureste, denominada La Paz (INEGI, 1996), conformada por una serie de escurrimientos superficiales que cubren un área de aproximadamente 1,500 km², acotada entre los 23° 45' a 24° 14' latitud norte y 110° 12' a 110° 35' longitud oeste (CNA, 1997).

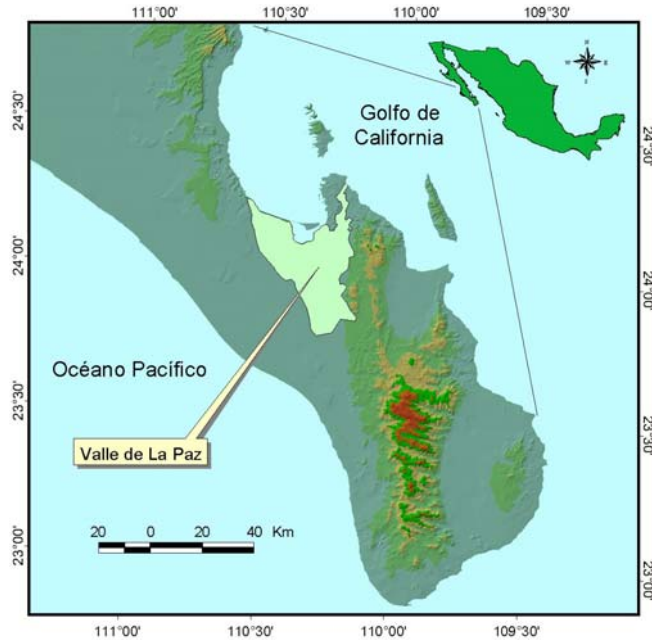


Fig.1.1 Localización del área de estudio.

El clima en esta zona es predominantemente seco con una temperatura media anual que oscila entre los 20 y 26°C, alcanzando temperaturas máximas en los meses de julio, agosto y septiembre de hasta los 45°C. La precipitación anual promedio en la cuenca es de 265 mm (CNA, 2005), que ocurre en su mayor parte durante el verano, con los más altos valores en agosto y septiembre. Al final del verano se presentan tormentas tropicales y ciclones, que recargan los acuíferos de la región por las precipitaciones que traen asociadas. Existen cuatro presas captadoras de agua en región hidrológica, siendo la más importante en el área de estudio, tanto para el control de avenidas como para recargar el acuífero, la de La Buena Mujer, que se localiza al sureste de la ciudad de La Paz.

2. CUENCA Y ACUIFERO

2.1 Cuenca hidrológica de La Paz

Para determinar el balance hidrológico en un área o región, es necesario regionalizar o dividir en zonas específicas para poder conocer los parámetros físicos que inciden en cada una de ellas y hacer los cálculos apropiados de balance. Su delimitación es el primer paso para el entendimiento de la hidrología superficial y subterránea. Estas zonas se conocen como regiones, cuencas y subcuencas hidrológicas, las cuales son delimitadas de acuerdo a factores principalmente físicos como rasgos fisiográficos y geomorfológicos, estructurales, topográficos (planicies, elevaciones y parteaguas), hidrografía y zonas de explotación.

Las instituciones en México que han clasificado los territorios por regiones, cuencas y subcuencas son la Comisión Nacional del Agua (CNA) y el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). Sin embargo, aunque existe una delimitación de la cuenca de La Paz en informes y reportes de estas instituciones, se considera que es necesario hacer algunas precisiones.

La cuenca hidrológica (ver GLOSARIO) de La Paz la definió oficialmente CNA en el Diario Oficial de la Federación de febrero de 2004, pero su demarcación (CNA, 1999) no se asemeja a los límites que ejerce el parteaguas de la cuenca. Por esta razón fue necesario delimitarla. Para esto se utilizó la hidrología superficial y el modelo digital de elevación del terreno (MDET).

El MDET fue obtenido a partir de la cartografía digital de curvas de nivel. Se utilizaron los datos de altimetría y corrientes superficiales escala 1:50,000 de las cartas F12B12, 13; y G12 D82, 83 (INEGI, 1998-2003). Se interpolaron las curvas de nivel por el método spline y se generó el MDET con un píxel de 20 m, utilizando el programa ArcView 3.2.

El proceso de demarcación del polígono de la cuenca se realizó en forma manual, posicionando la capa de escurrimientos sobre el MDET. Se tomaron en cuenta los parteaguas y escurrimientos superficiales. La figura 2.1 muestra la delimitación de la cuenca hidrológica de La Paz, la cual tiene una superficie aproximada de 1,571 km².

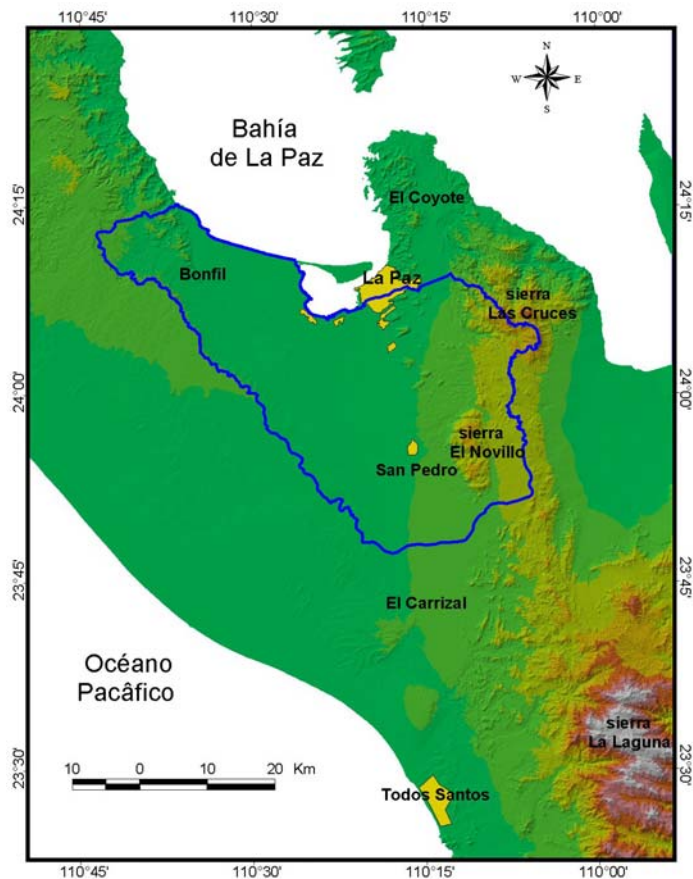


Fig.2.1 Cuenca hidrológica de la Paz (área = 1,571 km²).

2.2 Acuífero de La Paz

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 (ver GLOSARIO) de La Paz como un acuífero libre (CNA, 1997) 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 (CNA, 1997).

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. En este tipo de acuíferos, la explotación debe hacerse en forma regulada para evitar su contaminación por la intrusión del agua de mar (Figs.2.2A y 2.2B). Si la extracción de agua es mayor a la recarga natural, los conos de abatimiento que regularmente se forman en los pozos donde se extrae agua no se recuperan con agua dulce, sino por una mezcla con agua de mar, alterando la calidad del agua.

Como un ejemplo real de un acuífero costero contaminado por la intrusión de agua de mar debido a la sobreexplotación, se tiene el acuífero de Hermosillo en el estado de Sonora, donde el frente de agua de mar se extiende por más de 25 km dentro del continente (Flores-Marquez et al., 1998).

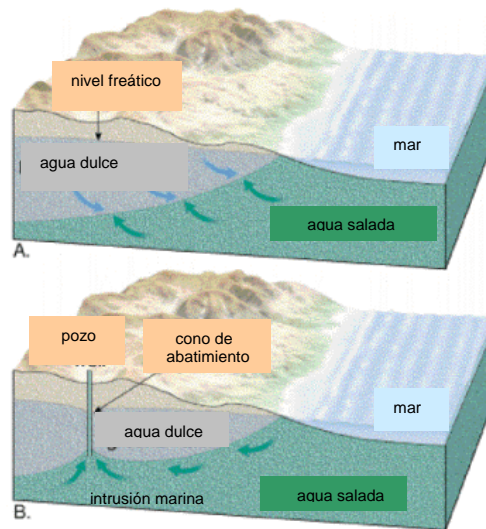


Fig.2.2 A) Esquema de un acuífero costero en condiciones naturales, y B) bajo condiciones de explotación. Se observa como el agua de mar tiende a invadir la zona ocupada por el agua dulce. Tomado de internet: <http://www.arc.losrios.edu/~borougt/GroundwaterDiagrams.htm>.

El acuífero de La Paz es uno de los más importantes de la entidad ya que abastece a la ciudad del La Paz, capital del estado, la cual demanda aproximadamente las dos terceras partes del agua subterránea que se extrae, y atiende una zona agrícola importante con una superficie aproximada de 1900 ha. (CNA, 1999).

El agua del acuífero está sobreconcesionada y se encuentra en condiciones de sobreexplotación, debido a que las extracciones anuales han sobrepasado la

disponibilidad total del agua (rendimiento permanente), ya que algunos usuarios entre ellos el Sistema de Agua Potable y Alcantarillado (SAPA), utiliza volúmenes mayores a los de la dotación por habitante (CNA, 1999). Probablemente estos volúmenes extras se deban a la pérdida de agua por fugas en la red de distribución de agua potable. El acuífero de La Paz se distribuye en toda la zona del valle cubierta por los depósitos aluviales dentro de la cuenca (Fig.2.3), y cubre una superficie de aproximadamente 858 km².

Por motivo de cálculos relacionados con la recarga y balance hidrológico que se realizan en el Capítulo 3.3.6 y 3.3.7 de este estudio, se delimitó una zona de explotación acuífera, la cual se limita a la zona de explotación donde se encuentran la mayor cantidad de pozos de uso agrícola y urbano, que cubre un área de aproximadamente 200 km² (Fig.2.3).

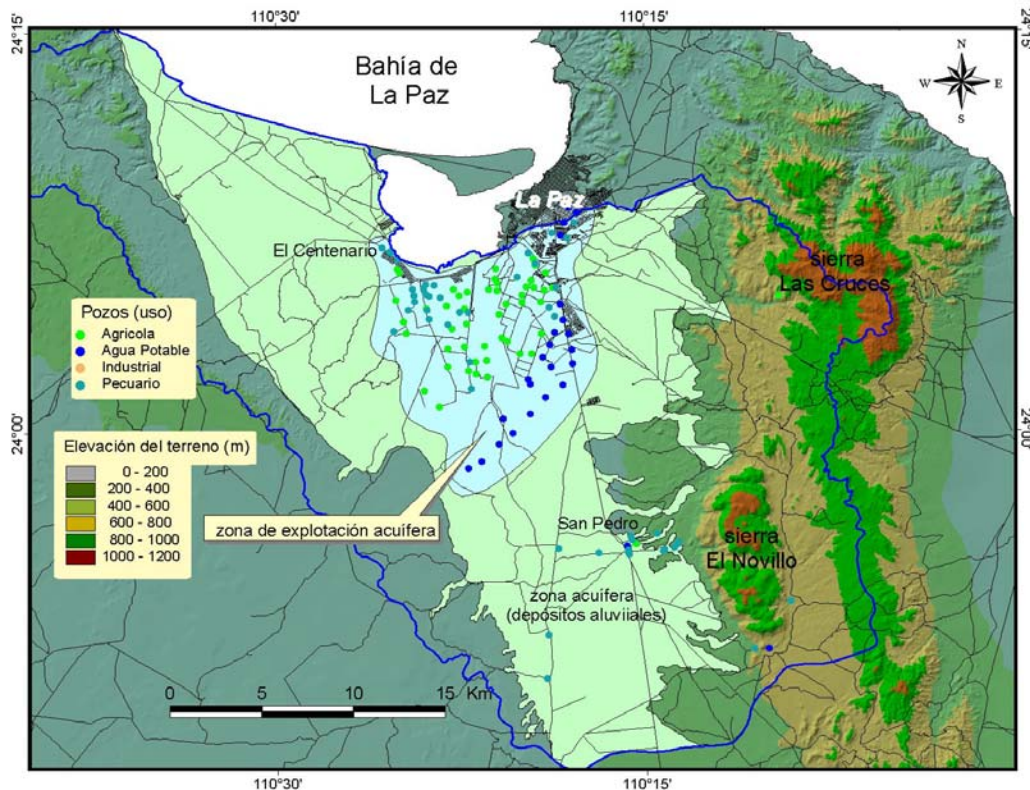


Fig.2.3 Area acuífera cubierta por depósitos aluviales (polígono verde claro, 858 km²), y zona de explotación acuífera (polígono azul claro, 200 km²). El contorno azul fuerte muestra la extensión de la cuenca de La Paz. Se muestran los caminos principales.

2.3 Marco geológico del valle de La Paz-El Carrizal

A continuación se describe la geología de estos dos valles, ya que forman parte de la misma estructura geológica y probablemente tienen el mismo origen, pero superficialmente forman parte de cuencas diferentes.

Estructuralmente el valle está formado por un graben o fosa tectónica con orientación norte-sur, limitado al este por la falla La Paz, ubicada en las faldas de la sierra Las Cruces, y al oeste por la falla El Carrizal. Las dos fallas se extienden desde la costa del Golfo de California hasta las inmediaciones de la población de Todos Santos en la costa del océano Pacífico. El límite norte para ambas fallas no está definido, y el límite sur probablemente se encuentre al norte de la población de Todos Santos (Alvarez et al., 1997) donde aparentemente convergen. Las fallas La Paz y El Carrizal son los límites del graben al oriente y occidente respectivamente (Fig.2.4). Se estima que ambas fallas son el producto del desplazamiento diferencial (en echelon NW-SE) que se presentó entre las fallas transformantes en la boca del Golfo de California asociadas a los procesos tectónicos de formación del golfo (Gaitán, 1986, en Alvarez et al., 1997). Es probable que el graben sea de una edad Pleistocénica de acuerdo a las rocas asociadas (Arzate, 1986). La presencia de algunos arroyos estructuralmente controlados así como la batimetría de la Bahía de La Paz, sugieren la existencia de una serie de fallas y fracturas en el interior del graben mismo.

De manera general, la geología del valle de La Paz-El Carrizal (descrita por Alvarez et al., 1997), se caracteriza por una secuencia de sedimentos marinos y abanicos aluviales recientes, conformados por conglomerados, areniscas y lodolitas. Hacia el noroeste del valle afloran rocas con edades que van del Terciario Medio al Reciente y constituyen la formación San Gregorio (Oligoceno Superior - Mioceno Inferior) que contiene una alternancia de areniscas tobáceas, lutitas silicificadas, fangolitas, areniscas conglomeráticas y capas de fosforita intercaladas; la formación San Isidro (inicios del Mioceno) constituida por areniscas glauconíticas, conglomerados, lutitas y algunas capas de tobas riolíticas de color rosado; y la formación Comondú (Mioceno Superior) formada por areniscas y conglomerados volcanoclásticos, tobas riolíticas, lahares andesíticos y flujos de lava coronando la

secuencia. Hacia el nornoreste afloran una serie de rocas del Cretácico al Reciente que forman las Sierras Las Cruces y El Novillo, constituida por rocas ígneas intrusivas, principalmente granito y tonalita, la primera, y gabro, la segunda.

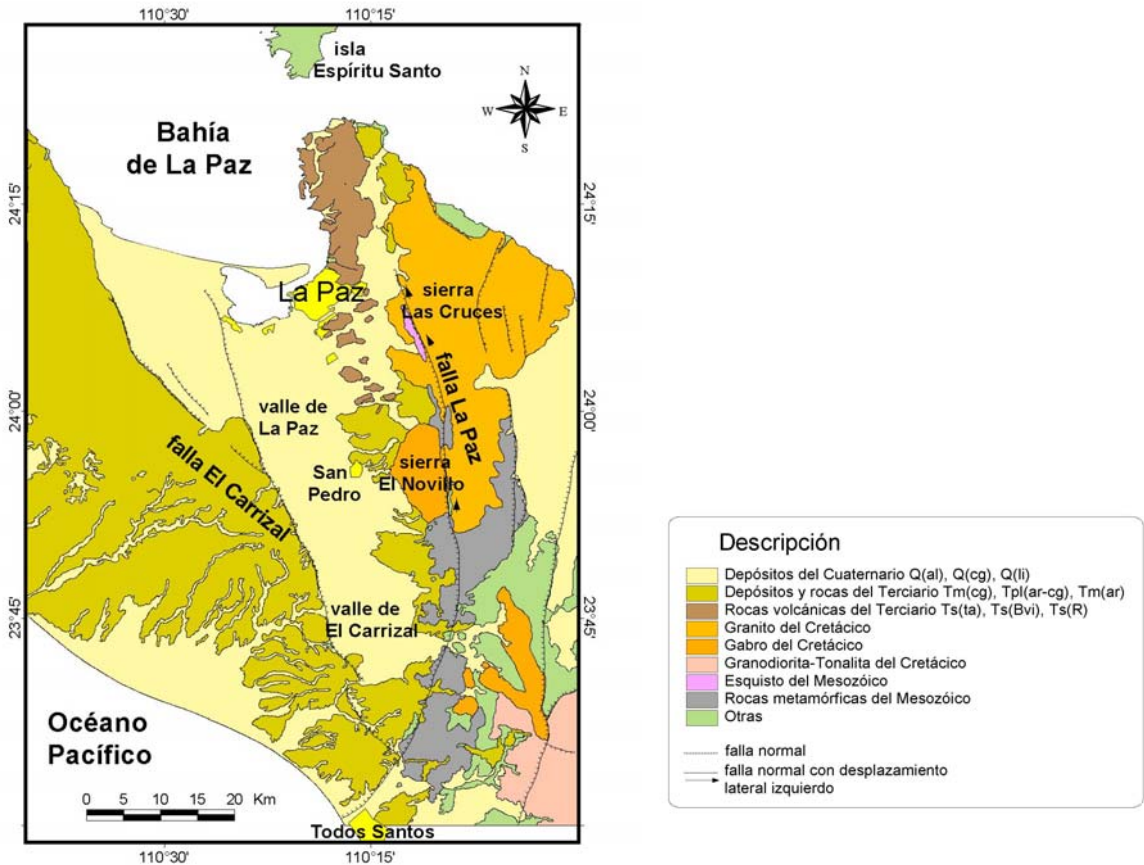


Fig.2.4 Mapa geológico-estructural del valle de La Paz - El Carrizal. Se muestra el trazo de las fallas La Paz y El Carrizal. Modificado de las cartas geológicas escala 1:250,000 F12-3-5-6 y G12-10-11 (INEGI, 1983), y de Alvarez et al. (1997).

En los alrededores de la ciudad de La Paz se presenta una secuencia de rocas volcánicas y volcanosedimentarias, que Hausback (1984) considera como la unidad más joven de la Formación Comondú, y consiste de tobas, brechas y aglomerados volcánicos, así como lavas riodacíticas coronando la secuencia. En esta área las rocas intrusivas graníticas y las volcánicas están separadas por el lineamiento conocido como falla La Paz (Fig.2.4), al cual está asociada la formación de valles como El Coyote y La Paz. Estos valles están parcialmente rellenos por sedimentos de abanicos aluviales compuestos por capas de conglomerados y sedimentos poco consolidados y no consolidados de arenas, limos y arcillas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 MODELO DE CAPAS

La construcción de un modelo de capas del acuífero de La Paz se hizo con el propósito de determinar sus espesores y profundidades, conocer los materiales característicos, así como localizar un probable basamento del acuífero.

3.1.1 Información utilizada

El área para la construcción del modelo fue determinada por la distribución de información existente disponible (Fig. 3.1.1). Para esto se utilizaron ocho secciones de resistividad construidas por CIGSA (2001) a partir de 19 sondeos transitorios electromagnéticos (TEM) y su correlación con las capas de cuatro pozos de exploración (con profundidades de 400 a 700 m) realizados por INGESA (1972), y otros ocho pozos exploratorios con profundidades menores de 200 m (CIGSA, 2001).

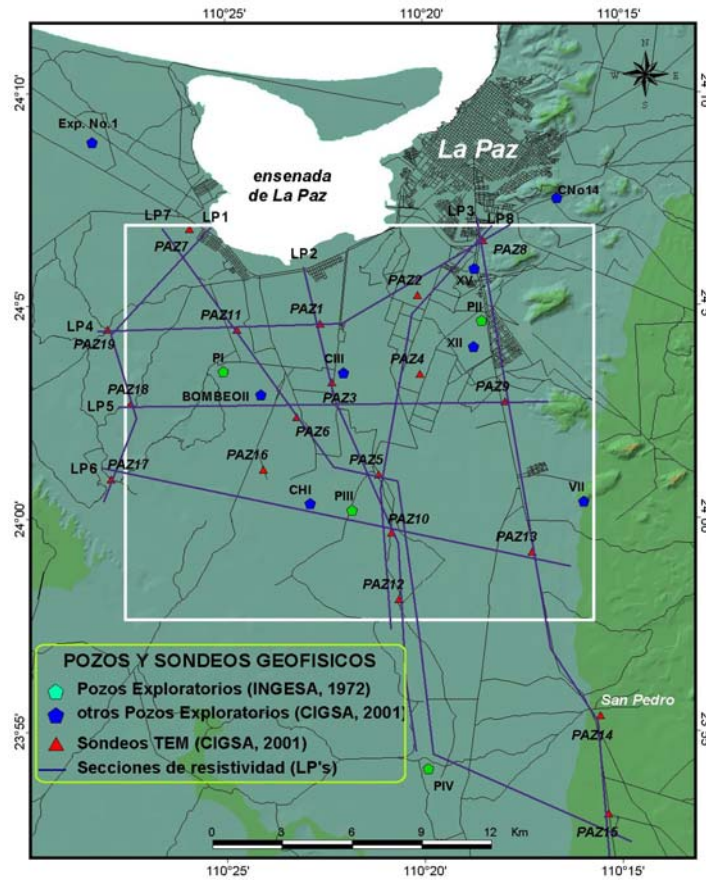


Fig.3.1.1 Área utilizada para construir el modelo de capas. Incluye la localización de pozos de exploración, sondeos y secciones geofísicas.

A continuación se describe la información utilizada por CIGSA (2001), tanto de los pozos de exploración como de los sondeos geofísicos, para la construcción de las secciones de resistividad.

3.1.1.1 Pozos de exploración (INGESA, 1972)

De la mayoría de los pozos para extracción de agua que se localizan en el valle de La Paz, pocos alcanzan los 200 m de profundidad, por lo que en sus registros solo es posible conocer las propiedades de las rocas hasta esa profundidad.

La compañía INGESA, realizó cuatro perforaciones exploratorias en el año de 1971. Dos pozos se perforaron a 450 m (PII y PIII), otro a 400 (PIV), y el más profundo alcanzó los 704 m (PI), figura 3.1.1.

3.1.1.2 Sondeos transitorios electromagnéticos (CIGSA, 2001)

Estos sondeos los realizó la compañía CIGSA en el año 2000. Consistió en 19 levantamientos de resistividad (Fig.3.1.1) por la técnica del transitorio electromagnético (TEM) con una bobina de 100 x 100, para penetrar a más de 500 m. Los datos obtenidos fueron procesados con el método clásico de modelado por capas o unidimensional de prueba y error, y luego se generó un modelo multicapas para obtener las secciones de resistividad. Para esto, se incluyó en las secciones la información de los pozos exploratorios de INGESA (1972), y otros ocho pozos exploratorios más (CIGSA, 2001).

De acuerdo a los resultados de la distribución de resistividades, se consideraron cinco unidades geoelectricas a las que se asignó un intervalo de resistividades así como los posibles materiales que corresponden a esos valores resistivos (Tabla 3.1.1).

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 ígneas (riolita) y arenas de origen volcánico muy compactas (Permeabilidad baja)

Tabla 3.1.1 Descripción de la zonificación georesistiva. Tomado de CIGSA (2001).

3.1.2 Construcción del modelo

De las ocho secciones de resistividad distribuidas en el área (PL1 a PL8, Fig.3.1.1), bajo cada sondeo se midió el espesor de cada unidad y se incluyó el rango de resistividades, con lo que se elaboró la Tabla 3.1.2. Así mismo, se sumaron los espesores para calcular la profundidad de cada unidad respecto a la superficie del terreno.

Sondeo TEM	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD
PAZ 1	U1a 15m 47-60Ωm	U1b 65m 3-10 Ωm	U3 90m 13-19Ωm	U4 120m 8-12Ωm	U5 270m 28-54Ωm		
PAZ 2	U1a 10m 47Ωm	U1b 95m 6-15Ωm	U3 105m 14-25Ωm	U4 140m 7-14Ωm	U5 310m 28-68Ωm		
PAZ 3	U1a 20m 38Ωm	U1b 75m 7-11Ωm	U3 225m 29-77Ωm	U4 150m 5-13Ωm	U5 200m 22-34Ωm		
PAZ 4	U1a 35m 45-85Ωm	U1b 25m 4-8Ωm	U1a 60m 20-42Ωm	U2b 85m 7-18Ωm	U3 125m 28-33Ωm	U4 175m 2-12Ωm	U5 200m 17-34Ωm
PAZ 5	U1a 95m 9-52Ωm	U2b 100m 10-15Ωm	U3 190m 18-29Ωm	U4 220m 12-18Ωm	U5 80m 20Ωm		
PAZ 6	U1a 85m 13-40Ωm	U2b 45m 15-24Ωm	U3 95m 28-31Ωm	U4 155m 11-13Ωm	U5 395m 31-192Ωm		
PAZ 7	U1a 25m 30-44Ωm	U1b 110m 5-10Ωm	U3 35m 11-13Ωm	U4 80m 7-12Ωm	U5 410m 16-81Ωm		
PAZ 8	U1a 25m 22-40Ωm	U1b 40m 8-15Ωm	U3 85m 11-16Ωm	U4 215m 5-12Ωm	U5 310m 30-77Ωm		
PAZ 9	U1a 80m 16-74Ωm	U2b 120m 8-15Ωm	U3 145m 16-31Ωm	U4 165m 17-19Ωm	U5 200m 32-54Ωm		
PAZ 10	U1a 65m 31-38Ωm	U2b 125m 9-17Ωm	U3 220m 17-38Ωm	U4 190m 8-18Ωm	U5 150m 44Ωm		
PAZ 11	U1a 15m 30Ωm	U1b 60m 11-14Ωm	U3 60m 16-18Ωm	U4 90m 12-13Ωm	U5 300m 35-81Ωm		
PAZ 12	U1a 65m 19-51Ωm	U2b 150m 12-28Ωm	U3 195m 19-21Ωm	U4 155m 12-16Ωm	U5 150m 24-48Ωm		
PAZ 13	U1a 195m 13-83Ωm	U2a 140m 3-10Ωm	U3 75m 21Ωm	U5 385m 35-100Ωm			
PAZ 14	U1a 35m 24-38Ωm	U2a 225m 2-12Ωm	U5 575m 20-89Ωm				
PAZ 15	U1a 80m 24-62Ωm	U2a 230m 9-18Ωm	U5 600m 20-79Ωm				
PAZ 16	U1b 80m 19-27Ωm	U2b 75m 10-20Ωm	U3 65m 17-20Ωm	U4 230m 15-16Ωm	U5 260m 22-65Ωm		
PAZ 17	U1a 10m 51Ωm	U1b 100m 12-19Ωm	U2b 45m 10-14Ωm	U4 175m 6-14Ωm	U5 430m 29-75Ωm		
PAZ 18	U1a 80m 14-19Ωm	U2b 80m 8-10Ωm	U3 85m 15-20Ωm	U4 125m 9-12Ωm	U5 235m 23-54Ωm		
PAZ 19	U1a 70m 10-42Ωm	U1b 70m 7-19Ωm	U3 30m 12-14Ωm	U4 130m 3-10Ωm	U5 290m 27-107Ωm		

Tabla 3.1.2 Sondeos TEM de CIGSA (2001), con sus respectivas capas o unidades geoelectricas, con espesores y rango de resistividades. Los sondeos TEM (PAZ1 a PAZ 19) se ubican en la figura 3.1.1.

Posteriormente se interpolaron las profundidades de cada unidad por el método spline con el programa ArcView 3.2, y se obtuvo el modelo de capas de la zona acuífera (Fig. 3.1.2).

El modelo generado está compuesto por seis capas e incluye la topografía del basamento cristalino profundo (capa inferior) estimada más adelante en el Capítulo 3.2.3 de este estudio.

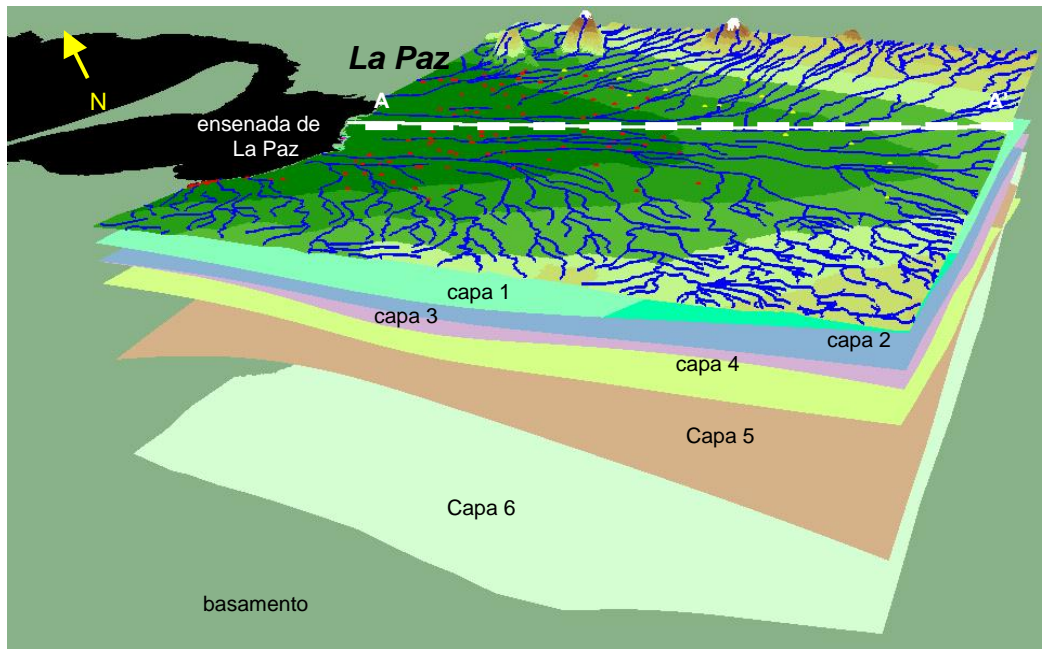


Fig.3.1.2 Disposición de las capas del modelo en el área acuífera. El límite inferior de la capa 6 es el basamento granítico profundo. Las líneas azules son los escurrimientos superficiales y los puntos son los pozos de explotación. La sección A-A' se desplaza desde cercana de la costa hacia el centro del valle. La imagen es vista de suroeste a noreste.

Sobre el modelo de capas se trazó la sección A-A' (Fig. 3.1.3) en dirección aproximada NNW-SSE, lo que permite poder observar los espesores y tendencias de las capas incluyendo el basamento granítico profundo.

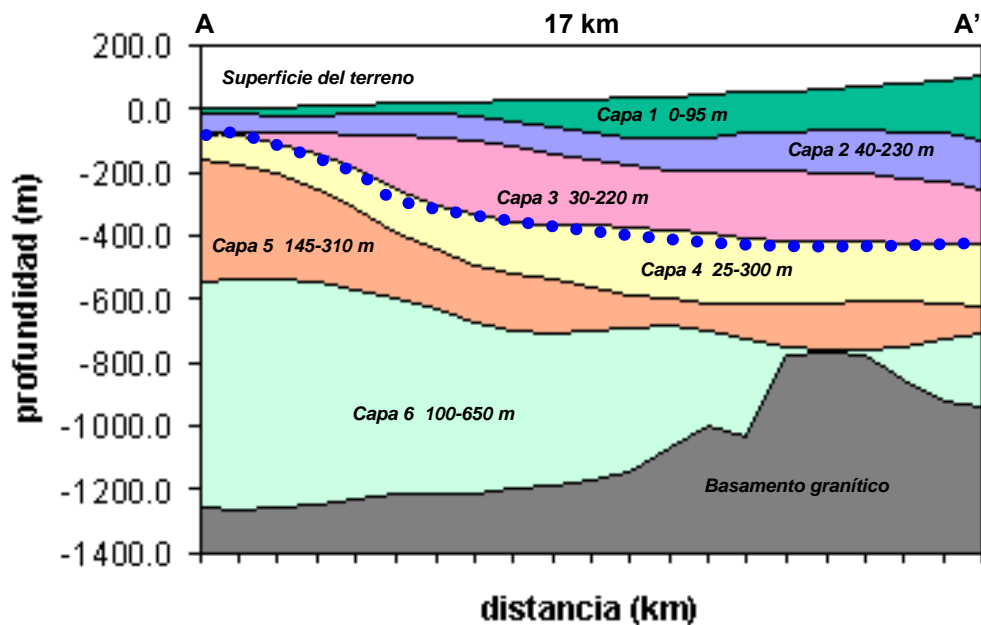


Fig.3.1.3 Sección estratigráfica A-A' de la zona acuífera. Se muestra la disposición, profundidad y espesor de las capas. La línea punteada en la parte inferior de la capa 3 delimita el basamento del acuífera. El basamento granítico se muestra en la parte inferior.

Los materiales característicos que componen cada una de las capas, se describen en la Tabla 3.1.3.

capa 1	capa superficial, compuesta principalmente por arcilla con arena, arenas finas a gruesas y gravas (depósitos fluviales del Cuaternario), así como roca alterada.
capa 2	capa subsuperficial, compuesta por arenas gruesas angulosas con minerales de hierro (color rojizo característico). Es compacta y más homogénea que la capa 1.
capa 3	capa compuesta por arenas gruesas, gravas, guijarros y cantos rodados. Brechas y conglomerados volcánicos.
capa 4	capa volcánica, compuesta por tobas, aglomerados, boleos riolíticos y brechas. Posiblemente sea el basamento acuífero, por sus características poco permeables.
capa 5	capa volcánica de composición riolítica, con cierto grado de fracturamiento, y características permeables.
capa 6	capa volcánica (riolitas, arenas arcillosas y tobas arenoarcillosas)?, con características permeables. Con un basamento granítico en su parte inferior. El espesor de esta capa es inferido.

Tabla 3.1.3. Materiales principales que componen las capas del modelo.

3.1.3 Discusión

Del análisis de información de los perfiles geoelectrónicos TEM (Fig.3.1.1) realizados por CIGSA (2001), se encontró que la estratigrafía subterránea de la zona acuifera del valle de La Paz es compleja, compuesta por estratos con espesores muy variables e interdigitación de materiales, sin embargo se pudieron definir seis unidades principales (Figs.3.1.2 y 3.1.3). Las tres capas superiores presentan características similares de buena porosidad y permeabilidad por el tipo de material que las compone, principalmente material de origen aluvial con brechas y conglomerados volcánicos. Aunque en la capa superficial (capa 1) es común encontrar arcillas. Las tres capas inferiores (4, 5 y 6) están principalmente formadas por material de origen volcánico, pero con características permeables que les permite almacenar agua, exceptuando la capa 4 que tiene características de poca permeabilidad.

Del modelo de capas, resalta la capa 4, la cual es zonificada en el trabajo de CIGSA (2001) como la unidad 4 (U4) compuesta principalmente por tobas, aglomerados, boleos riolíticos y brechas.

En la interpretación de los sondeos SEV1 y SEV2 realizados más adelante en este estudio (Capítulo 3.2.2.3.2) la capa 4 mencionada es localizada, y por la información que se tiene, se compone de un material duro encontrado en la base de las perforaciones de varios de los pozos de explotación del acuífero de La Paz (Tarango, com. pers.), lo que hace suponer que esta capa volcánica compuesta principalmente

por tobas areno-arcillosas y limo-arcillosas es la base del acuífero (Figs.3.1.2 y 3.1.3). Esta capa caracterizada por tobas que presentan un color rosado, junto a otros materiales como aglomerados volcánicos intercalados con lavas riolíticas, forman lomeríos aislados principalmente en la parte oriental del valle de La Paz (CNA, 1997).

CNA (1997) define la geología local representada por cinco unidades geohidrológicas ó hidroestratigráficas, estas son en orden a partir de la superficie: aluvión, sedimentos arcillo arenosos, rocas volcánicas, piroclásticos, y complejo ígneo metamórfico (como basamento). En la sección geológica que presentan para el valle de La Paz, delimitan claramente lo que corresponde a la unidad equivalente con la capa 4, como una capa impermeable compuesta por tobas limosas y arcillosas, con intercalaciones de arenas arcillosas y aglomerados, que sobreyace a un complejo ígneo metamórfico.

En el modelo esquemático geológico-geofísico de SARH-UNAM-UABCS (1986) nó está definida esta capa, ya que toda la secuencia que presentan se encuentra compuesta por material de aluvión (arena grava y arcilla, arcilla con arena, arena con limos) sobreyaciendo a un basamento ígneo.

Es probable que el área estudiada está conformada por dos acuíferos, un acuífero libre de donde se extrae el agua, que se encuentra entre las tres capas superiores (de 0 a 400 m) compuestas principalmente por depósitos aluviales con arenas finas a gruesas, gravas, guijarros y cantos rodados, y algunos materiales volcánicos (Figs.3.1.2 y 3.1.3). Este acuífero tiene como base una capa volcánica poco permeable (capa 4) con un espesor de 25 a 300 m, compuesta por tobas limo-arcillosas, aglomerados y brechas.

Bajo el acuífero libre, se encuentra un acuífero semiconfinado, distribuido entre materiales volcánicos, como riolita fracturada, arenas arcillosas y tobas arenoarcillosas, que está en contacto en su parte superior con la capa 4, y en su parte inferior más profunda tiene como frontera el basamento granítico (Figs.3.1.2 y 3.1.3).

La ciudad de La Paz y las otras poblaciones adyacentes se encuentran asentadas sobre estructuras geomorfológicas denominadas abanicos aluviales. La deposición

de los sedimentos en este tipo de ambientes es ampliamente dominado por los procesos fluviales, dando lugar a las diferentes facies sedimentarias cuya composición dependerá principalmente de la distancia al ápice del abanico aluvial. Es importante señalar que la estratigrafía de este tipo de ambientes tiende, de manera general, a disminuir los espesores de las capas en el mismo sentido del flujo de los escurrimientos, por lo que se esperaría que en la sección A-A' (Fig.3.1.3) las capas se acuñaran hacia el noroeste, es decir, al inicio del perfil, pero no ocurre así con las capas 5 y 6, lo que hace suponer que dichas capas fueron depositadas durante otro ambiente con un flujo de depositación en sentido contrario al de las capas superiores.

El acuífero de La Paz forma parte de una depresión tectónica o graben que fue rellenado por materiales volcánicos y sedimentos aluviales que constituyen el valle de La Paz-El Carrizal (CIGSA, 2001). Una secuencia cronológica de la formación de lo que hoy es el valle de La Paz, indica que el Mesozóico Temprano está representado por rocas intrusivas y metamórficas que constituyen el basamento; el Terciario está constituido por secuencias sedimentarias marinas y continentales, y secuencias volcánicas y volcanoclásticas; y el Cuaternario por rocas volcánicas y depósitos clásticos litorales de aluvión y eólicos (CRM, 1999). Debido a los diferentes ambientes de depositación de materiales que formaron el valle de La Paz-El Carrizal, se puede sugerir que las capas 5 y 6 del modelo de capas (Figs.3.1.2 y 3.1.3), se formaron de mediados a finales del Terciario (Mioceno-Plioceno) probablemente durante la apertura del Golfo de California. En este proceso, el basamento fue cortado por fallamientos normales (Gaitán, 1986) formando el graben que dio origen al valle de La Paz. La formación del Golfo implicó la generación de vulcanismo en una extensa región, y derrames volcánicos y piroclásticos provenientes del noreste se depositaron en la zona que hoy es el valle de La Paz. Posteriormente en el Pleistoceno y Holoceno, se acumularon materiales de origen marino (restos fosilíferos), así como gravas, conglomerados, arenas y limos de origen continental provenientes de la meteorización y erosión de las rocas que constituyen las elevaciones localizadas al este y sureste del valle.

3.2 GEOFISICA

Se realizó un estudio geofísico para estimar la profundidad al basamento cristalino de la cuenca de La Paz utilizando el método gravimétrico. Con información aeromagnética se apoyó la interpretación de la geometría de la fosa tectónica que subyace al valle de La Paz-El Carrizal, y se llevaron a cabo tres sondeos eléctricos de resistividad para investigar las primeras capas subsuperficiales.

3.2.1 Trabajo de campo y colecta de datos

3.2.1.1 Levantamiento gravimétrico

Se realizó el levantamiento de campo del 22 de julio al 24 de agosto de 2003, utilizando el gravímetro La Coste & Romberg modelo G-599 (propiedad de CICESE), el cual permite una precisión en las lecturas de ± 0.01 miligales.

Se utilizaron dos estaciones base, una (EB1) ubicada en la base del asta del Palacio de Gobierno del Estado en la ciudad de La Paz, cuya placa dice: Instituto de Geofísica UNAM - Departamento Cartográfico Militar - EEA 114; y la otra (EB2) localizada donde se divide la carretera transpeninsular hacia el norte y San Juan de la Costa, la placa dice: Departamento Cartográfico Militar - EEA 103 - 1972 (Fig.3.2.1). La información para cada estación, como es el valor de gravedad, la localización geográfica y su elevación, fue obtenida en las oficinas locales de INEGI (1982). A estas dos estaciones se refirieron todos los datos obtenidos en el levantamiento.

Se tomaron lecturas en un total de 554 estaciones distribuidas en 20 perfiles sobre un área de aproximadamente 160 Km², con un espaciamiento entre estaciones de 300 a 1800 m (Fig.3.2.1). La ubicación de cada estación (en la horizontal) se obtuvo con el GPS Garmin III, en coordenadas geográficas decimales, con referencia al Datum NAD27. Los datos de campo junto a las correcciones que normalmente se aplican a las mediciones con el método gravimétrico se presentan en el Anexo 3.2.1.

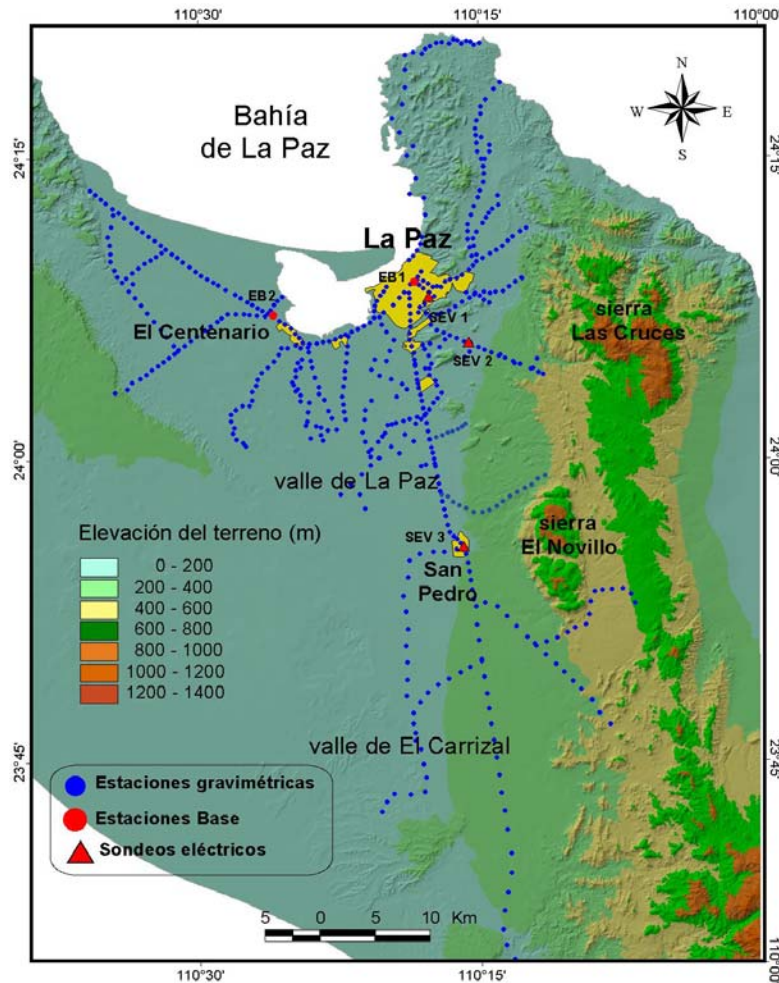


Fig.3.2.1 Modelo digital de elevación del terreno (MDET). Se muestra la localización de las estaciones gravimétricas y sondeos eléctricos.

3.2.1.2 Sondeos eléctricos verticales (SEV)

A pesar de que en la zona se han perforado varios pozos profundos de exploración, pozos para extracción de agua, y de que se han realizado varios estudios geofísicos, la información sobre la profundidad del basamento es escasa y confusa.

Con el propósito inicial de encontrar el basamento en lugares donde se suponía estaba poco profundo, se realizaron tres SEV (Fig.3.2.1) con arreglo de electrodos tipo Schlumberger (Tabla 3.2.1, Anexo 3.2.2).

Se utilizó el resistímetro Sting R1 IP (propiedad de CICIMAR) con aberturas máximas $AB/2$ de 450 m, con profundidad de exploración aproximada de 150 m ($1/3$ de $AB/2$). Este resistímetro utiliza como fuente un acumulador de 12 voltios, con una

potencia de corriente de hasta 500 ma. Almacena en memoria toda la información de los sondeos tal como: AB/2, MN/2, resistividad aparente (ρ_a), diferencia de potencial (ΔV), corriente emitida (I), % de error (δ) y número de iteraciones del proceso. En todos los sondeos se agregó agua de mar en los electrodos de corriente y potencial, para mejorar el contacto y el paso de la corriente al terreno.

SEV	COORDENADAS UTM (NAD27)		LOCALIDAD
	X	Y	
SEV 1	571,025.080	2,669,356.330	arroyo El Cajoncito y Márquez de León Z. Urbana
SEV 2	575,193.560	2,665,201.040	carretera a Los Planes km 5
SEV 3	574,461.040	2,655,978.580	San Pedro

Tabla 3.2.1 Localización de los sondeos eléctricos verticales (SEV).

3.2.2 Análisis y corrección de datos

3.2.2.1 Datos aeromagnéticos

La información aeromagnética fue adquirida de la División de Ciencias de la Tierra, Departamento de Sismología de CICESE. Los datos provienen del Consejo de Recursos Minerales (CRM), 1972, y corresponden a las Cartas de INEGI escala 1:50,000: F12B12, 13, 22 y 23; G12D72, 73, 82 y 83, que cubren un área aproximada de 6,500 Km² (Fig.3.2.2).

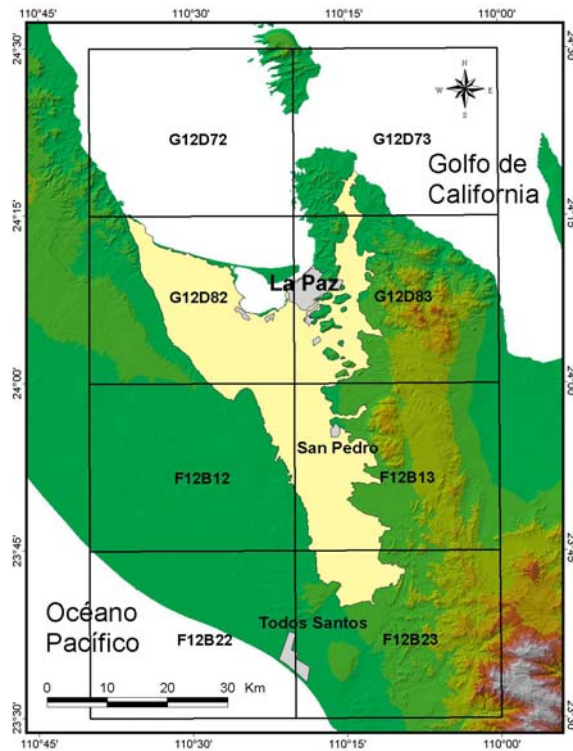


Fig.3.2.2 Area que cubren los datos aeromagnéticos.

Los datos fueron tomados en líneas de vuelo continuas Norte-Sur, a una altura sobre el terreno de 300 m, separadas 1 km, con muestreos cada 5 m. La ubicación geográfica fue obtenida con GPS, con una proyección de referencia UTM-NAD27. Los datos están corregidos de origen por variación diurna y campo geomagnético, con una precisión de 20 nT (nanoTeslas). Las unidades de los datos están en Gammas.

La base de datos fue trabajada en Excel, donde todos los datos se submuestrearon cada 500 m para obtener una rejilla regular. Posteriormente fueron unidos en un solo archivo y se interpolaron con el método spline utilizando el programa ArcView 3.2, para obtener un mapa de contornos de anomalía magnética (Fig.3.2.3).

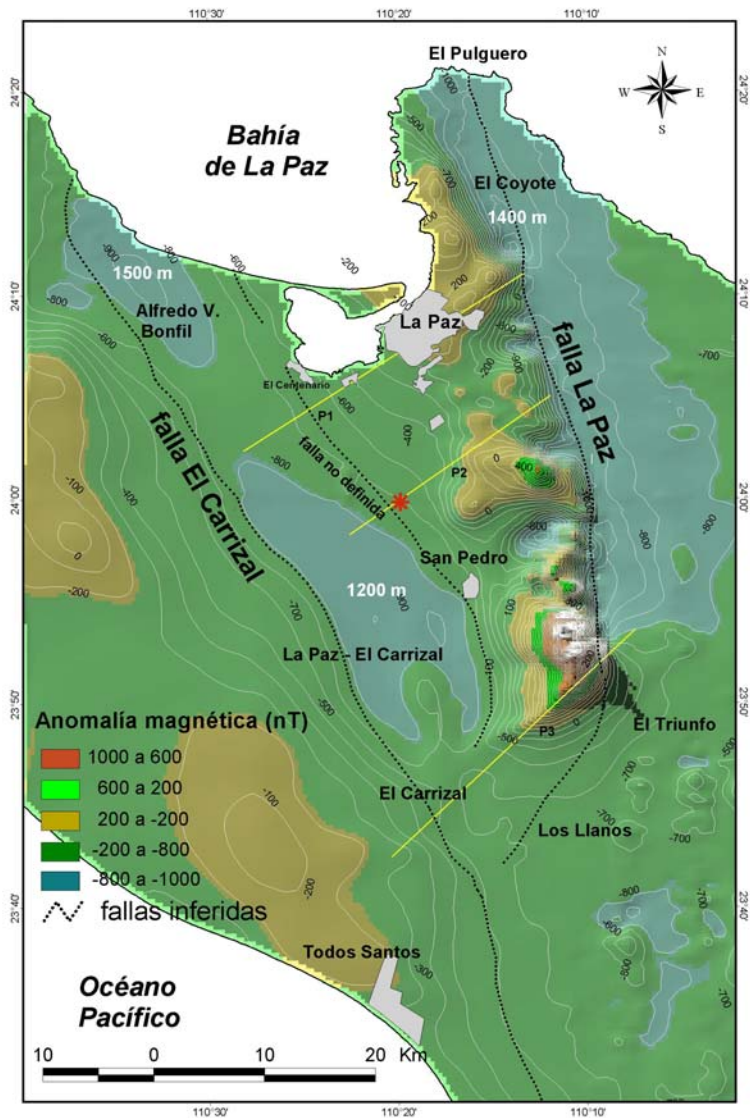


Fig.3.2.3 Contornos de anomalía magnética en el valle de La Paz – El Carrizal (cada 100 nT). Se muestra el trazo inferido de la falla La Paz y El Carrizal, y otra falla intermedia no definida, así como las zonas más profundas del basamento granítico (color gris). Las profundidades al basamento que se observan (en números blancos) fueron estimadas a partir del modelo gravimétrico. Se muestra la ubicación de los tres perfiles gravimétricos que se modelaron.

3.2.2.2 Datos gravimétricos

Con los datos del levantamiento de campo se procedió a la conversión de las lecturas obtenidas en el contador del gravímetro a valores en miligales, de acuerdo a las especificaciones del Manual y la Tabla para la constante del aparato. Los datos de campo fueron capturados en archivos por separado para cada perfil, nombrados con el mes y día del levantamiento. Todas las operaciones y fórmulas para las

correcciones se realizaron en hojas de cálculo de Excel (Anexo 3.2.1) para cada estación.

La lectura del contador del gravímetro para esta latitud, fue de 2500, el valor en miligales de 2560.39, y el factor por intervalo de 1.02557. Los valores de las lecturas calculados con estas constantes se redondearon a dos decimales. Luego se procedió a hacer las correcciones por deriva, latitud, elevación (aire libre y Bouguer) y por topografía. Finalmente se calculó la anomalía de Bouguer, referida a la estación base No.1 (EB1) localizada en la figura 3.2.1.

3.2.2.2.1 Correcciones

3.2.2.2.1.1 Corrección por deriva

Esta corrección se realizó calculando la diferencia de los valores medidos con el gravímetro entre cada inicio y cierre en las estaciones base. Los cierres se hicieron a intervalos máximos de tres horas.

La deriva ocurrida se compensó linealmente entre los valores medidos de las estaciones intermedias. La deriva máxima que registró el aparato fue de 0.28 miligales.

La deriva del instrumento para cada estación, se calcula como:

$$\Delta g(i) = [g. \text{ final} - g. \text{ inicial} / \text{hr. final} - \text{hr. inicial}] \times [\text{hr.}(i) / \text{hr. inicial}]$$

El valor de la gravedad observada para cada estación, es igual al valor de la gravedad (lectura corregida del aparato, en miligales) + Δg correspondiente.

3.2.2.2.1.2 Corrección por latitud

La corrección por latitud se hizo referida a las estaciones base (EB1 y EB2) que fueron utilizadas. Esta corrección está dada por (Dowdy, 1977):

$$\Delta g_l = 5172.3 [\text{Sen}^2 \theta (\text{est. Base de referencia}) - \text{Sen}^2 \theta (\text{ests.})]$$

donde θ = latitud geográfica en grados.

3.2.2.2.1.3 Corrección por elevación (aire libre y Bouguer)

Para estimar la elevación de las estaciones se generó el modelo digital de elevación del terreno (MDET) a partir de las curvas de nivel de ocho cartas digitales

de altimetría de INEGI (1998-2003) escala 1:50,000 (F12B12, 13, 22 y 23; G12D72, 73, 82 y 83) que cubren el área de estudio. Se obtuvo el MDET con un píxel de 20 x 20 m (Fig.3.2.1), utilizando el programa ArcView 3.2. Luego se calculó el centroide para cada uno de los píxeles del modelo y enseguida se asignó el valor de elevación a cada una de las estaciones gravimétricas.

Para asignar la densidad de las rocas o materiales a cada estación, se digitalizaron las cartas geológicas de INEGI (1983) escala 1:250,000 (F12-3-5-6 y G12-10-11), en la zona que cubre el área de estudio (Fig.3.2.4). En la base de datos se capturó la clave del tipo de roca y la densidad correspondiente para cada material se tomó de las tablas de densidades para diferentes rocas de Dobrin (1976) y Telford et al. (1982). Luego se asignaron los valores de densidad a cada estación gravimétrica.

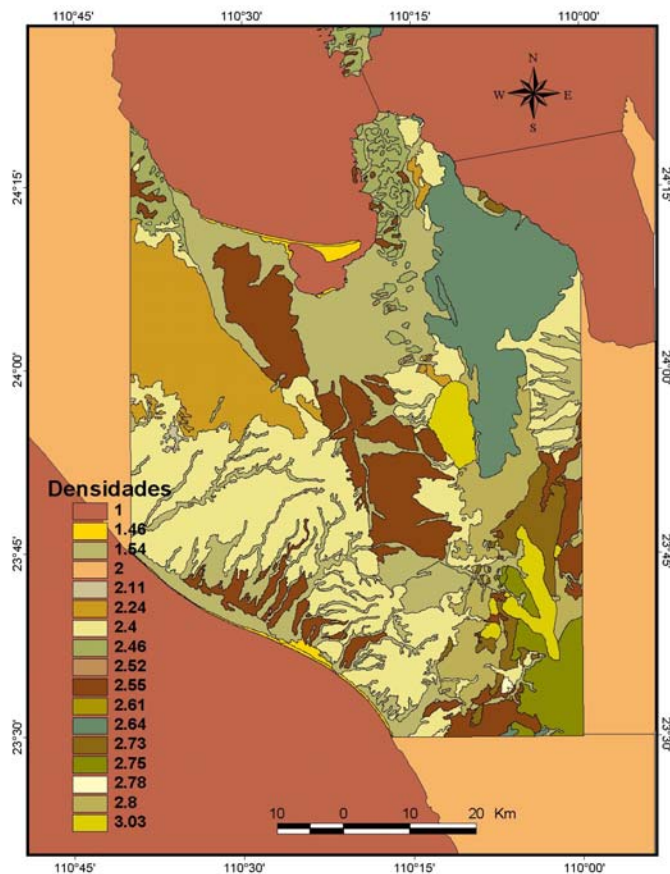


Fig.3.2.4 Mapa geológico del área de estudio. Utilizado para la corrección por elevación. Digitalizado de las cartas Geológicas de INEGI (F12-3-5-6 y G12-10-11) escala 1:250,000. Las densidades de las rocas fueron tomadas de Dobrin (1976).

Los datos de elevación y densidad, fueron procesados en hojas de cálculo de Excel, empleando las siguientes fórmulas (Telford et al., 1982):

para la corrección por aire libre:

$$Cal = -.3085 \Delta h \text{ miligales}$$

donde Δh = altura de la est. Base – altura de las estaciones.

para la corrección de Bouguer:

$$CBg = 0.04188 \Delta h \rho \text{ miligales}$$

donde ρ = densidad de la roca o sedimento superficial (g/cm^3).

3.2.2.2.1.4 Corrección por topografía

Esta corrección fue realizada utilizando el programa de Ballina (1990). El programa requiere de una rejilla de 1 km² que contenga las coordenadas planas X y Y, la elevación y la densidad superficial del terreno. La rejilla debe tener sus límites a más de 20 km de radio de la posición de cualquier estación gravimétrica a corregir. El programa selecciona internamente, a partir de la rejilla de entrada, una rejilla de 40 x 40 km (dividida en una zona externa y una interna) con la estación a corregir colocada al centro de la misma. La zona interna considera las subzonas D a la F, y la externa de la G a la M, comparativamente con el modelo de plantilla para corrección topográfica de Hammer (1939, en Dobrin, 1976).

Para realizar lo anterior fue necesario generar la rejilla que utiliza el programa, y para esto se requirió hacer un nuevo MDET, añadiendo las curvas de nivel de las cartas digitales de altimetría de INEGI (1998-2003) escala 1:50,000 (F12B11,14,24,33,34; G12D61,71,81,84); las isóbatas de la ensenada, Bahía de La Paz, y de la porción del Golfo de California frente a esta zona, de las cartas náuticas de la Secretaría de Marina (1976), y las isóbatas de la porción del océano Pacífico para esta zona (DMAH/TC, 1984). Con esta información se generó el MDET con una unidad de rejilla de 1 km² (Fig.3.2.5), y se obtuvo el centroide con la profundidad o elevación correspondiente.

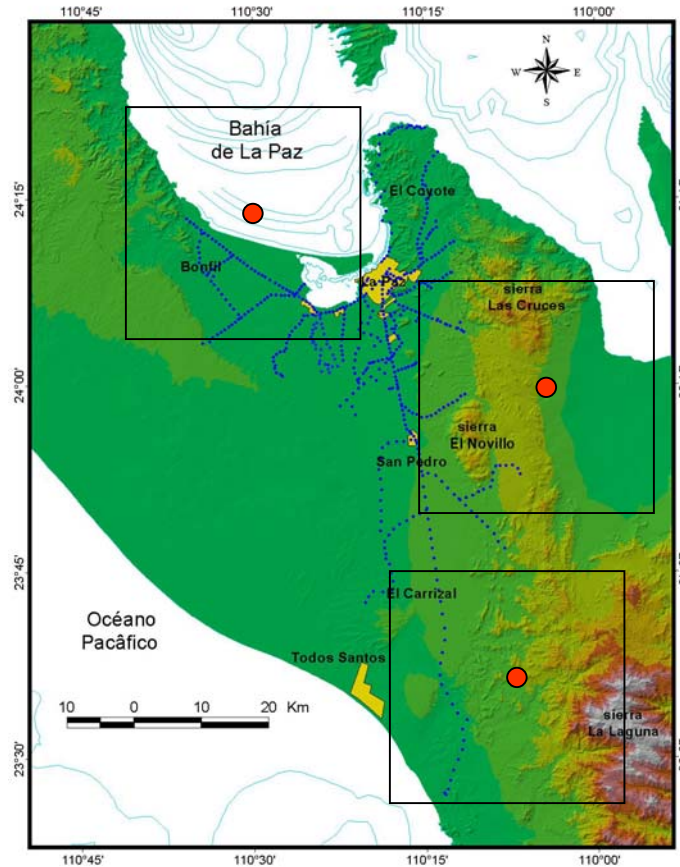


Fig.3.2.5 MDET de la región utilizado para la corrección topográfica con el programa de Ballina (1990). Se muestra el cuadrante y centro aparente (punto rojo) que se forma para la corrección topográfica en cada estación (puntos azules). Los contornos de profundidad son las líneas azules.

Para obtener la información de la densidad superficial de las rocas, se utilizó el mapa de geología para la corrección de Bouguer (Fig.3.2.4). La densidad de las zonas que quedaron cubiertas por agua se consideró igual a 1.0. Posteriormente, se asignó a cada punto de la rejilla el valor correspondiente de densidad.

Para calcular la corrección topográfica, cada perfil gravimétrico (con sus respectivas estaciones) se procesó en el programa de Ballina (1990). Los valores de corrección se trasladaron al archivo principal en Excel (uno para cada perfil, Anexo 3.2.1), donde se tienen las demás correcciones.

3.2.2.2.2 Anomalía de Bouguer

La gravedad de Bouguer se calcula con la sumatoria de las correcciones y la gravedad observada. La anomalía de Bouguer se obtiene partir de la gravedad de Bouguer y la anomalía de gravedad de Bouguer en las estaciones base (Anexo 3.2.1). Por tanto:

- $\text{grav. observada} = \text{lectura del gravímetro corregida (en miligales)} + \text{corrección por deriva.}$
- $\text{gravedad de Bouguer} = \text{grav. observada} + \text{corr. latitud} + \text{corr. aire libre} + \text{corr. Bouguer} + \text{corr. topográfica.}$
- $\text{grav. de Bouguer en est. Base} = \text{valor de gravedad (en miligales) de la est. Base corregido por topografía.}$
- $\text{anomalía de Bouguer:} = \text{grav. de Bouguer en estaciones} - \text{grav. de Bouguer en estación Base} + \text{anomalía de grav. de Bouguer en estación Base.}$

Se interpolaron los valores de anomalía de Bouguer y se obtuvo el mapa de contornos (Fig.3.2.6).

En este estudio, la anomalía de gravedad de Bouguer es de 12.568 miligales en la estación Base No.1, y de 15.214 miligales para la estación Base No.2 (estaciones de gravedad, INEGI, 1971). A los datos de anomalía de Bouguer referidos a la estación Base No.2 (EB2), se les sustrajo 2.646 miligales para referenciarlos a la estación Base No.1 (EB1), Anexo 3.2.1.

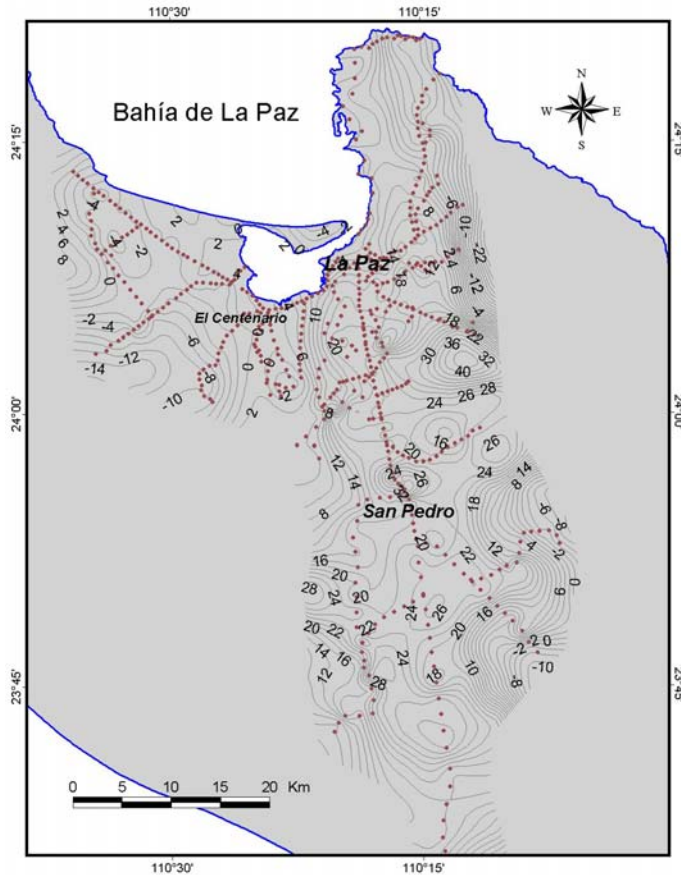


Fig.3.2.6 Contornos de anomalía de Bouguer en el valle de La Paz-El Carrizal (cada 2 miligales). Se muestran las estaciones gravimétricas (puntos cafés).

3.2.2.2.3 Separación regional-residual

Debido a que en la porción sur de la península de Baja California el valor de la gravedad en los extremos este (Golfo de California) y oeste (Océano Pacífico), así como al sur (Los Cabos) y norte (Ciudad Constitución) es aproximadamente el mismo, solo al centro de esta región se presenta un alto gravimétrico (Couch et al., 1988), no se consideró un gradiente para la zona de estudio.

Debido a que se trata de obtener el espesor del paquete de sedimentos bajo el área que cubre la cuenca de La Paz (Fig.2.1), la concavidad subterránea no es completa, es decir, la roca que aflora al este y sureste de la cuenca no aflora en el otro extremo, por lo que si ajustamos una superficie polinomial a los datos de anomalía de Bouguer, la anomalía residual resultante no estaría representando el espesor del paquete de sedimentos. De tal forma que la anomalía residual se obtuvo

como si se realizara gráficamente, ajustando un plano horizontal a los datos de anomalía de Bouguer (ejemplo Fig.3.2.7).

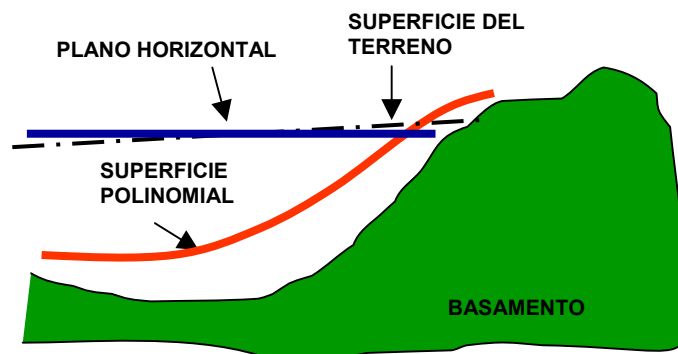


Fig.3.2.7 Esquema que representa el ajuste de un plano horizontal para la separación regional residual.

Para esto, se restó un valor de 50.0 a los datos de anomalía de Bouguer, calculándose un residual que representa aproximadamente el paquete de sedimentos que compone la cuenca subterránea (Fig.3.2.8).

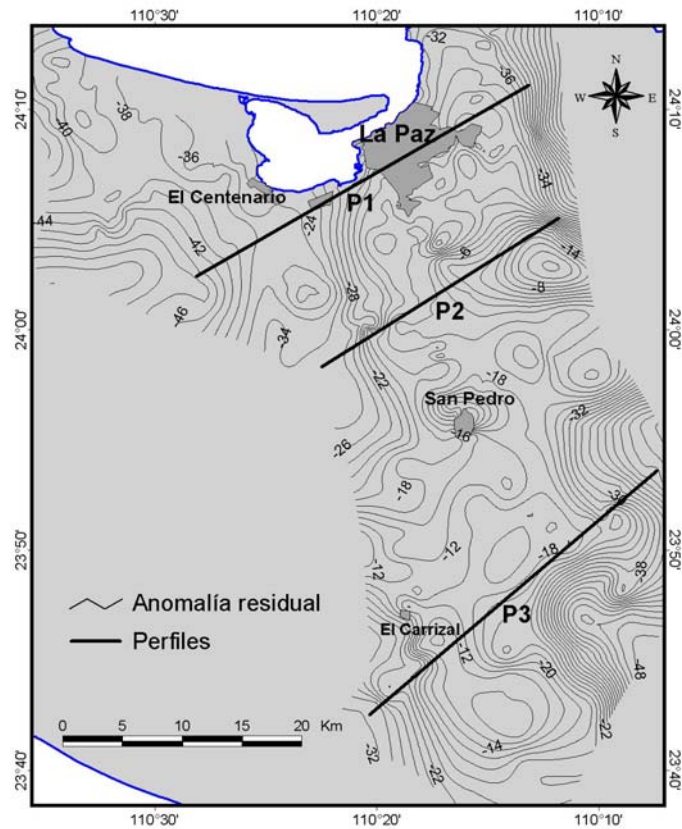


Fig.3.2.8 Contornos de anomalía residual en el valle de La Paz (cada 2 miligales). Se muestra la ubicación de los perfiles para la modelación.

3.2.2.3 Datos eléctricos

3.2.2.3.1 Análisis y procesamiento de los datos de campo

Los datos de campo de los tres sondeos realizados (Anexo 3.2.2) fueron capturados en Excel y procesados con el programa VES 3.0 (Cooper, 2000). Se calculó el número de capas, espesor y resistividad correspondiente para cada sondeo (Tabla 3.2.2), a partir de las curvas generadas (Anexo 3.2.3)

SEV	CAPA	ESPESOR (m)	RESISTIVIDAD (Ω m)
1	1	0.30	2.40
	2	62.20	100.10
	3	19.00	5.40
	4	32.20	102.20
	5	No determinado	17.60
2	1	10.40	66.20
	2	43.00	7.90
	3	13.10	22.10
	4	48.00	4.30
	5	No determinado	5.70
3	1	4.0	600
	2	6.4	89.1
	3	96	26.3
	4	15	4.5
	5	No determinado	41.7

Tabla 3.2.2 Resultados obtenidos del modelo para los sondeos eléctricos verticales (SEV).

3.2.2.3.2 Interpretación

Por las características del equipo utilizado y las capas resistivas encontradas en la superficie del terreno los sondeos fueron poco profundos, solo el SEV3 alcanzó los 120 m, a pesar de que la abertura máxima de AB/2 fue 450 m. La capa superficial que regularmente es de poco espesor presentó alta resistividad en los tres sondeos (Tabla 3.2.2), lo cual se debe principalmente a las arenas gruesas secas.

El SEV1 (Fig.3.2.9), a partir de una pequeña capa conductora superficial de 30 cm, se presenta un alto resistivo (capa de más de 60 m) producto de arenas secas, brechas y conglomerados volcánicos. Más abajo se encuentra una capa conductora con un espesor de casi 20 m la cual contiene arenas saturadas y quizá algunos materiales volcánicos. Esta es la capa acuífera, a la que le subyace una capa sólida de alrededor de 30 m de espesor de una resistividad mucho mayor, compuesta por tobos y brechas volcánicas.

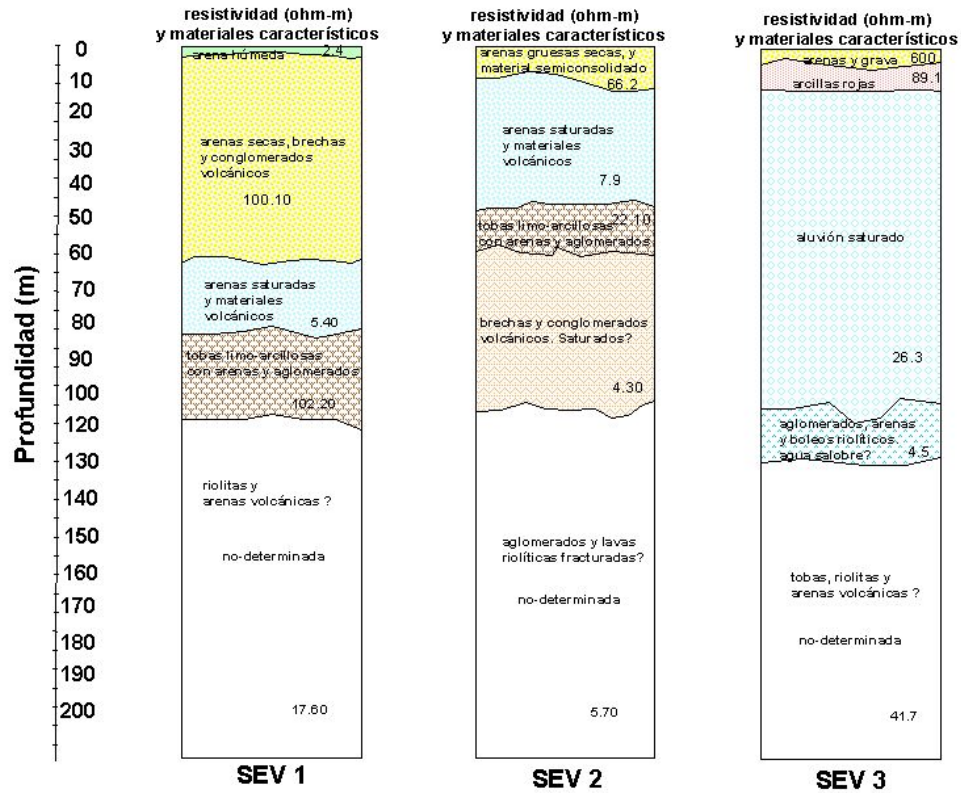


Fig.3.2.9 Columna litológica interpretada a partir del modelo obtenido para cada sondeo eléctrico vertical (SEV). Se muestran los espesores y resistividades de las capas.

Como testigo de este sondeo, se cuenta con datos de profundidad y muestra de material del Pozo 7, localizado a 150 m de distancia del SEV1, el cual es utilizado para agua potable por el Sistema de Agua Potable y Alcantarillado (SAPA) de la ciudad de La Paz. De este pozo se extrajo toba rosada y otros materiales de origen volcánico a partir de los 80 m de profundidad. Actualmente el pozo tiene una profundidad de 98 m.

Cabe mencionar que en muchos de los pozos para explotación de agua potable durante su perforación o ampliación, se ha encontrado esta capa de toba volcánica relativamente dura (Tarango, com. pers.) comparada con las capas que la sobreyacen, la cual podría considerarse como el basamento del acuífero.

El SEV2 (Fig.3.2.9), presenta una capa superficial resistiva de 10 m de espesor compuesta por arenas gruesas secas y material consolidado, luego se encuentra una capa conductora de más de 40 m de arenas gruesas compactadas que contiene

agua, esta se encuentra encima de una capa resistiva de 13 m compuesta por tobas limo-arcillosas con arenas y conglomerados, que sobreyace a otra capa conductora de un espesor mucho mayor (48 m) compuesta por brechas y conglomerados volcánicos que contienen agua. El testigo de este sondeo es un pozo a cielo abierto que se localiza a 100 m, el cual no está incluido en la lista de aprovechamientos de la CNA. En este pozo se midió el espejo del agua a 35 m de la superficie y se extrajo material a mayor profundidad, el cual es el mismo que la muestra del pozo 7, próximo al lugar donde se realizó el SEV1.

El SEV3 (Fig.3.2.9), presenta una alta resistividad (600 ohm-m) en la capa superficial causada por los depósitos de aluvión como arenas y grava. Bajo esta capa se encuentra una capa delgada de arcillas rojas, ampliamente distribuida en esta zona. Bajo las arcillas se encuentra una capa con espesor de más de 90 m, compuesta por aluvión y arenas, probablemente saturada con agua, ya que los pozos cercanos tienen una profundidad al nivel estático de 20 a 30 m. La profundidad del nivel estático en los pozos de esta zona disminuye hacia la sierra El Novillo, localizada al este de la cuenca y aumenta hacia el oeste de San Pedro. Bajo esta capa, la resistividad disminuye, lo que podría estar indicando la presencia de materiales con cierto contenido de sales o agua salobre, así como aglomerados, arenas y boleas riolíticas. Con el aumento de la resistividad en la capa no determinada, es posible que se extienda una capa de tobas o riolitas y arenas de origen volcánico. En este sondeo, a pesar de que la abertura máxima AB/2 fue de 450 m, la interpretación de los datos nos indica que apenas se alcanzaron poco más de 120 m. No fue posible detectar una alta resistividad (más de 300 ohm-m) que sugiera la presencia del basamento ígneo, como se esperaba, el cual debe encontrarse a mayor profundidad.

3.2.3 Estimación de la profundidad al basamento cristalino

3.2.3.1 Cálculo directo

Aunque en el valle de La Paz se han realizado un buen número de perforaciones exploratorias y de extracción de agua, en general solo presentan escasa y en algunos casos dudosa información sobre la profundidad al basamento. Se han

perforado varios pozos de exploración (INGESA, 1972), incluyendo uno de 704 m al sur del poblado El Centenario (Pozo PI, Fig.3.1.1), se han realizado sondeos eléctricos con profundidad de exploración de 500 m (GEOFIMEX, 1971; ROASA, 1981), y sondeos electromagnéticos con penetraciones de más de 500 m (CIGSA, 2001), pero en ninguno de los casos se ha alcanzado el fondo cristalino de la cuenca.

CIGSA (2001), en su interpretación de los sondeos transitorios electromagnéticos (TEM), encontraron una unidad (U5) que consideran el basamento. Esta unidad es una capa poco permeable compuesta por material volcanoclástico de la formación Comondú, pero debajo de esta capa existen aún materiales permeables con capacidad de almacenar agua, por lo que el basamento granítico debe encontrarse a mayor profundidad.

Se realizó una estimación directa de la profundidad al basamento utilizando los datos gravimétricos de anomalía residual de la sección 3.2.2.2.3, con la fórmula para la estimación de la gravedad en un punto sobre una capa horizontal de extensión infinita (Carmichael y Henry, 1977).

$$\Delta h \text{ (m)} = [(\Delta g / 1000) / (2\pi \times G \times \Delta \rho)] / 100$$

Donde:

Δh = profundidad en metros

Δg = anomalía residual

G = constante de gravitación universal (6.67×10^{-8} dina cm^2 / g^2)

$\Delta \rho$ = contraste de densidad (0.66 g/cm^3).

El contraste de densidad fue obtenido a partir del material que conforma el paquete sedimentario, principalmente aluvión saturado con una densidad de 1.98 g/cm^3 , y el basamento granítico con densidad de 2.64 g/cm^3 .

La cuenca está rellena de material de aluvión en secuencias alternas de arcilla, limos, arenas, gravas y cantos rodados (CNA, 1997), así como materiales constitutivos de la formación Comondú, principalmente por areniscas y conglomerados volcanoclásticos, tobas y brechas riolíticas, aglomerados, flujos de

lava (basalto) y piroclásticos (Alvarez et al., 1997). La densidad considerada es del aluvión saturado, obtenida de la Tabla de densidades para rocas sedimentarias de Telford et al. (1982).

El basamento impermeable está constituido por un complejo ígneo-metamórfico (CNA, 1997), principalmente por granito, diorita, tonalita, esquisto y gneiss. La geología superficial presenta al norte, este y sureste del valle de La Paz, intrusivos como granito, granodiorita, tonalita y gabro, y metamórficos como gneiss y esquistos. Sin embargo, el material más característico lo constituye el granito. Algunos estudios en la región, han considerado un basamento granítico en esta zona (Couch et al., 1988; Gallardo et al., 2005). El granito tiene una densidad de 2.64 g/cm^3 , obtenida de la Tabla de densidades para rocas ígneas de Telford, et al. (1982).

El mapa de profundidad al basamento del valle de La Paz-El Carrizal, se muestra en el modelo de la figura 3.2.10.

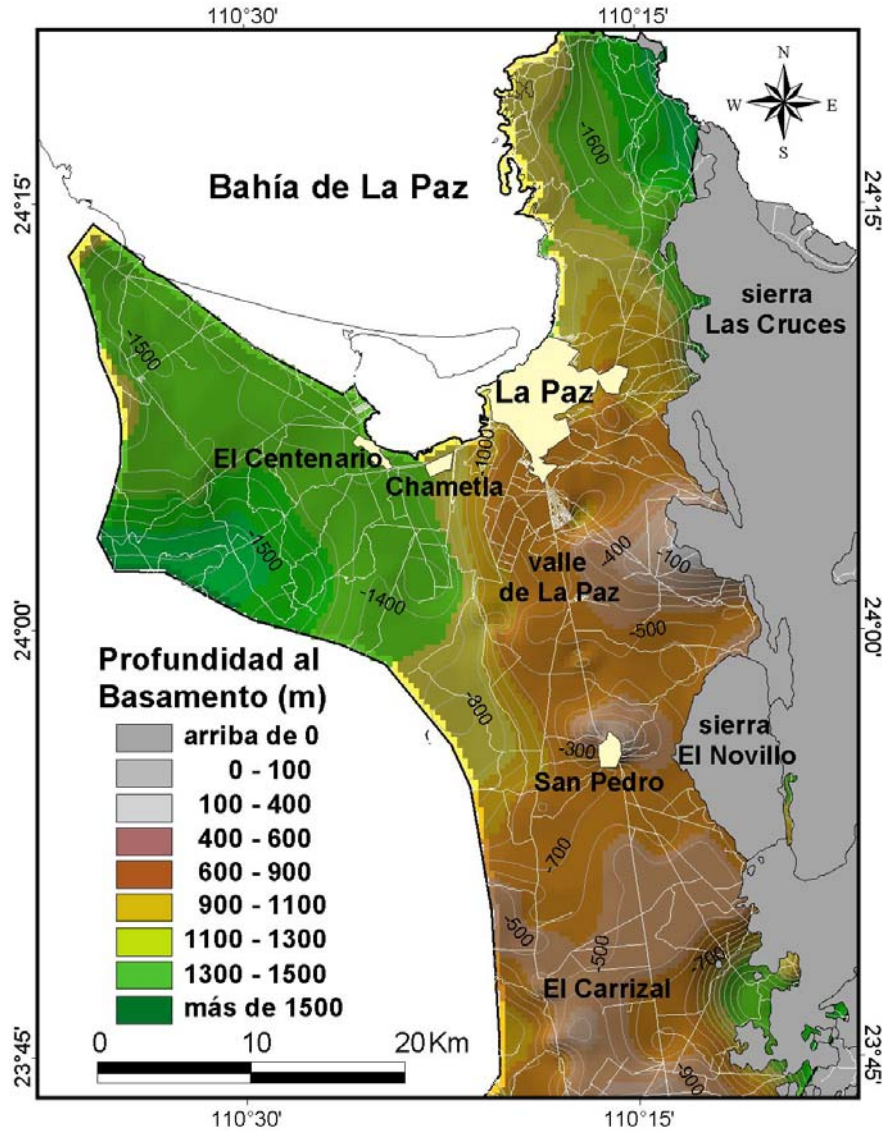


Fig.3.2.10 Modelo de profundidad al basamento cristalino en el valle de La Paz y El Carrizal. Se muestra la ubicación de algunos poblados, zonas urbanas, caminos, y las sierras que se localizan al este del valle.

3.2.3.2 Modelación

Para verificar las profundidades estimadas, se modelaron tres perfiles (P1, P2 y P3) perpendiculares a los contornos de anomalía residual (Fig.3.2.8). Se utilizó el programa de Webring (1985), el cual modela un perfil estructural a partir de prismas en 2D, calcula a través de mínimos cuadrados la gravedad teórica y la respuesta de un modelo geológico estructural para un perfil de datos observados. El contraste de densidad utilizado fue de 0.66 g/cm^3 . Los gráficos del modelo se presentan en la figura 3.2.11.

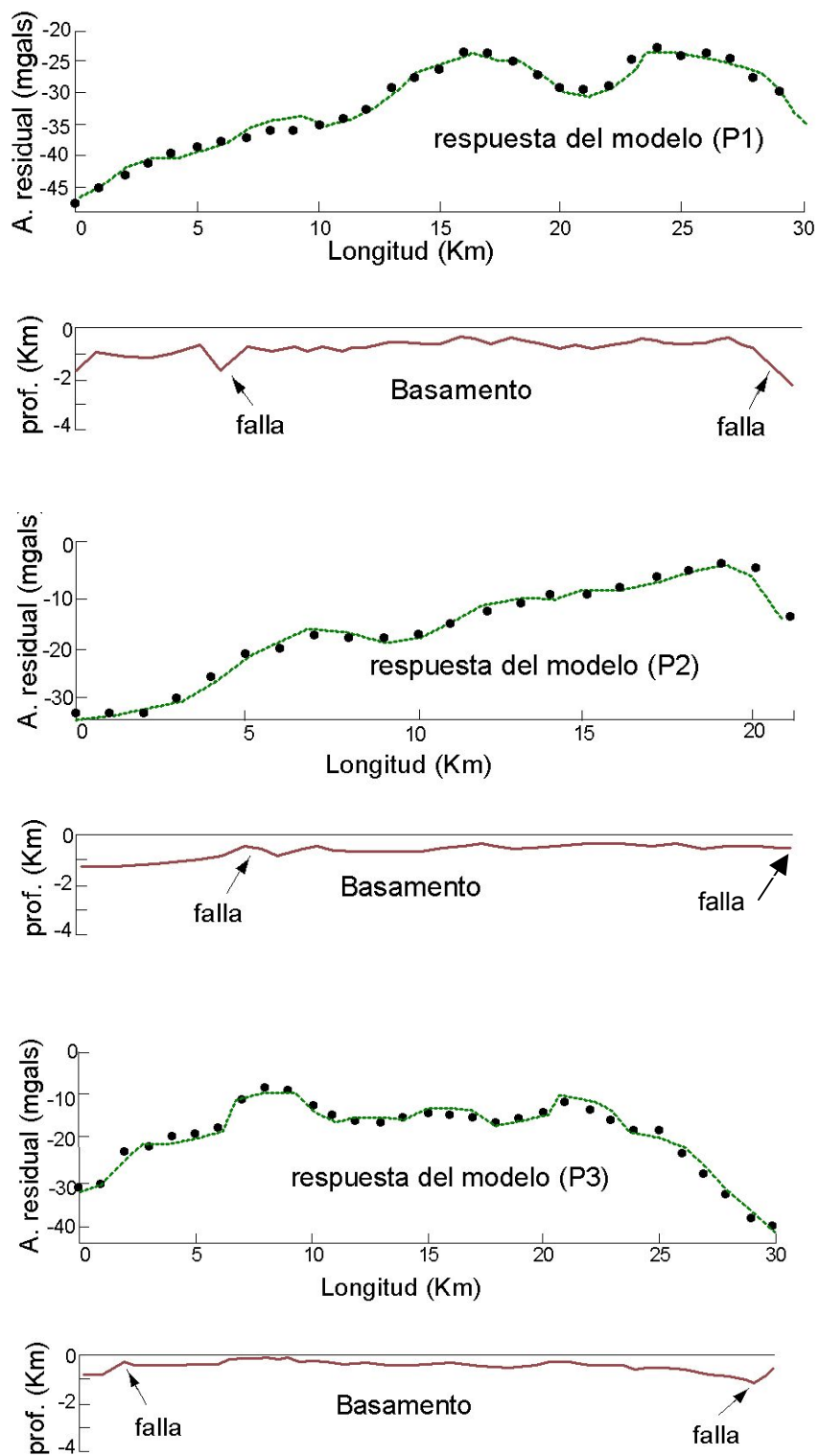


Fig.3.2.11 Gráficos de la modelación de los perfiles de anomalía residual (P1, P2 y P3). Los puntos representan la anomalía residual, y la línea punteada color verde es el ajuste del modelo del basamento (línea café en la gráfica inferior). El trazo de los perfiles se encuentra en la Fig.3.2.8.

De la figura 3.2.11 se puede argumentar lo siguiente:

El Perfil1 (P1) muestra un basamento relativamente más profundo que en los perfiles P1 y P2, con una tendencia a profundizarse hacia el SW. En sus extremos resalta la presencia de dos fallas, una que se localiza hacia el NE (falla La Paz), y la otra hacia el SW, la cual no está claramente definida ni diferenciada en la literatura.

El perfil2 (P2) cruza aproximadamente la parte central del valle de La Paz. El basamento muestra una topografía muy regular con una tendencia a profundizarse hacia el SW, donde se denota la presencia de la falla no definida. En el NE del perfil el basamento es poco profundo.

El perfil3 (P3) se localiza más al sur en la zona del valle del Carrizal. El basamento es somero al centro del perfil y se profundiza hacia ambos extremos (SW y NE). Se denota la presencia de la falla La Paz hacia el NE, y la falla El Carrizal en el extremo SW.

3.2.4 Estimación de la capacidad de almacenamiento de agua

El polígono que delimita la cuenca de La Paz, obtenido en el Capítulo 2.1 con una superficie de 1,571 km² (Fig.2.1), y el modelo de profundidad al basamento (Fig.3.2.10) generado en este Capítulo (sección 3.2.3.1) se utilizaron para este proceso.

Del modelo de profundidad al basamento se obtuvo el centroide de cada píxel y se le asignó su valor correspondiente de profundidad al basamento. Con esto se construyeron prismas de 100 m x 100 m, con su correspondiente profundidad (m).

El cálculo de la capacidad de la cuenca, se realizó por medio de la sumatoria de los prismas (ejemplo, Fig.3.2.12). La figura solo muestra unos cuantos prismas, pero hay uno por cada píxel del modelo.

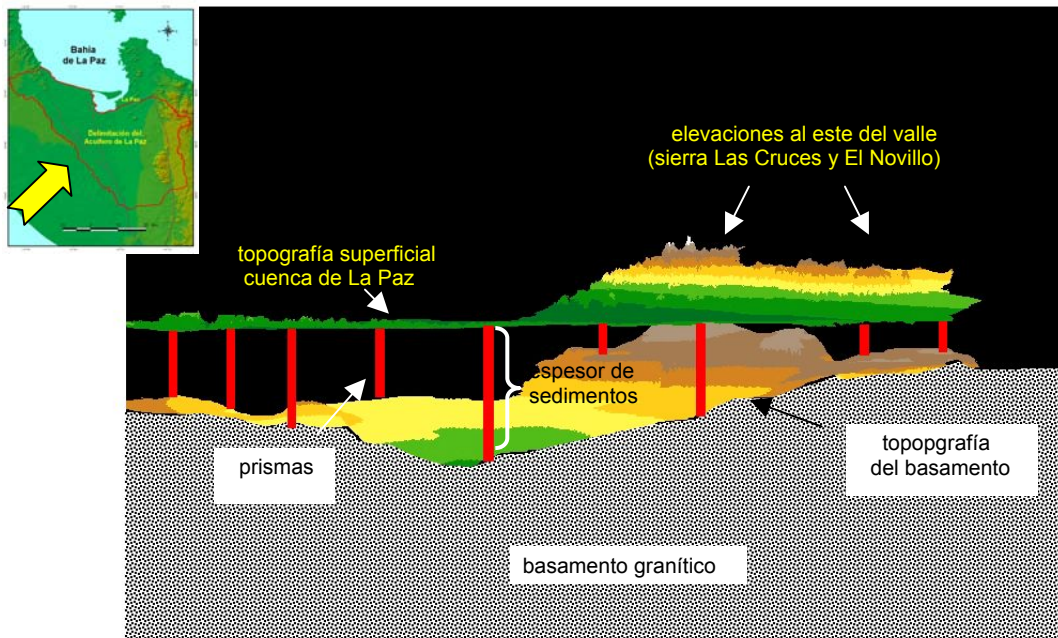


Fig.3.2.12 Esquema que representa los prismas que se utilizaron para el cálculo de volumen. Se muestra la topografía superficial de la cuenca (parte superior) y la topografía del basamento (parte inferior). La imagen lateral de la cuenca es vista desde el suroeste (recuadro superior izquierdo).

Los criterios utilizados para el cálculo fueron tomados de Alí y Whiteley (1981). Inicialmente se eliminaron del modelo digital de elevación los cerros o elevaciones prominentes de la topografía superficial, para asemejar que esta superficie fuera menos irregular.

Se calculó primero el volumen total subterráneo (m^3):

$$V_t = \sum(h \times A)$$

donde:

h = profundidad al basamento de cada vértice de la rejilla o prisma.

A = área de la unidad de rejilla ($10,000 \text{ m}^2$).

Se calculó también el volumen ocupado desde la superficie del terreno hasta la profundidad media del nivel estático:

$$V_s = A_s \times h_e$$

donde:

As = área superficial

he = profundidad promedio del nivel estático en el área (30 m).

La profundidad del nivel estático, fue calculada a partir de la información piezométrica proporcionada por la CNA para el valle de La Paz (datos de 2004), Anexo 3.3.2. Del promedio de estos datos resultó un valor de 27.6 m, aunque para los cálculos se decidió utilizar 30 m.

El volumen total de almacenamiento está dado por la diferencia de $V_t - V_s$, por la porosidad promedio del paquete sedimentario:

$$VT = (V_t - V_s) \times \theta$$

donde θ = porosidad (19.5%)

Para determinar este porcentaje, se obtuvo inicialmente una porosidad teórica utilizando las densidades de los sedimentos, particularmente del aluvión:

$$\theta = (\rho_2 - \rho_1) / \rho_a$$

donde:

ρ_1 = densidad de los sedimentos secos (1.8 g/cm³); ρ_2 = densidad de los sedimentos saturados (1.98 g/cm³); y ρ_a = densidad del agua (1.1 g/cm³).

Por tanto: $\theta = 0.16$

Con valores de porosidad para varios materiales (grava, arena, arenisca, rocas volcánicas, gabro, granito fracturado) ubicados a diferentes profundidades (nivel del mar, 75 y 350 m) en el valle de La Paz (CIGSA, 2001), se obtuvo un promedio general de 0.23. Este valor, promediado con el obtenido a partir de las densidades de los sedimentos, resultó de 0.195.

El volumen total de almacenamiento resultante de este proceso no es el agua que está disponible para explotación. No toda el agua que está contenida en un medio poroso natural se puede extraer, ya que depende del rendimiento específico. A pesar de que los valores típicos promedio de rendimiento específico de arcilla arenosa a

arena gruesa van de 7 a 27% (CNA, 2000), se podrían suponer adecuados para utilizar debido a la predominancia de depósitos aluviales en el valle de La Paz. Sin embargo, por resultados de pruebas de bombeo de varios pozos reinterpretadas por CIGSA (2001) se tomó como base un rendimiento específico de 10%. Además, hay que considerar que dentro de los cálculos se incluyen capas de sedimentos que se encuentran a mayor profundidad y que por diferentes factores físicos su rendimiento específico es menor.

3.2.4.1 De la zona cubierta por aluvión hasta el basamento granítico

Para calcular la capacidad potencial de almacenamiento para la zona cubierta por aluvión, se desarrolló el proceso de la sección anterior (3.2.4), pero del modelo de profundidad al basamento (Fig.3.2.10) se extrajeron solo los datos que se encuentran dentro de la superficie cubierta por aluvión, la cual es de 858 km² (Fig.2.3, Capítulo 2).

El área cubierta por los depósitos aluviales presenta las mejores características para almacenamiento de agua, por la porosidad y permeabilidad de los materiales. En ellos se encuentra el agua que es extraída de los pozos de explotación.

3.2.4.2 De la zona de explotación acuífera hasta el basamento granítico y el basamento del acuífero

Para el cálculo de la capacidad de almacenamiento en estas zonas se utilizaron los mismos procesos que en la sección 3.2.4. En un primer caso, la profundidad al basamento granítico es la misma y solo varía el área superficial, la cual es de 200 km² (Fig. 2.3, Capítulo 2).

Para un segundo caso, en vez de utilizar la profundidad al basamento granítico, se utilizó la profundidad de la capa 4 del acuífero, determinada en el modelo de capas del Capítulo 3 (Figs. 3.1.2 y 3.1.3), que se discute en la sección 3.1.3 (Discusión) de ese mismo Capítulo, la cual corresponde al basamento del acuífero que se encuentra a menor profundidad que el basamento granítico (Fig.3.2.13).

Los resultados de estos cálculos se presentan en este Capítulo, sección 3.2.5 (Discusión).



Fig.3.2.13 Modelo de capas donde se muestra la zona de explotación acuífera del valle de La Paz (polígono línea roja), con una superficie de 200 km², la topografía superficial, el basamento acuífero y el basamento granítico. Se muestran los pozos de explotación (puntos azules: uso agrícola; puntos amarillos: uso urbano).

3.2.5 Discusión

3.2.5.1 Anomalía magnética y anomalía de Bouguer

En los mapas de anomalía magnética (Fig.3.2.3) y anomalía de Bouguer (Fig.3.2.6), se observa un patrón muy similar, sobresaliendo los alineamientos principales de la zona. Al este con orientación SSE-NNW y al oeste con rumbo SSE-NNW, los cuales se atribuyen a la falla La Paz y El Carrizal, respectivamente. Estos alineamientos se correlacionan con fallas reconocidas superficialmente y con el rumbo típico que presenta la geología superficial y la tectónica regional, excepto con el de los centros de dispersión del Golfo de California.

Aunque la anomalía magnética cubre un área más extensa, las tendencias de las anomalías son semejantes. En ambas se observa, en la zona del valle de La Paz, valores mínimos hacia el este y sureste, y máximos hacia el oeste y noroeste. La anomalía magnética (Fig.3.2.3) muestra una tendencia a aumentar hacia el este más allá de los límites de la cuenca de La Paz, lo que pasa a formar parte de la cuenca

de Los Planes, y en el sentido opuesto (hacia el oeste-noroeste), después de aumentar empieza a disminuir.

Las anomalías indican una profundidad relativa y la tendencia que presenta el basamento en esta zona.

3.2.5.2 Profundidad y topografía del basamento

La fórmula utilizada para la estimación de la profundidad al basamento de Carmichael y Henry (1977), se ha utilizado en otros trabajos (Quereshi y Mula, 1971; Morris y Sultzbach, 1977; Cruz y Vázquez, 1989) obteniendo resultados satisfactorios.

En la literatura, reportes e informes de las instituciones o empresas que han realizado estudios geofísicos en el valle de La Paz, no se encuentra ningún dato claro de la profundidad al basamento cristalino.

De acuerdo a los resultados obtenidos con gravimetría en este estudio, se encontró que el basamento granítico es somero al este del valle de La Paz (0 a 200 m) donde aflora en la sierra Las Cruces y El Novillo, al sur y sureste en San Pedro y El Carrizal (de 200 a 500 m), y es más profundo (hasta 1500 m) hacia el oeste, NNW y NNE del valle (Fig. 3.2.10).

Cerca del ejido El Carrizal se localiza un alto estructural del basamento ó basamento poco profundo (Fig.3.2.10 y 3.2.14), lo que coincide con la frontera entre las cuencas de La Paz y El Carrizal. En diferentes estudios realizados en la zona se comenta de una intercomunicación subterránea entre los acuíferos de ambos valles (SARH-UNAM-UABCS, 1986; CNA, 1997) la cual dejó de existir debido a la disminución de los niveles estáticos por la sobreexplotación de los pozos. La existencia de un alto estructural del basamento en esta zona es posible que haya impedido el flujo subterráneo al bajar los niveles de agua subterránea. La SARH-UNAM-UABCS (1986) en el estudio de los valles de La Paz y El Carrizal, mencionan que no hay evidencia de un flujo subterráneo en esta zona, la explicación que dan a este control de flujo es debido a la existencia de un alto estrato de arena arcillosa que subyace toda la región.

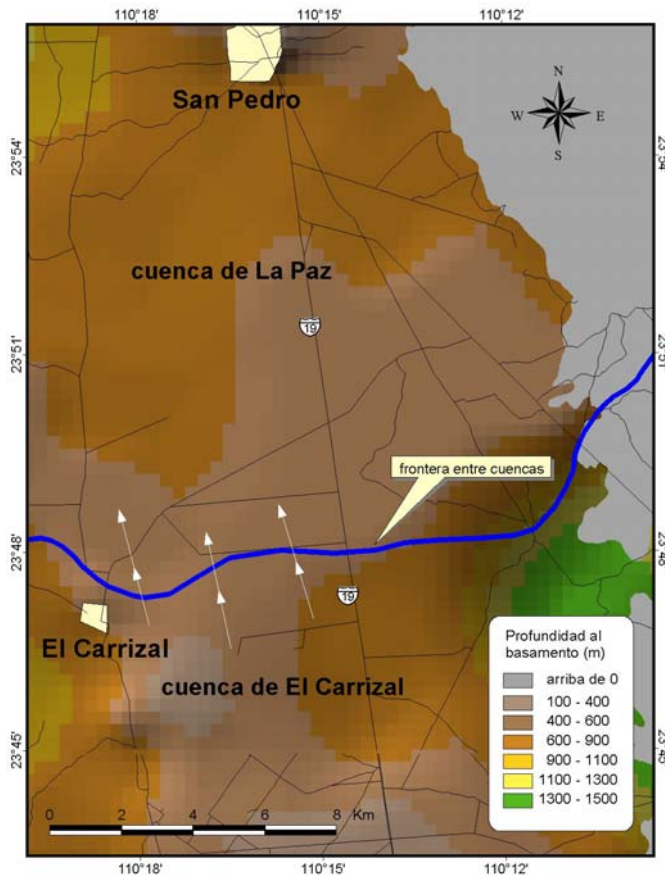


Fig.3.2.14 Modelo de profundidad al basamento entre las cuencas de La Paz y El Carrizal (separadas por la línea azul). Se muestra el alto estructural del basamento en la zona de El Carrizal. Las flechas indican el posible flujo de agua subterránea entre ambas cuencas.

El graben que formó el valle de La Paz-El Carrizal presenta un basculamiento en dirección WNW (Fig. 3.2.10), lo que aumenta la profundidad del basamento en esa misma dirección. Estos resultados coinciden con el estudio regional de Couch et al. (1988), quienes encontraron que el basamento tiende a profundizarse hacia la Bahía de La Paz. Así mismo, son bastante aproximados al modelo gravimétrico y magnético de Gallardo et al. (2005), donde las profundidades calculadas van desde los afloramientos de intrusivos al este del valle, hasta más de 1.5 km hacia el NNW y NNE.

Los contornos de anomalía magnética sugieren la existencia de tres bajos estructurales del basamento, que son: al NNW en la zona del Ejido Alfredo V. Bonfil,

con una profundidad de 1500 m; en el valle de El Coyote al NNE, de 1400 m; y en los valles de La Paz-El Carrizal al centro-sur, de 1200 m (Fig.3.2.3).

Hasta que no se realice una perforación profunda que alcance el basamento cristalino, se estará totalmente seguro de la profundidades estimadas.

3.2.5.3 Topografía subterránea y estructura geológica

El valle de La Paz-El Carrizal tiene un origen tectónico, es una gran estructura de graben con orientación norte-sur que se extiende hacia el sur de la ciudad de La Paz por aproximadamente 45 km (Alvarez et al., 1997). Los flancos del graben están formados por dos fallas principales, la falla La Paz con orientación norte-sur localizada al este, la cual presenta dos componentes, una con un desplazamiento lateral izquierdo y la otra con un desplazamiento normal (CIGSA, 2001). El flanco oeste está formado por la falla El Carrizal con orientación nornoroeste-sursureste, la cual es de tipo normal (CIGSA, 2001). En los perfiles gravimétricos P1, P2 y P3 que se modelaron en la sección 3.2.3.2 (Fig.3.2.11), se observa la manifestación de estas dos fallas. El perfil P1, cruza al este la falla La Paz, y al oeste una falla que no está definida, la cual se puede observar en los alineamientos trazados en el mapa de anomalía magnética (Fig.3.2.3). El perfil P2 denota los mismos rasgos estructurales que P1 en ambos extremos. El perfil P3 cruza al este la falla La Paz y al oeste la falla El Carrizal (Fig.3.2.3).

En la varios de los estudios de geología y tectónica que se han realizado en esta zona (INEGI, 1983; Ramos-Velázquez, 1998; Fletcher y Munguía,2000) muestran figuras de esquemas tectónicos y estructurales que marcan el trazo de la falla El carrizal pero subdividida en 2 o 3 ejes en su parte norte, sin definir cual es el alineamiento principal de la falla. En el plano de anomalía magnética (Fig.3.2.3) puede notarse el alineamiento (interpretado por el gradiente) que define lo que es la falla El Carrizal al oeste, la falla La Paz al este, y una falla intermedia no definida.

El trazo que se ha dado a la falla La Paz en base a las características geológicas superficiales, relaciones estructurales, patrones de sismicidad, topografía del terreno, imagen de satélite y fotografía aérea (Fig.2.4) es, desde el Océano Pacífico al sur, pasando por el NW de Todos Santos, hasta el escarpe batimétrico localizado

al este de la isla Espíritu Santo al norte (Beal, 1948; Hausback, 1984, Aranda y Pérez, 1988; Alvarez et al., 1997). Por otra parte, la falla El Carrizal, sigue un trazo desde el norte de la población de Todos Santos al sur, hasta la Bahía de La Paz al norte (Rusnak et al. 1964; Hamilton, 1971, en Fletcher y Munguía (2000); Gaitán, 1986; Alvarez et al., 1997; Aranda y Pérez, 1997).

En los contornos de anomalía magnética (Fig.3.2.3) se observa un gradiente al este que sugiere el trazo de la falla La Paz, desde El Coyote al norte, hasta la localidad conocida como Los Llanos al SW del Triunfo. En tanto que la falla El Carrizal, es caracterizada por un gradiente al oeste, que sugiere su extensión desde la Bahía de La Paz al norte, hasta el océano Pacífico pasando al NNE de Todos Santos.

Se sugiere que el graben que forma el valle de La Paz-El Carrizal se trata de un graben triangular por su forma de cuña hacia el sur, donde la falla El Carrizal es la falla principal y la falla La Paz una falla secundaria. El graben presenta un escalonamiento por la presencia de una falla intermedia no definida (Fig.3.2.3). Esta falla es de tipo normal con el bloque caído hacia el oeste. Aranda y Pérez (1997) definen a la falla de El carrizal como de tipo normal con el bloque caído hacia el este, lo cual indica que la parte más profunda del graben se encuentra entre estas dos fallas (Fig.3.2.3).

3.2.5.4 Estimación de la capacidad de almacenamiento de agua

El cálculo realizado es una primera aproximación para evaluar la capacidad de almacenamiento de agua del acuífero de La Paz utilizando métodos geofísicos.

Como se describió en el Capítulo 3.2.4, la metodología utilizada se basó en la construcción de prismas con los que se calcularon volúmenes.

Los cálculos se hicieron para tres casos:

Caso 1 -de la zona cubierta por aluvión dentro de la cuenca, hasta el basamento granítico.

Caso 2 - de la zona de explotación acuífera hasta el basamento granítico.

Caso 3 - de la zona de explotación acuífera hasta el basamento del acuífero.

Los cálculos realizados son aproximaciones, ya que se utilizan varios parámetros que pueden variar en dirección tanto vertical como horizontal.

El nivel estático no es igual en toda el área por lo que se toma un promedio, el cual puede ocasionar diferencias en el cálculo del volumen total.

La porosidad puede variar tanto lateralmente como en sentido vertical, por lo cual es importante obtener un promedio representativo.

Los resultados de estimación de la capacidad de almacenamiento para los tres casos propuestos, se presentan en la Tabla 3.2.3.

Casos	Vt (Mm ³)	Vs (Mm ³)	VT (Mm ³)	Vd (Mm ³)
Caso 1	862,612	25,743	163,189	16,319
Caso 2	209,052	6,000	39,595	3,960
Caso 3	54,548	6,000	9,467	947

Tabla 3.2.3 Estimación de volúmenes de almacenamiento de agua y disponibilidad en Mm³, para los tres casos propuestos.

Vt = volumen total de la parte subterránea.

Vs = volumen ocupado por la profundidad media del nivel estático.

VT = volumen total de almacenamiento, eliminando el volumen ocupado por la profundidad media del nivel estático y considerando una porosidad de 19.5%.

Vd = volumen disponible de agua subterránea*.

- Nota: no confundir esta disponibilidad, con la disponibilidad que se establece a partir de un balance hidrológico.

El caso 3, es el modelo más representativo de capacidad de almacenamiento y volumen disponible de agua, ya que el cálculo realizado es en el área de explotación acuífera y en profundidad se considera el basamento del acuífero.

La cantidad de agua que se puede almacenar en esta zona es de 9,467 Mm³, pero solo se puede extraer una décima parte equivalente a 947 Mm³.

Hay que considerar que del agua disponible no toda es agua dulce.

3.3 GEOHIDROLOGIA

3.3.1 Uso del agua subterránea

El aprovechamiento y uso del agua subterránea tiene algunas ventajas respecto al agua superficial, esto es por ejemplo, que generalmente no posee organismos patógenos ni necesita ser tratada previamente para su uso, en pocas ocasiones requiere una cloración. Regularmente no posee ni turbidez ni color, su composición química es generalmente constante lo que depende de las rocas y sedimentos que la contienen. Sin embargo, un acuífero es susceptible a ser afectado por varios factores principalmente de origen antropogénico (Davis y Wiest, 1971).

En muchas regiones el agua subterránea es la única fuente de abastecimiento, pero su utilización puede traer varios inconvenientes. Por ejemplo, en algunas zonas las capas del subsuelo presentan una porosidad y permeabilidad insuficientes para proporcionar una cantidad explotable de agua. Frecuentemente las aguas subterráneas poseen un contenido de sólidos disueltos, y su costo de extracción puede incrementarse notablemente si los pozos son muy profundos. Pero lo más grave de todo es cuando se cuenta con un acuífero normalmente explotable y se extrae una mayor cantidad de agua que la que proporciona la recarga natural, situación que puede degradarlo notablemente. Cuando esto ocurre en un acuífero costero, se tendrá un problema aún mayor, el cual es la contaminación por agua de mar que deteriora la calidad del agua (Davis y Wiest, 1971).

3.3.2 Pozos de explotación

La distribución de pozos de explotación en la cuenca de La Paz para los diferentes usos: agrícola, agua potable, industrial, pecuario y de servicios (Anexo 3.3.1), se ubica en la parte central-norte de la cuenca (Fig.3.3.1).

Según información de CNA (1997) y CIGSA (2001), a partir de 1997 se actualizó el censo de captaciones de agua subterránea para los valles de La Paz y El Carrizal. El total de pozos para el valle de La Paz es de 171 (Tabla 3.3.1), de los cuales algunos son norias. Las profundidades de los pozos varían de 30 a 200 m, y las norias tienen profundidades menores a los 30 m. Los caudales de explotación

fluctúan entre 5 y 70 l/seg (en los pozos más productivos), aunque los gastos más comunes son del orden de 30 a 40 l/seg.

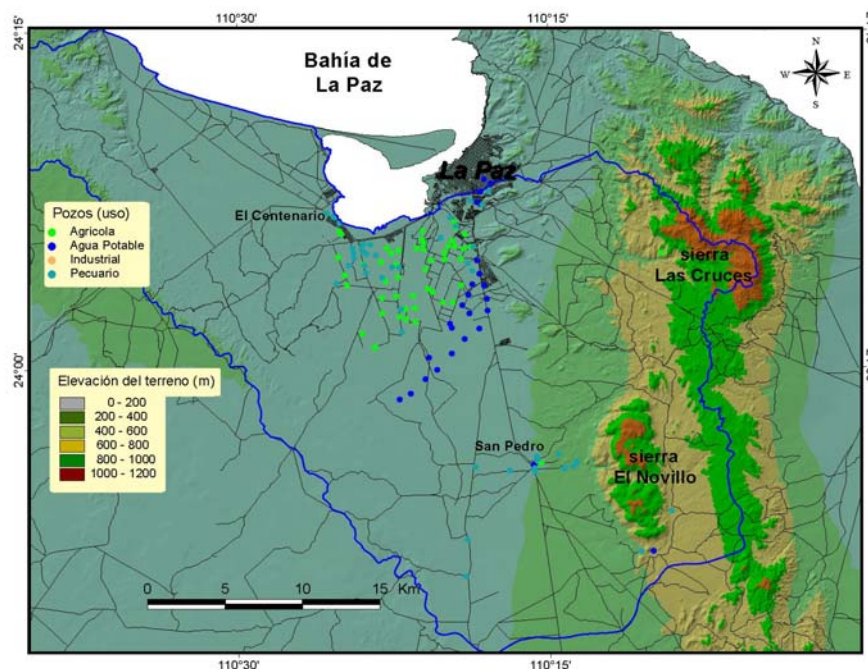


Fig.3.3.1 Distribución de los pozos de explotación en el valle de La Paz, y sus diferentes usos. Se muestra el límite de la cuenca (línea azul).

USO	NÚMERO DE APROVECHAMIENTOS	% DEL TOTAL DE POZOS
PÚBLICO URBANO	29	16.9
SERVICIOS	11	6.5
INDUSTRIAL	3	1.8
AGRÍCOLA	57	33.3
PECUARIO	71	41.5
TOTAL	171	100

Tabla 3.3.1 Número de pozos y uso del agua subterránea del acuífero de La Paz (año 1997). Mod. de CIGSA (2001).

Antes de los años 80's el mayor consumo de agua se tenía en la agricultura, pero debido a la utilización de los nuevos sistemas y programas de riego así como la reducción de las áreas agrícolas, empezó a utilizarse más como agua potable (CIGSA, 2001),Tabla 3.3.2. En 1997 el abastecimiento de agua para la ciudad de La Paz, lo manejaban 25 pozos que surtían 20 Mm³/año (CNA, 1997).

USO	EXTRACCIÓN EN Mm ³
AGUA POTABLE	20.7
SERVICIOS DIVERSOS	9.0
INDUSTRIAL	0.2
AGRÍCOLA	0.3
PECUARIO	0.2
TOTAL DE EXTRACCIÓN	30.4

Tabla 3.3.2 Extracción de agua por uso, en millones de metros cúbicos (Mm³), del acuífero de La Paz (año 1997). Mod. de CIGSA (2001).

Los pozos que se encontraban dentro de la mancha urbana fueron eliminados casi en su totalidad a principios de los años 80's y reubicados en la parte sur de la ciudad, debido a que el agua que se extraía de ellos ya rebasaba los contenidos máximos permisibles de sales disueltas (CNA, 1997). Pero se incrementó el uso de agua potable para la ciudad, y se continuó con la explotación mal administrada del acuífero.

El estudio de disponibilidad de agua del acuífero de La Paz (CNA, 2000), presenta una extracción anual promedio de 28.35 Mm³ (datos de 1980-1982). CIGSA (2001) maneja una extracción anual de 30.6 Mm³, en base a información de CNA y otros estudios.

Cualquier incremento en el número de individuos de la población incide en el aumento de la demanda, y esto a su vez en un aumento de la extracción de agua del acuífero.

Con el aumento de la población en el municipio de La Paz, el cual ha sido aproximadamente constante durante los últimos años según los censos de población y vivienda realizados por INEGI (2000-2005), con una tasa del 2.3% anual, es producto de la inversión de capitales para el desarrollo del estado, lo que ha provocado un índice de inmigración de individuos del resto de la república y del extranjero, por arriba de lo normal.

En un escenario de extracción de agua del acuífero de La Paz a partir del año 2000, para los siguientes 10 años (Dragoo y Maddock, 2003), estimaron un incremento en la extracción de más de 2 Mm³ anuales, esto es, que para el año 2007 se estarán requiriendo más de 40 Mm³.

3.3.3 Niveles estáticos (piezometría) y sólidos totales disueltos (STD)

Para tener un conocimiento del comportamiento hidráulico y calidad del agua del acuífero de La Paz, se recurrió al análisis piezométrico y química del agua, con información de niveles estáticos (NE) y sólidos totales disueltos (STD) de 1980 a 2004, proporcionada por la Comisión Nacional del Agua (CNA). Con esta información se generaron gráficos y perfiles de evolución de los NE y STD.

El área delimitada utilizada para realizar estos procesos fue de 126 km² (Fig.3.3.2), debido a la distribución de pozos con información piezométrica (Anexo 3.3.2), y de calidad del agua (Anexo 3.3.3). De los datos utilizados, los pozos con información piezométrica son alrededor del 39%, y con información de STD solamente de un 16%, del total de aprovechamientos de agua subterránea.

La información de los pozos no es regular ni en espacio ni en tiempo, y además presenta algunas incertidumbres.

3.3.3.1 Evolución de la profundidad al nivel estático

Debido al exhaustivo bombeo del acuífero, desde 1977 los niveles estáticos han descendido de manera constante con un abatimiento progresivo del orden de 30 cm/año (CNA,1999).

En el análisis de información reciente de los niveles estáticos, los datos se interpolaron con el método spline del programa ArcView 3.2, y se obtuvieron los contornos para los años en que había información (1990, 1995, 2000 y 2004). En la figura 3.3.2 se muestran los contornos de profundidad al nivel estático de 1990 y 2004, donde se aprecia la evolución ocurrida durante este período.

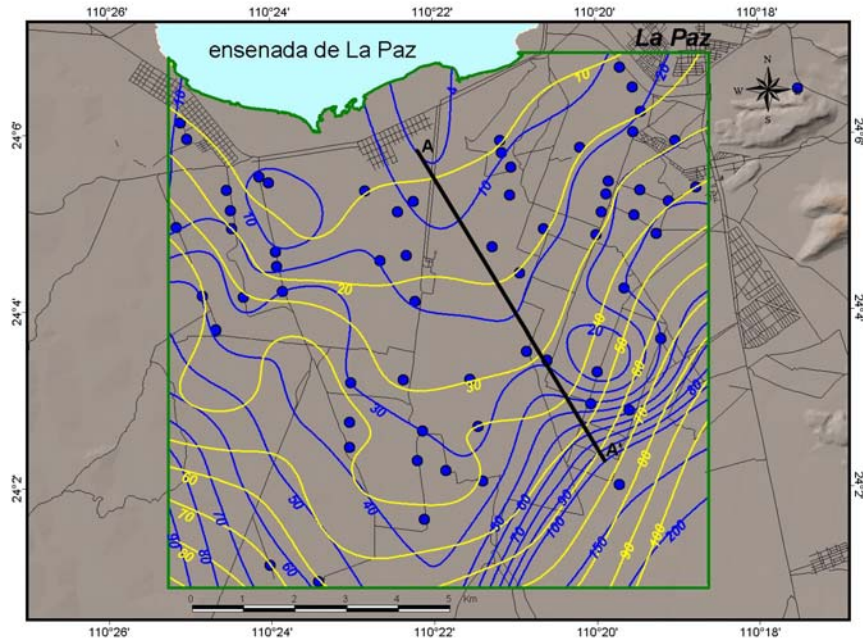


Fig.3.3.2 Contornos de profundidad al nivel estático (cada 10 m) de 1990 y 2004. La Línea Azul corresponde a 1990; la línea amarilla a 2004. El polígono marcado en verde, con un área de 126 km², es donde se encuentran los pozos (puntos azules) con información piezométrica considerados para la interpolación. La sección A-A' con una longitud de 7 km, inicia a 1.5 km de la línea de costa.

La sección A-A' de la figura 3.3.3 ofrece una mejor perspectiva de la evolución de la profundidad de los niveles estáticos.

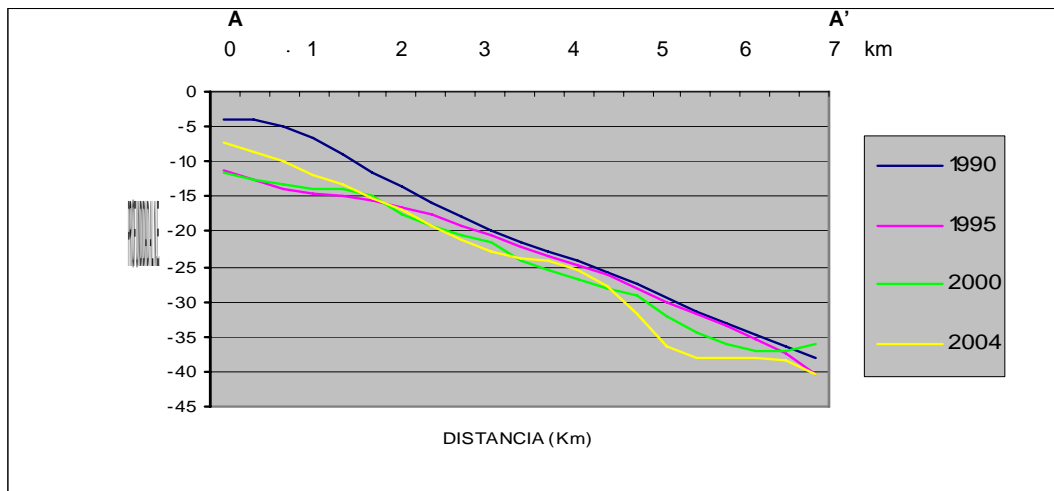


Fig.3.3.3 Sección A-A', de evolución de la profundidad al nivel estático (m). Su trazo se muestra en la Fig.3.3.2.

3.3.3.2 Evolución de la elevación del nivel estático

Con el análisis de información reciente de los niveles estáticos (1990-2004), la altura del brocal de los pozos y la elevación topográfica del lugar, se calculó la elevación del nivel estático. En los casos en que no se contaba con información de la altura del brocal o elevación del lugar, se utilizó el modelo digital de elevación del terreno (MDET) obtenido en el Capítulo 3.2.2.2.1.3. Los datos fueron interpolados y se obtuvieron los contornos para los años con información (1990, 1995, 2000 y 2004). En la figura 3.3.4 se muestran los contornos de elevación del nivel estático de 1990 y 2004, donde se aprecia la evolución ocurrida durante ese período.

La sección A-A' de la figura 3.3.5 ofrece una mejor perspectiva de la evolución de la elevación del nivel estático.

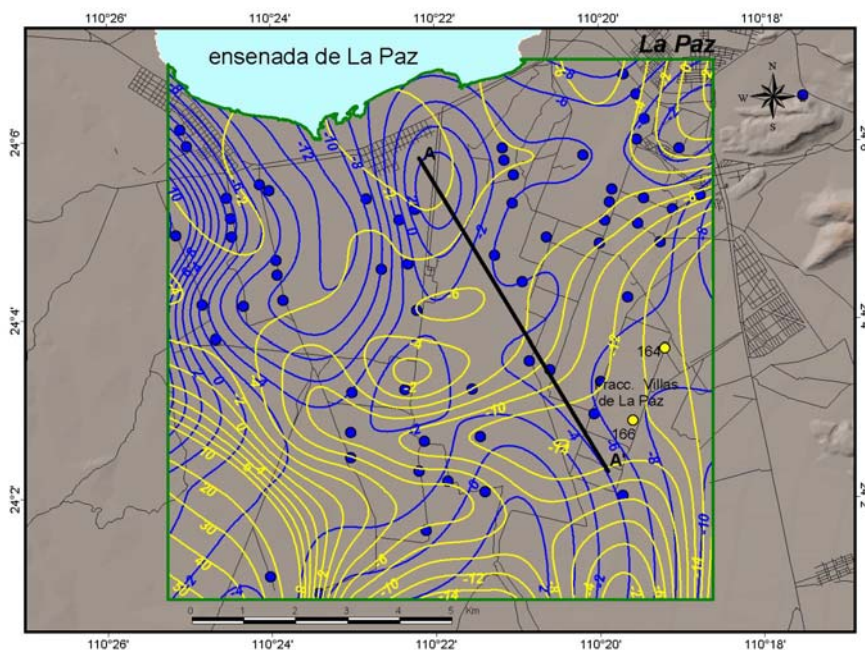


Fig.3.3.4 Contornos (cada 10 m) de elevación del nivel estático, de 1990 y 2004. La línea azul corresponde a 1990; la línea amarilla a 2004. Los puntos amarillos son los pozos agrícolas 164 y 166.

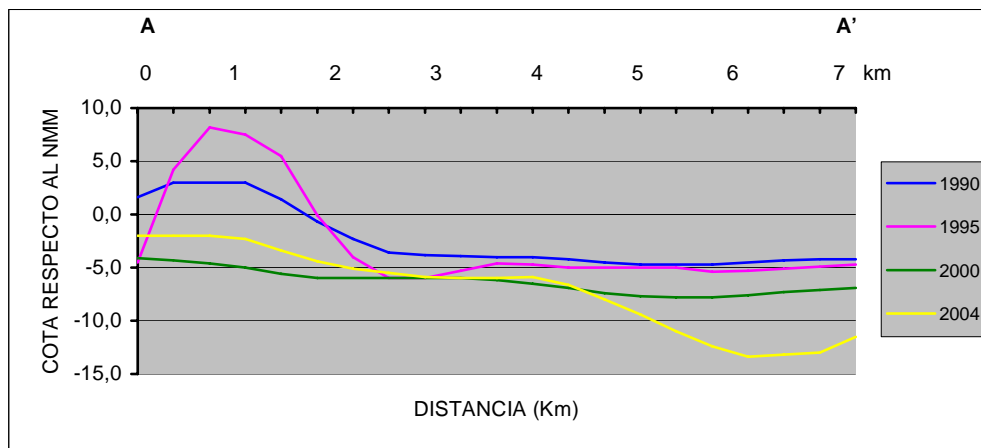


Fig.3.3.5 Sección A-A', de evolución de la elevación del nivel estático (m). Su trazo se muestra en la Fig.3.3.4.

3.3.3.3 Evolución de sólidos totales disueltos (STD)

Debido a las observaciones anteriores y a los indicios de que la interfase agua dulce - agua salada (cuña marina) ha ido penetrando subterráneamente al acuífero de La Paz, se realizó un análisis de información reciente de los STD. Para esto se utilizó la información disponible proporcionada por la CNA (Anexo 3.3.3), la cual se revisó con detalle. Se procuró además, que los datos utilizados coincidieran en los mismos meses del año.

No existe información de STD para los mismos años en los que hay información piezométrica. Los datos de STD en valores de mg/l se interpolaron y se obtuvieron los contornos para los años en que había información más completa (1987, 1996 y 2004). En la figura 3.3.6 solo se muestran los contornos de STD para los años de 1987 y 2004, donde se observa la evolución ocurrida en este período.

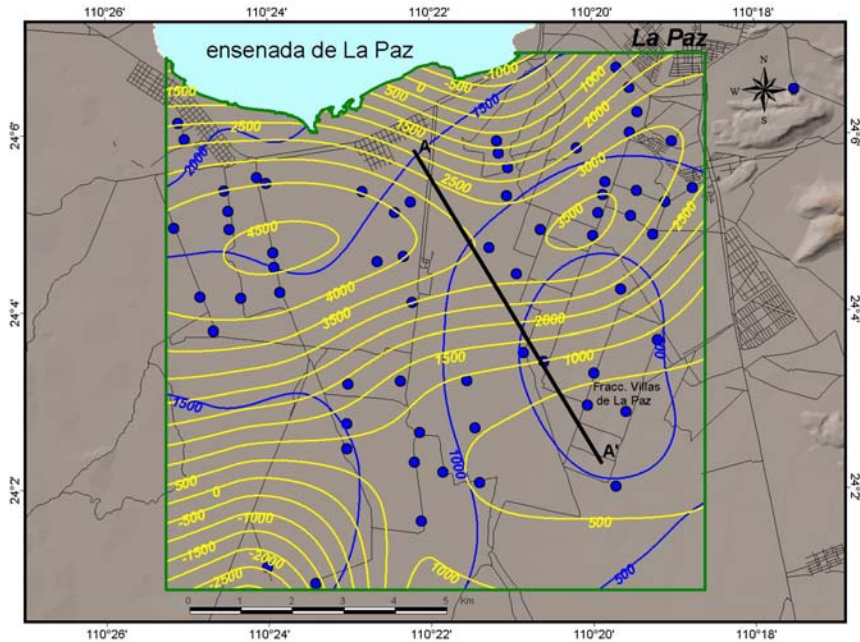


Fig.3.3.6 Contornos cada 500 mg/l de los STD de 1987 y 2004. La línea azul corresponde a 1987; la línea amarilla a 2004. Los puntos azules son los pozos considerados para la interpolación.

La sección A-A' de la figura 3.3.7 ofrece una mejor perspectiva de la evolución de los STD.

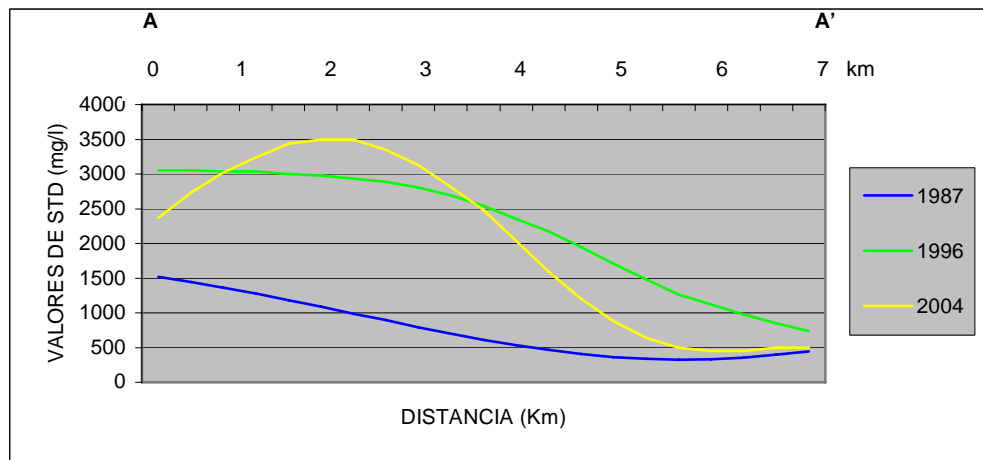


Fig.3.3.7 Sección A-A', de evolución de los STD (mg/l). Su trazo se muestra en la Fig.3.3.6.

3.3.3.3.1 Intrusión marina en la zona de explotación

Debido a la distribución de los valores de STD en el área de explotación del acuífero de La Paz, se elaboró un esquema donde se ubican tres zonas de acuerdo a los valores que representa el tipo de agua (Fig.3.3.8).

La calidad del agua subterránea está en función de la cantidad de sólidos totales disueltos (STD); agua con menos de 1000 ppm (partes por millón) de STD es considerada como agua dulce, agua con contenido de STD entre 1000 y 10,000 se clasifica como agua salobre, y arriba de 10,000 ppm es considerada agua salada (Freeze y Cherry, 1979). La Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994-Salud Ambiental, establece el límite permisible de STD para consumo humano en 1000 mg/l. Custodio y Llamas (1996) presenta el criterio adoptado por la Organización Mundial de la Salud (OMS), para el agua de consumo humano en lo que respecta a los STD, donde se establece una concentración máxima aceptable de 500 mg/l, aunque la máxima permitida es de 1500 mg/l.

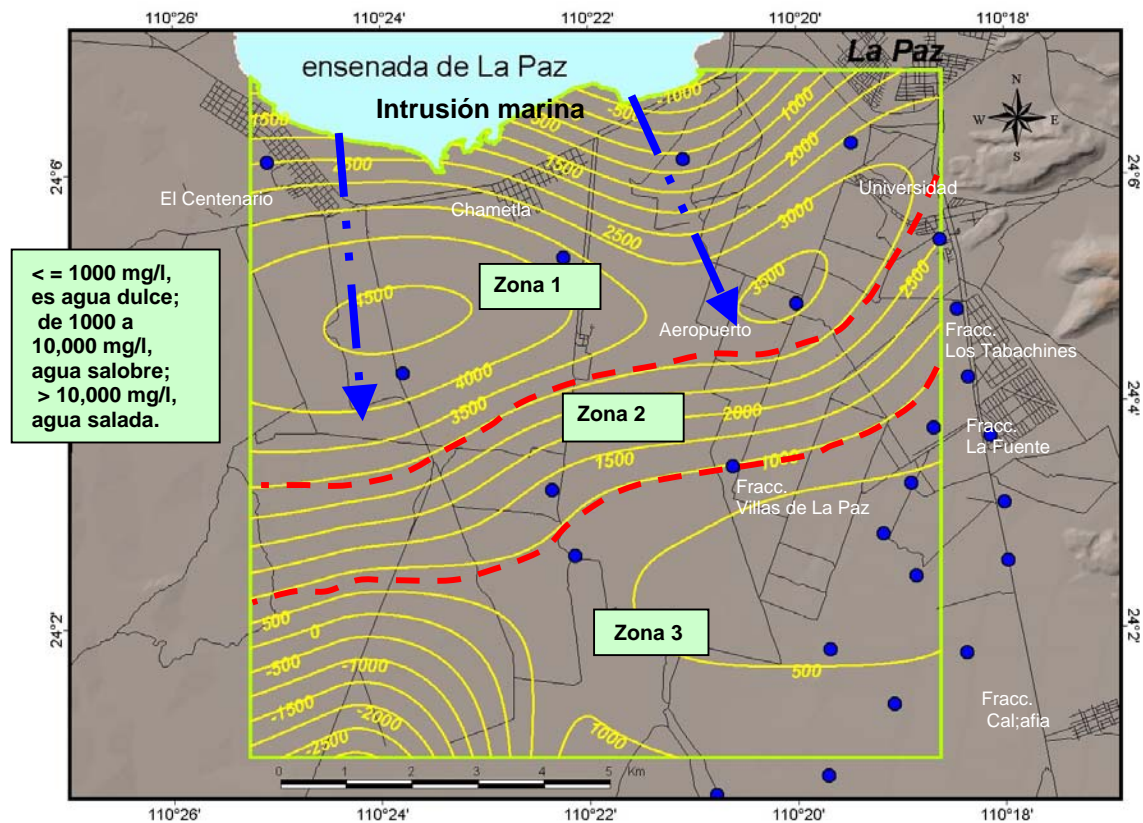


Fig.3.3.8 Zonas definidas de acuerdo a la calidad del agua subterránea en el acuífero de La Paz. Las líneas rojas segmentadas delimitan estas zonas. Las flechas muestran la dirección principal de la intrusión del agua de mar hacia el acuífero. Los puntos azules son los pozos con información con los que se generaron los contornos. Los pozos ubicados al extremo inferior derecho son de la batería de pozos del sistema de agua potable que abastecen a la población.

3.3.4 Estimación de la recarga

Para el manejo eficiente de los recursos hídricos subterráneos, la cuantificación de la recarga natural es un requisito fundamental, sobre todo en regiones de alta demanda de agua subterránea, en zonas áridas que carecen de ríos y lagos, y donde este recurso es la llave para el desarrollo económico. La recarga de agua subterránea es un proceso mediante el cual el agua superficial o de lluvia se percola a través del suelo hasta alcanzar el nivel de agua subterránea (Davis y Wiest, 1971).

La cuantificación de la recarga de los acuíferos es uno de los factores más difíciles de medir en la evaluación de los recursos subterráneos (Sophocleous, 1991), y cualquier método que se utilice, está normalmente sujeto a errores e incertidumbres (Kommadath, 2000).

3.3.4.1 Métodos para estimar recarga

En la literatura se describen varios métodos para determinar la recarga, sin embargo, no están claramente definidos ni ordenados (Sophocleous, 1991; Kommadath, 2000; Bridget et al., 2002). El elegir un método apropiado es a menudo difícil, y para decidir cual método utilizar se requiere considerar la escala espacial y temporal del lugar, así como la información geohidrológica e hidrometeorológica existente (Bridget et al., 2002).

Los métodos para estimar recarga se pueden agrupar en dos clases generales, como recarga potencial y recarga real (Fig.3.3.9).

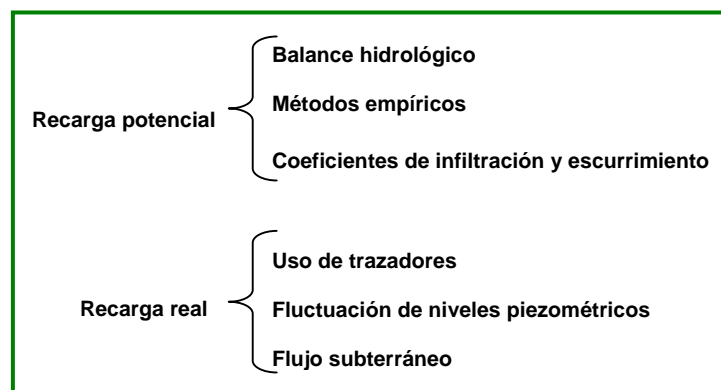


Fig.3.3.9 Esquema general de los principales métodos para estimar recarga.

Cada uno de los métodos están intercalados o asociados entre si, por lo que no se puede decir que un método sea totalmente independiente. Así mismo, para obtener mejores resultados es recomendable trabajar con más de un solo método (Bridget et al., 2002).

Las estimaciones de recarga potencial, son técnicas basadas en datos de aguas superficiales y de la zona no saturada, por lo que se pueden considerar menos precisas que las reales, ya que el cálculo se realiza a partir de información superficial como precipitación, temperatura, escurrimientos y evapotranspiración.

El método de balance hidrológico toma en cuenta la ecuación de balance y sus variantes. El uso de fórmulas empíricas se basa en relaciones establecidas empíricamente por la comparación de escurrimientos y precipitaciones en numerosas cuencas (Sánchez, 2005). Los coeficientes de infiltración, son un recurso para estimar recarga de un manera rápida, basado también en relaciones empíricas y datos de cuencas, tipo de suelo, vegetación, etc., pero se tiene que tomar en cuenta que cada cuenca tiene sus propias y particulares características.

Las estimaciones de recarga real, se fundamentan en datos de aguas subterráneas, es decir, se realizan a partir de mediciones directas del movimiento horizontal y vertical del agua subterránea, tal como mediciones del nivel estático y pruebas de pozo que pueden aportar información más directa y real de las variaciones de los niveles freáticos. Por tanto, éstas estimaciones de recarga resultan más confiables (Bridget et al., 2002). Aún así, no deja de existir incertidumbre y posibilidad de errores en los cálculos.

La variación de los niveles piezométricos es una manera efectiva para evaluar recarga, sin embargo, cuando no se tiene una recuperación franca de los niveles no es posible hacer una evaluación confiable. También se puede calcular la recarga a partir de los gradientes hidráulicos, ya que regularmente en cualquier sistema subterráneo existe un flujo que normalmente depende de los niveles piezométricos y de la extracción del agua. El uso de trazadores, también permite determinar un flujo subterráneo con el que es factible realizar el cálculo de recarga.

Para determinar que método utilizar en la estimación de recarga de un acuífero, se depende mucho de la información climatológica y piezométrica. En el mejor de los casos, dependiendo de la información existente y del trabajo de campo que se pueda realizar, lo más adecuado es una combinación de los métodos potenciales y reales.

En el presente estudio se utilizó el método de balance hidrológico para estimar la recarga vertical por lluvias en la cuenca hidrológica de La Paz, y el método de flujo subterráneo para estimar la recarga horizontal en la zona de explotación del acuífero de La Paz.

A continuación se realiza una breve descripción de algunos métodos que han sido utilizados por instituciones del gobierno federal y por empresas particulares, para evaluar la recarga del acuífero de La Paz.

El método de balance hidrológico, se basa en la ecuación general de balance y depende para su aplicación de las características meteorológicas, así como del tipo de suelo y vegetación (Sophocleous, 1990). Mientras más precisas y completas sean estas condiciones, mejor será la recarga estimada. Cabe mencionar que la evapotranspiración es una de las variables más difíciles e inciertas de calcular.

La Comisión Nacional del Agua (CNA), para estimar la recarga en las diferentes cuencas y acuíferos del país, de entre varios métodos utiliza el método general de balance de aguas subterráneas suscrito en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, que dependiendo de la disposición de variables del sistema y características del lugar discrimina algunas para facilitar los cálculos. Es común que algunas variables de la ecuación general no están bien definidas por lo que la ecuación se simplifica, al grado que en algunos de los casos no se consideran las variables de evapotranspiración y/o escurrimiento, y en su lugar se emplea un coeficiente de infiltración. El uso de un coeficiente de infiltración para la estimación de la recarga es un método semi-empírico que requiere del área de la cuenca y la precipitación, lo que facilita y agiliza considerablemente los cálculos. Lo importante aquí radica en como obtener el valor del coeficiente de infiltración, para que sea representativo. Este parámetro se puede obtener a partir de los hidrogramas de una lluvia o tormenta dada, así como varios factores que afectan la capacidad de infiltración como: textura del suelo, contenido de humedad inicial y de saturación,

cobertura vegetal, uso de suelo, aire atrapado, lavado de material fino, compactación y temperatura (Aparicio, 1989). Sin embargo, en la realidad esta información es muy escasa lo que dificulta el cálculo.

Otra manera de calcular el coeficiente de infiltración, si no se dispone de instrumentos o hidrogramas, es con la obtención de tablas de velocidad de infiltración o curvas de infiltración en suelos de diferentes texturas (relación suelo-agua-planta), y datos de intensidad de precipitación de estaciones en la cuenca en estudio. Con la razón entre la velocidad de infiltración y la precipitación en la unidad de tiempo (regularmente 1 hora), se puede calcular el coeficiente de infiltración.

Un método empírico y antiguo para calcular recarga en zonas áridas es el método de Maxey-Eakin (Davisson y Rose, 2000). Utiliza las elevaciones del terreno que están relacionadas con la precipitación. La premisa básica de este método, es que el índice de recarga es proporcional a la lluvia anual. Este método conviene que en las áreas más elevadas regularmente llueve más que en las partes bajas y requiere predecir de qué forma la precipitación varía con la elevación topográfica. El método maneja que un porcentaje de la precipitación anual contribuye a la recarga del agua subterránea (Davisson y Rose, 2000), por lo que requiere determinar una tasa de precipitación y una tasa de recarga para relacionar ambas variables. La precipitación se relaciona con la elevación a través de la información de las estaciones climatológicas, ajustando los valores con regresión lineal o regresión cuadrada. La recarga se estima a partir de que una fracción de la precipitación anual se infiltrará y esa fracción se incrementará con la elevación, esto resulta en una curva hipotética que relaciona la precipitación anual con la recarga anual (Maxey y Eakin, 1949; en Davisson y Rose, 2000). El problema con este método es como determinar el primer valor de recarga y también el que considera que no ocurre ninguna recarga en las áreas con precipitación inferior a los 200 mm/año.

3.3.5 Estimación de la recarga en la cuenca de La Paz

3.3.5.1 Balance hidrológico

Un sistema hidrológico en cualquier cuenca hidrológica puede ser descrito mediante un balance hidrológico, en el que se consideran entradas y salidas de agua y los cambios en el almacenamiento. Si las salidas no son iguales a las entradas, entonces existe un cambio en el almacenamiento de agua, lo que conlleva a la representación de este balance por la ecuación (Tinajero, 1982):

$$\frac{ds}{dt} = I - Q$$

donde:

$\frac{ds}{dt}$ = cambio en el almacenamiento de agua por unidad de tiempo

I = entradas de agua al sistema

Q = salidas de agua del sistema

Considerando los componentes de entrada y salida, el balance hidrológico de agua subterránea se representa por la ecuación para acuíferos no confinados (mod. de Kommadath, 2000), con lo que se calcula un cambio de almacenamiento Δa :

$$\Delta a = (R_v + R_c + R_r + R_a + R_h) - (E_t + E_s + D_s + E_p)$$

donde las entradas son :

R_v = recarga vertical por lluvias (infiltración)

R_c = recarga proveniente de algún canal o río

R_r = recarga por riego

R_a = recarga artificial

R_h = recarga horizontal de alguna otra cuenca o acuífero

y las salidas:

E_t = evapotranspiración

E_s = escurrimiento superficial

Ds = descarga subterránea al mar, lago, río, manantial, u otro acuífero

Ep = explotación de pozos

Todos los componentes de la ecuación son estimados utilizando información hidrológica y meteorológica, por lo que es necesario contar con datos de suficientes estaciones meteorológicas e hidrológicas de la cuenca a estudiar.

3.3.5.2 SIG para estimar la recarga vertical por lluvias

Para la estimación de la recarga potencial por lluvias en la cuenca hidrológica de La Paz, se utilizó un sistema de información geográfica (SIG) con la ecuación general de balance (Peña y Arcos, 2004; Fikos et al., 2005).

Para el caso de las entradas se consideró únicamente la recarga vertical por lluvias (Rv), y como salidas, se tomaron en cuenta la evapotranspiración (Et) y el escurrimiento superficial (Es).

Debido a que la captación de agua en la cuenca ocurre por precipitación directa, no se tomó en cuenta la recarga horizontal, tampoco se consideró la recarga por riego al no existir información, y la recarga artificial que ocurre en la presa de la Buena Mujer es poca y no se tiene una cuantificación de la misma.

Debido a la sobreexplotación del acuífero se supone que no existen salidas subterráneas hacia el mar, por lo que la descarga del recurso ocurre principalmente por evapotranspiración, escurrimiento superficial y explotación de pozos.

Mediante la ecuación de Gastany (1971), se determina la infiltración o recarga:

$$P = Es + Et + I$$

donde:

P = precipitación

Es = escurrimiento superficial

Et = evapotranspiración

I = infiltración

Por tanto:

$$\text{Infiltración (o Recarga) = P - Et - Es}$$

Con la expresión anterior y el uso de un sistema de información geográfica (SIG) con el programa ArcView 3.2, se estimó la recarga por lluvias en la cuenca de La Paz.

3.3.5.2.1 Cambio de dimensión de la cuenca

Por fines prácticos en este estudio, los cálculos realizados no incluyen el extremo noroeste de la cuenca de La Paz completa (Fig.2.1), sino una cuenca menor (Fig.3.3.10) con una superficie de 1,275 km². Para esto se tomó en cuenta que los escurrimientos que delimitan las subcuencas principales en su mayoría drenan hacia la parte central del valle y desembocan en la ensenada de La Paz. Así mismo, la mayoría de pozos de explotación se distribuyen al sur de la ciudad de La Paz.

Se delimitaron también las principales subcuencas, mediante el mismo procedimiento empleado en el Capítulo 2.1. Estas son: El Cajoncito, La Huerta, La Palma, El Novillo y La Ardilla (Fig.3.3.10).

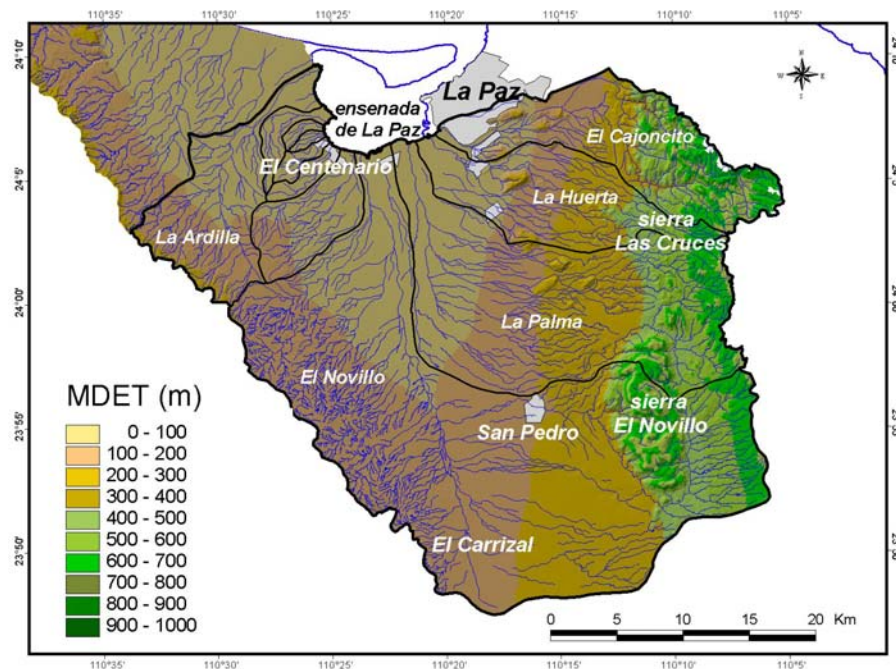


Fig.3.3.10 Cuenca hidrológica de La Paz con un área de 1,275 Km², utilizada para el cálculo de la recarga vertical por lluvias. Se muestran los escurrimientos superficiales y las cinco principales subcuencas con sus nombres.

3.3.5.2.2 Información requerida

Para operar el SIG fue necesario conseguir la información de precipitación y temperatura ocurrida durante el periodo de 1980 a 2004, de 12 estaciones climatológicas ubicadas dentro y al margen de la cuenca de La Paz (Fig.3.3.11). Esta información fue proporcionada por la Comisión Nacional del Agua (CNA) estatal (Anexo 3.3.4). Las estaciones utilizadas fueron: El Cajoncito, Lagunillas, Los Divisaderos, San Pedro, La Paz, El Carrizal, Los Robles, Alfredo Bonfil, El Quemado, La Higuera, El Triunfo y El Rosario (Fig.3.3.11).

3.3.5.2.3 Modelo digital de precipitación

De los datos originales de precipitación (Anexo 3.3.5), se promediaron los valores mensuales en cada estación para cada año, luego estos promedios anuales se promediaron por los 24 años de información (1980-2004). Los valores de precipitación total anual (PTA) por estación, se interpolaron con el método spline del programa ArcView 3.2. Se utilizó una unidad de celda de 100 x 100 m. A partir de los contornos se generó una capa TIN que resulta de la interpolación triangular entre los nodos de los contornos, posteriormente esta capa se convirtió a rejilla con un píxel de 100 m, generándose el modelo digital de precipitación (Fig.3.3.11). Los valores de precipitación distribuidos dentro de la cuenca, van de 150 a 400 mm/año. Se observa que la mayor precipitación ocurre en la región sur-sureste de la cuenca.

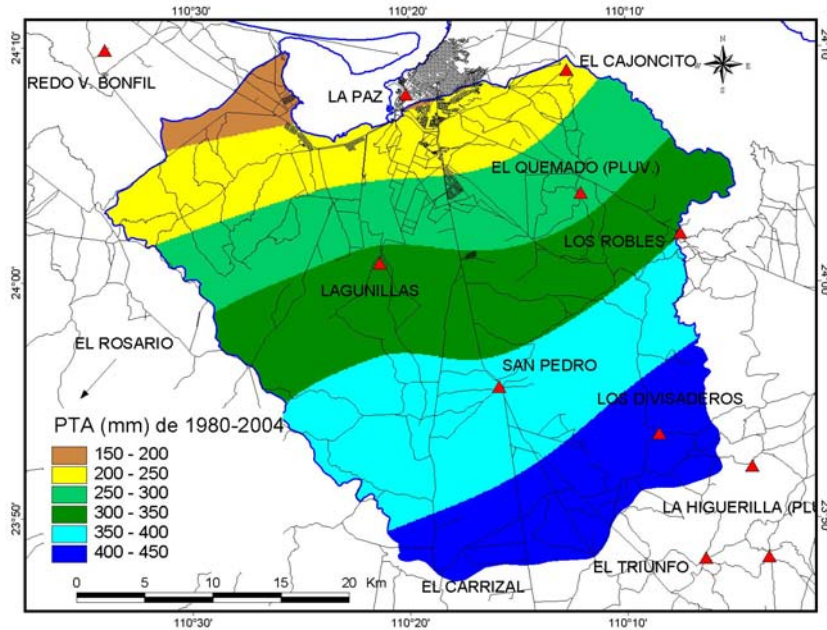


Fig.3.3.11 Modelo digital de precipitación (mm) de la cuenca de La Paz. Se muestran las estaciones climatológicas utilizadas (triángulos rojos) y caminos principales (líneas oscuras).

3.3.5.2.4 Modelo digital de temperatura

Los valores mensuales de temperatura (Anexo 3.3.6) se promediaron para obtener la temperatura media anual (TMA) de cada año para cada estación, y se promediaron los valores en cada estación de 1980 a 2004.

Los valores de TMA se interpolaron siguiendo los mismos pasos que para obtener el modelo digital de precipitación (sección anterior), y se obtuvo el modelo digital de temperatura (Fig.3.3.12). Los valores de temperatura distribuidos dentro de la cuenca, van de 21.5 a 25 °C anuales. Las máximas temperaturas ocurren en la región llana, al oeste noreste de la cuenca, la mínimas temperaturas en la región este-sureste.

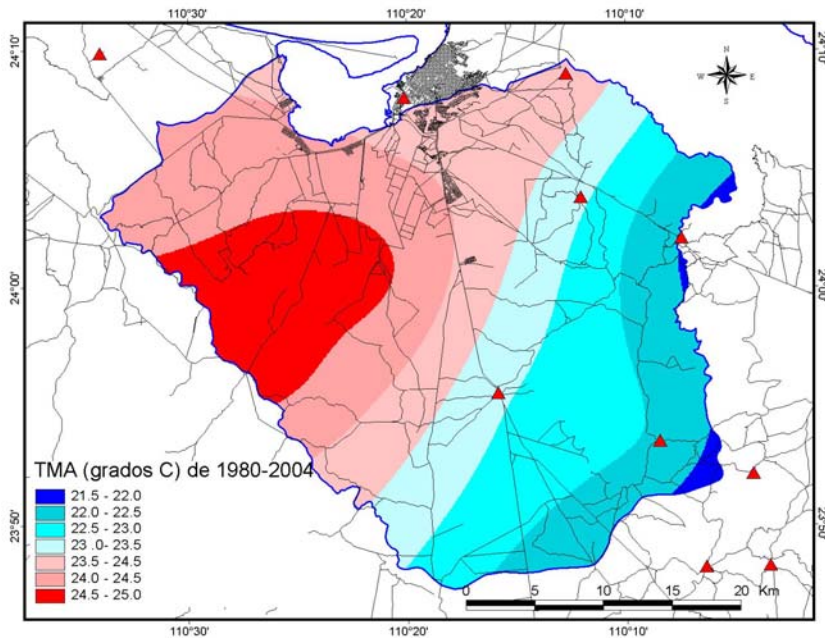


Fig.3.3.12 Modelo digital de temperatura (°C) de la cuenca de La Paz.

3.3.5.2.5 Modelo digital de evapotranspiración

Este modelo se obtuvo utilizando la fórmula empírica de Turc, 1961 (en Custodio y Llamas, 2001). La cual fue ligeramente modificada en el factor constante, para corresponder con las características de esta región (aprox. 80% de la precipitación total, valor considerado a partir del estudio de Fikos et al., 2005).

En la fórmula original de Turc para el cálculo de la evapotranspiración, si se utilizan precipitaciones bajas y temperaturas relativamente altas, la resultante de evapotranspiración es demasiado elevada, casi igual a la precipitación total.

La fórmula incluye valores de precipitación y temperatura, por lo que se operó en cada píxel del modelo utilizando los modelos de precipitación y temperatura anteriores. El cálculo para obtener el modelo de evapotranspiración (Fig.3.3.13) se realizó de acuerdo a la fórmula:

$$E_{tr} = P / [1.5 + (P/L)^2]^{0.5}$$

donde:

P = precipitación en mm

L = $300 + 25 T + 0.05 T^2$

T = temperatura en °C

Se observa que la mayor evapotranspiración ocurre en las regiones más elevadas y con vegetación más alta, principalmente al centro, sur y sureste de la cuenca.

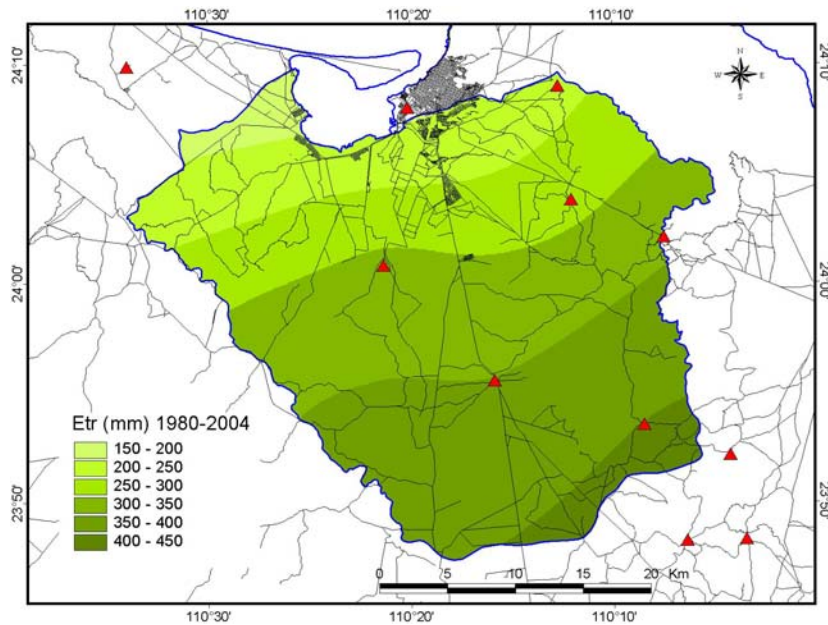


Fig.3.3.13 Modelo digital de evapotranspiración (mm) de la cuenca de La Paz.

3.3.5.2.6 Modelo digital de escurrimiento

Para obtener este modelo fue necesario calcular primero un modelo del coeficiente de escurrimiento (Fig.3.3.14), el cual se obtuvo a partir del cálculo de coeficientes de escurrimiento en el que se utiliza un parámetro 'K', que depende del tipo y uso de suelo (Tabla 3.3.3), y la precipitación. Para esto se utilizaron los mapas de edafología y uso de suelo y vegetación (INEGI, 2000), que fueron rasterizados.

Se agregaron a la Tabla 3.3.3, vegetación de esta región como matorral y mezquital, a la cual se le asignó un valor K aproximado de acuerdo a su similitud con otra vegetación. Para el tipo de suelo, se consideró básicamente su textura y su fase física, tomando en cuenta que la cuenca está constituida en su mayor parte por regosol, litosol y xerosol. Se utilizó la expresión empírica de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000-Conservación del Recurso Agua:

$$C_e = K [P - 250 / 2000] + [K - 0.15 / 1.5]$$

donde:

Ce = coef. de escurrimiento anual (adimensional)

K = parámetro K, que depende del uso y tipo de suelo

P = precipitación en mm.

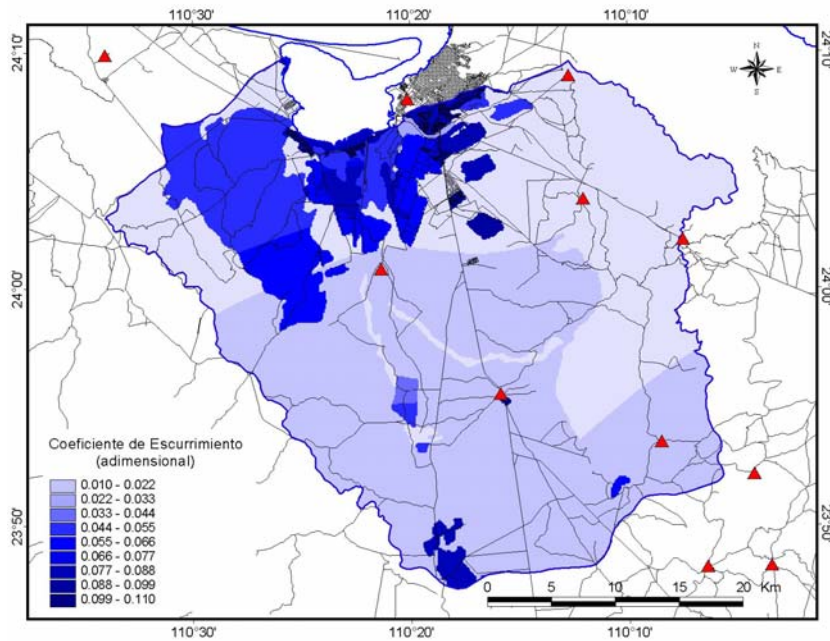


Fig.3.3.14 Modelo digital del coeficiente de escurrimiento (adimensional) de la cuenca de La Paz.

Uso de Suelo	Tipo de Suelo		
	Muy permeable (A)	Medianamente permeable (B)	Poco permeable (C)
Area agrícola	0.24	0.27	0.30
pastizal	0.20	0.24	0.30
mezquital	0.12	0.22	0.26
edificaciones	0.28	0.29	0.32
Veg. halófito	0.28	0.29	0.32
matorral	0.16	0.23	0.28
selva	0.14	0.22	0.27

Tabla 3.3.3 Valores del parámetro K para diferente tipo y uso de suelo. Mod. de la NOM-011-CNA-2000.

El modelo digital de precipitación (Fig.3.3.11) se multiplicó por el modelo digital de coeficiente de escurrimiento (Fig.3.3.14), para obtener el modelo digital de escurrimiento (Fig.3.3.15).

Se presenta un mayor escurrimiento en la región norte y noroeste de la cuenca, siendo menor al sur y sureste, y menos aún al centro y este.

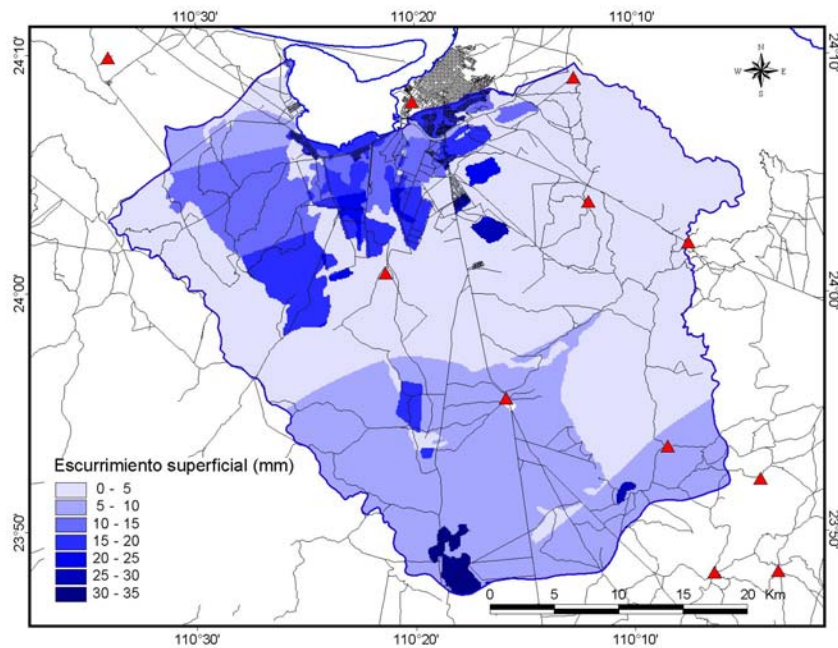


Fig.3.3.15 Modelo digital de escurrimiento (mm) de la cuenca de La Paz.

3.3.5.2.7 Modelo digital de infiltración (recarga)

El modelo digital de infiltración (Fig.3.3.16) se generó de acuerdo con la expresión: $I = P - E_t - E_s$. Al modelo digital de precipitación (Fig.3.3.11) se le restaron los modelos digitales de evapotranspiración y escurrimiento (Figs.3.3.13 y 3.3.15, respectivamente).

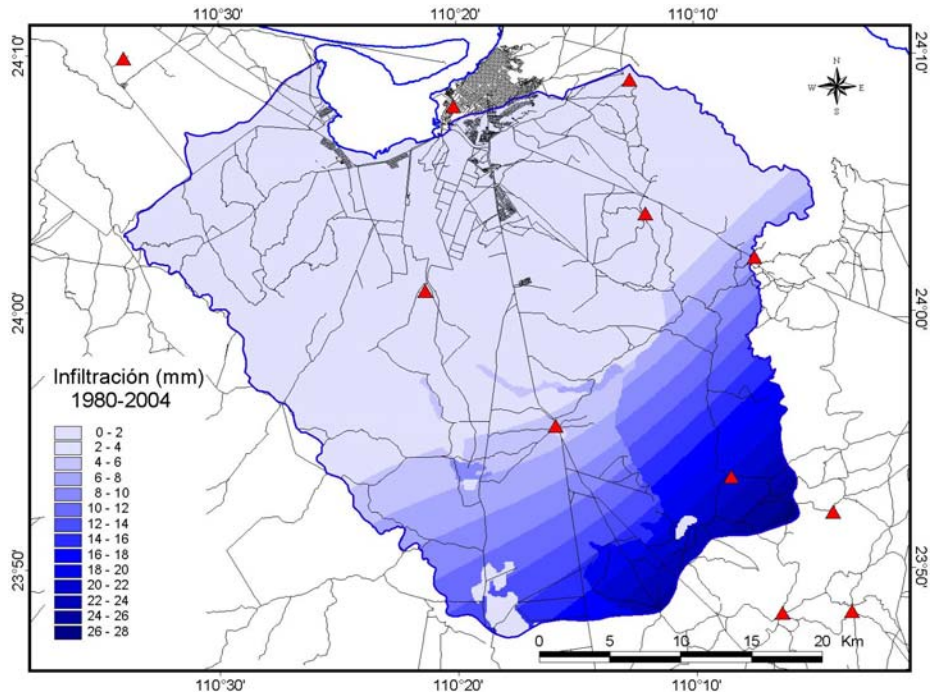


Fig.3.3.16 Modelo digital de infiltración (mm) de la cuenca de La Paz.

3.3.6 Estimación de la recarga en la zona de explotación acuífera

Partiendo de que la recarga vertical por lluvias en la cuenca de La Paz (sección anterior) de acuerdo al modelo digital de infiltración (Fig.3.3.16), ocurre principalmente en la zona este y sureste de la cuenca, entonces la recarga del acuífero de La Paz tiene lugar en mayor medida, de forma subterránea.

Para estimar esta recarga se utilizó el método de flujo subterráneo.

3.3.6.1 Recarga horizontal

3.3.6.1.1 Flujo subterráneo

Un flujo subterráneo se puede calcular por la ecuación de Darcy (Freeze y Cherry, 1979), a partir de los desniveles piezométricos. Conociendo la superficie de una 'celda' delimitada entre curvas equipotenciales y líneas de flujo, y con la transmisividad, se puede calcular el caudal de agua que fluye en la unidad de tiempo, como se expresa en la ecuación de Darcy:

$$Q = T B I$$

donde:

Q = caudal (m³/seg)

T = transmisividad de la capa acuífera (m²/seg)

B = largo de la celda (km)

I = gradiente hidráulico (adimensional)

La transmisividad se obtiene con el producto de la conductividad hidráulica por el espesor de la capa acuífera. El gradiente hidráulico se calcula por la diferencia de los niveles piezométricos entre su distancia horizontal.

3.3.6.1.2 Información requerida

Se utilizó la información de los niveles estáticos del año 2004 de los pozos de prueba (donde se realizan mediciones continuas) proporcionada por la CNA (Anexo 3.3.2), la cual está limitada a una zona del acuífero.

Se utilizaron además, los valores de conductividad y transmisividad hidráulica de los materiales del subsuelo obtenidos de los trabajos de CIGSA (2001), y Dragoo y Maddock (2004).

3.3.6.1.3 Celdas de gradiente hidráulico

A partir de la elevación de la superficie piezométrica, en este caso, los contornos de elevación del nivel estático para el año 2004, se generaron polígonos irregulares o celdas de flujo. Se consideró un desnivel (h_1-h_2) de 2 m para la zona de recarga por agua dulce (localizada al este, sureste, sur y suroeste del área acuífera), con las celdas numeradas de la C1 a la C9 (Fig.3.3.17). Y un desnivel de 1 m, para la recarga producida por la intrusión de agua de mar (norte y noroeste del área acuífera), celdas C10 a la C14 (Fig.3.3.17).

El polígono resultante que se forma con los límites externos de las celdas, tiene un área aproximada de 60.67 km² (Fig.3.3.17).

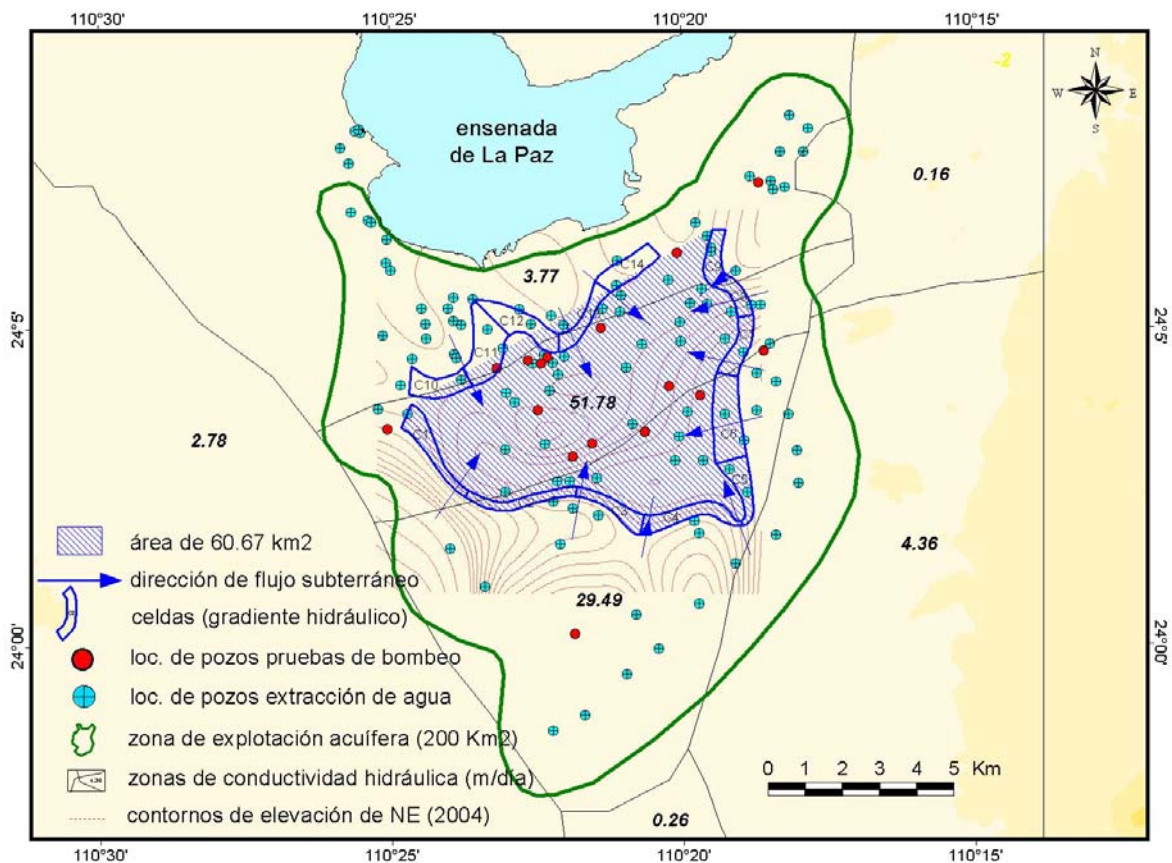


Fig.3.3.17 Celdas de gradiente hidráulico para flujo horizontal de agua dulce (C1 a C9), y para flujo de agua de mar (C10 a C14), en el área de 60.67 km² (polígono azul). Se muestra la zona de explotación acuífera de 200 km² (polígono con borde color verde), la dirección de flujo subterráneo, los pozos de pruebas de bombeo y de extracción de agua, las zonas de conductividad hidráulica, y los contornos de elevación del nivel estático del 2004.

3.3.6.1.4 Cálculos

Para el cálculo de un caudal subterráneo, aparte de determinar las dimensiones de las celdas que ayudan a definir el gradiente hidráulico, es necesario contar con otros parámetros geohidrológicos importantes, como la transmisividad, o bien, la conductividad hidráulica, así como el espesor de la capa acuífera.

A partir de la aplicación de un modelo de Rathon y Rushton que realizó CIGSA (2001) a los resultados de las pruebas de bombeo de pozos de CNA, estimaron la profundidad de la capa acuífera y la transmisividad, en cada uno de los pozos (Tabla 3.3.4). Estos datos fueron utilizados.

POZO	Lon_UTM27	Lat_UTM27	Cond. Horiz. (m/día)	Cond. Vert. (m/día)	Almac. Espec. (1/m)	Rend. Espec.	Espesor capa (m)	Transmisividad (m ² /seg)
A35	563308.14	2662609.48	45.00	20.00	0.0030	0.10	27.07	0.0141
A43	563872.49	2662704.26	64.00	5.00	0.0040	0.10	16.25	0.0120
A74	568339.54	2661587.01	42.00	5.00	0.0040	0.10	91.29	0.0444
POZO I	559200.00	2660600.00	0.25	0.01	0.0010	0.10	146.54	0.0004
POZO II	570200.00	2662900.00	0.36	0.10	0.0009	0.10	182.93	0.0008
POZO III	564700.00	2654600.00	1.40	0.50	0.0009	0.10	130.00	0.0019
40-R	571595.79	2631494.30	6.00	2.00	0.0020	0.10	57.64	0.0040
205	565183.19	2660188.16	19.50	5.00	0.0024	0.10	40.40	0.0091
219	562406.69	2662388.91	90.00	20.00	0.0050	0.10	13.58	0.0141
121	570047.95	2667840.83	5.80	3.00	0.0050	0.10	17.38	0.0012
146	565446.26	2663562.07	35.00	15.00	0.0040	0.10	22.19	0.0090
148	567426.74	2661867.78	56.00	5.00	0.0050	0.10	45.94	0.0298
152-B	566742.32	2660535.04	30.80	10.00	0.0040	0.10	17.20	0.0061
178	567665.24	2665778.37	19.00	6.00	0.0040	0.10	81.37	0.0179
207	564629.53	2659800.38	29.00	10.00	0.0010	0.10	30.45	0.0102
213	563598.31	2661169.60	85.00	34.00	0.0050	0.10	29.85	0.0294
241-B	563698.54	2662530.83	35.00	10.00	0.0050	0.10	32.67	0.0132

Tabla 3.3.4 Parámetros hidráulicos del resultado de pruebas de bombeo, reinterpretados por CIGSA (2001). Los pozos se muestran en la figura 3.3.17.

3.3.6.1.4.1 Recarga de agua dulce

Para la estimación de la recarga horizontal de agua dulce, se calculó un caudal de agua de dos maneras diferentes.

3.3.6.1.4.1.1 Primer caso

Se utilizaron las transmisividades y espesores de las capas que obtuvo CIGSA (2001) en su modelo de Rathon y Rushton.

Para asignar estos valores a las celdas de flujo (C1 a C9), se utilizaron las transmisividades de los pozos que se encuentran por fuera del polígono formado por

las celdas de gradiente hidráulico (Fig.3.3.17), que fueron los pozos I,II , III, y 121 (Tabla 3.3.4).

Se midió el ancho y largo promedio de cada celda y se calculó el gradiente hidráulico con $(h_1-h_2) / \text{ancho de la celda}$.

El caudal fue calculado con el largo de la celda por el gradiente hidráulico por la transmisividad. Estimándose una recarga de 4.7 Mm³/año (Tabla 3.3.5).

3.3.6.1.4.1.2 Segundo caso

Se utilizó el mismo procedimiento anterior, solo que la capa acuífera se consideró de un solo espesor de 50 m, y las transmisividades fueron calculadas a partir de las zonas de conductividad hidráulica en el valle de La Paz definidas por Dragoo y Maddock (2004), figura 3.3.17. En este caso, se estimó una recarga de 4.46 Mm³/año (Tabla 3.3.6).

CELDA	LARGO (m)	ANCHO (m)	h1-h2 (m)	GRADIENTE HIDRAULICO h_1-h_2/ancho	CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA (m/día)	TRANSMISIVIDAD (m ² /seg) $CH \cdot \text{Espesor capa}$	CAUDAL (m ³ /seg) $T \cdot L \cdot GH$	RECARGA (Mm ³ /año)
C1	2910	400	2	0.00500	0.25	0.0004	0.00582	0.18353
C2	3215	260	2	0.00769	1.40	0.0019	0.04697	1.48138
C3	2170	320	2	0.00625	1.40	0.0019	0.02576	0.81264
C4	2900	360	2	0.00555	1.40	0.0019	0.03058	0.96438
C5	1900	445	2	0.00449	1.40	0.0019	0.01620	0.511163
C6	2500	800	2	0.00250	0.36	0.0080	0.00500	0.15768
C7	1810	440	2	0.00454	0.36	0.0080	0.00657	0.20731
C8	1300	415	2	0.00481	0.36	0.0080	0.00500	0.15775
C9	1480	480	2	0.00416	5.80	0.0012	0.00738	0.23299
								$\Sigma = 4.70$

Tabla 3.3.5 Parámetros hidráulicos y resultado del cálculo de recarga por flujo subterráneo para el primer caso.

CELDA	LARGO (m)	ANCHO (m)	h1-h2 (m)	GRADIENTE HIDRAULICO h1-h2/ancho	CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA (m/dia)	TRANSMISIVIDAD (m ² /seg) CH*Espesor capa	CAUDAL (m ³ /seg) T*L*GH	RECARGA (Mm ³ /año)
C1	2910	400	2	0.00500	2.78	0.00160	0.02328	0.73814
C2	3215	260	2	0.00769	2.78	0.00160	0.03975	1.25371
C3	2170	320	2	0.00625	2.78	0.00160	0.02118	0.68804
C4	2900	360	2	0.00555	0.26	0.00015	0.00242	0.07634
C5	1900	445	2	0.00449	0.26	0.00015	0.00128	0.04046
C6	2500	800	2	0.00250	4.36	0.00252	0.01576	0.49730
C7	1810	440	2	0.00454	4.36	0.00252	0.02073	0.65384
C8	1300	415	2	0.00481	4.36	0.00252	0.01582	0.49909
C9	1480	480	2	0.00416	0.16	0.00009	0.00056	0.01795
								$\Sigma = 4.46$

Tabla 3.3.6 Parámetros hidráulicos y resultado del cálculo de recarga por flujo subterráneo para el segundo caso.

El promedio de los dos cálculos anteriores, resulta en una recarga horizontal de agua dulce de 4.58 Mm³/año, para un área de 60.67 km².

3.3.6.1.4.2 Recarga de agua de mar

Para la estimación de la recarga horizontal por agua de mar, se llevó a cabo el mismo procedimiento del segundo caso para la recarga de agua dulce, pero con otras celdas de flujo (C10 a C14) figura 3.3.17, y sus valores correspondientes (Tabla 3.3.7).

CELDA	LARGO (m)	ANCHO (m)	h1-h2 (m)	GRADIENTE HIDRAULICO h1-h2/Ancho	CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA (m/dia)	TRANSMISIVIDAD (m ² /seg) CH*Espesor capa	CAUDAL (m ³ /seg) T*L*GH	RECARGA (Mm ³ /año)
C1	1685	560	-1	0.00178	3.77	0.00218	0.00654	0.20635
C2	1850	910	-1	0.00109	3.77	0.00218	0.00439	0.13873
C3	2080	540	-1	0.00185	3.77	0.00218	0.00839	0.26474
C4	2110	285	-1	0.00350	3.77	0.00218	0.01611	0.50810
C5	1850	640	-1	0.00156	3.77	0.00218	0.00629	0.19856
								$\Sigma = 1.31$

Tabla 3.3.7 Parámetros hidráulicos y cálculo de la recarga horizontal del acuífero por la intrusión de agua de mar.

Se obtuvo una recarga de agua de mar de 1.31 Mm³/año, para un área de 60.67 km².

3.3.6.2 Recarga vertical

La estimación de la recarga vertical en la misma zona donde se realizó el cálculo de la recarga horizontal (sección anterior), se llevó a cabo utilizando un coeficiente de infiltración. El criterio utilizado fue considerar que del volumen total anual precipitado sobre la superficie acuífera de 60.67 Km², se infiltra solo el 10%. El considerar este porcentaje de infiltración se basó en algunas estimaciones de balance de aguas subterráneas realizadas por CNA en otras regiones del país, como por ejemplo, utilizan un coeficiente de infiltración de 20% para rellenos aluviales bien clasificados (CNA, 2002a), y de 10% en depósitos aluviales medianamente clasificados (CNA, 2002b). Debido a que en la zona donde se realizó el cálculo de la recarga existen caminos, ranchos, áreas urbanizadas, así como terrenos arcillosos, se optó por tomar el coeficiente menor.

Por tanto:

Precipitación total anual (PTA) = 170 mm. Promedio de las estaciones Lagunillas y La Paz (Fig.3.3.11) para el 2004, que son las más cercanas a esta área.

superficie acuífera (Sa) = 60.67 Km²

coeficiente de infiltración (Ci) = 0.1

la recarga vertical (Rv) es:

$$Rv = PTA * Sa * Ci$$

$$Rv = 0.170 * 60.67 * 0.1 = 1.03 \text{ Mm}^3$$

La recarga vertical calculada en esta zona 60.67 km², resultó en 1.03 Mm³/año.

3.3.7 Balance hidrológico (recarga – explotación)

A partir de los resultados de recarga horizontal y vertical obtenidos para esta superficie acuífera, y con el valor de extracción de agua de los pozos de explotación de 31.8 Mm³/año (CIGSA, 2001). Con la diferencia entre recarga y explotación se calculó el balance.

Debido a que los pozos de explotación se encuentran distribuidos en un área de aproximadamente 200 km² (Fig.3.3.17) a la que se le ha llamado área de explotación acuífera, y la estimación de la recarga se realizó para una superficie de 60.67 km² (Fig.3.3.17), debido a que solamente en ésta superficie existe información piezométrica.

Para poder realizar el balance de manera consistente, se extendió la superficie de 60.67 km² donde se realizaron los cálculos de recarga, a la superficie de explotación acuífera de 200 km², considerando que los valores de conductividad hidráulica presentan una continuidad lateral. Por tanto:

Para la superficie de 60.67 km², se tiene:

Recarga horizontal = 4.58 Mm³/año

Recarga vertical = 1.03 Mm³/año

Recarga total = 5.61 Mm³/año (agua dulce)

Si se manejan valores por km², significa que se tiene una recarga de agua dulce de 0.09246 Mm³/año/km². Por tanto, para la zona de explotación acuífera de 200 km², se obtiene una recarga total de 18.5 Mm³/año, para el 2004.

Con una extracción anual de 31.8 Mm³ y una recarga de 18.5 Mm³, se estima un balance de -13.3 Mm³/año.

La recarga de agua de mar se calculó en 0.02159 Mm³/año/km², por lo que para la zona de explotación acuífera de 200 km² se obtiene una recarga de 4.32 Mm³/año.

3.3.8 Estimación de la recarga por año a partir de las precipitaciones anuales

Resulta muy difícil realizar un cálculo de la recarga para cada año ya que normalmente no se cuenta con información suficiente, más aún, sabiendo que la recarga en la zona de explotación ocurre en mayor proporción en forma subterránea.

La recarga vertical en la cuenca del valle de La Paz se origina principalmente por las lluvias que ocurren en su parte alta, al este y sureste. Esta recarga se distribuye por flujos subterráneos aguas abajo, los cuales alimentan el acuífero de La Paz.

El criterio utilizado para este ejercicio, fue considerar que el agua que fluye en forma subterránea desde las zonas de recarga, al este y sureste de la cuenca, tarda más de un año en llegar a la zona de explotación acuífera, debido a la distancia y la velocidad de flujo subterráneo en los materiales aluviales característicos del valle.

De acuerdo a las zonas de conductividad hidráulica en el valle de La Paz (Fig.3.3.17) definidas por Dragoo y Maddock (2004), se tiene una conductividad de 4.36 m/día en la zona este-sureste, la cual equivale a 1.6 km/año.

Por lo anterior, se puede asumir que la recarga horizontal del acuífero de La Paz para el 2004, proviene de las precipitaciones del 2003. Aunque en realidad, la recarga pudiera provenir de precipitaciones de hasta 4 ó 5 años antes.

Para relacionar las precipitaciones anuales con la recarga, se obtuvieron los promedios anuales de precipitación de 1980 a 2003 (Tabla 3.3.7) de las 12 estaciones climatológicas que se localizan dentro y al margen de la cuenca de La Paz (Fig.3.3.11).

De esta manera se calculó la recarga para cada año, a partir de 1981, asumiendo que la recarga (horizontal y vertical) del 2004 es producto de las precipitaciones del 2003 (Tabla 3.3.8).

Para estimar el balance por año, desde 1980 a 2000 fueron utilizados los valores anuales de extracción anual por bombeo contenidos en los cálculos de balance del IPN-CICIMAR/CIBNOR/UABCS (2002), Tabla 3.3.7. Y de 2001 a 2004 el valor de extracción anual por bombeo de 31.8 M/m³/año (CIGSA, 2001).

AÑO	PRECIPITACION (mm) PTA (prom. 12 ests.)	RECARGA (Mm ³ /año)	EXTRACCION POR BOMBEO (Mm ³ /año)	BALANCE (Mm ³ /año)
1980	132.06			
1981	327.35	6.03	30	-23.97
1982	368.99	14.96	32	-17.04
1983	427.53	16.86	29.66	-12.80
1984	424.64	19.54	29.66	-10.12
1985	216.04	19.40	29.66	-10.26
1986	273.27	9.87	29.66	-19.79
1987	231.97	12.49	27.6	-15.11
1988	108.47	10.60	29.66	-19.06
1989	278.70	4.95	29.66	-24.71
1990	418.81	12.74	29.66	-16.92
1991	246.48	19.14	29.66	-10.52
1992	233.08	11.27	29.66	-18.39
1993	300.54	10.65	29.66	-19.01
1994	239.41	13.74	29.66	-15.92
1995	229.38	10.94	29.66	-18.72
1996	345.78	10.48	29.66	-19.18
1997	357.90	15.79	29.66	-13.87
1998	308.23	16.36	30.36	-14.0
1999	167.76	14.08	29.66	-15.58
2000	192.81	7.67	29.66	-21.99
2001	431.17	8.81	29.66	-20.85
2002	210.03	19.70	31.8	-12.10
2003	404.74	9.60	31.8	-22.20
2004	248.68	18.50	31.8	-13.30
2005		11.37		
	promedio de 25 años	13.02		-17.04

Tabla 3.3.8 Estimación de recarga y balance anual de la zona de explotación acuífera, a partir de La recarga estimada para el 2004, las precipitaciones anuales y la extracción anual por bombeo.

3.3.9 Identificación de las zonas potenciales de recarga por lluvias en la cuenca de La Paz

Una medida para ayudar a conservar el acuífero de La Paz es mediante la recarga artificial inducida por la construcción de diques o bordos que permitan aumentar el tiempo de residencia del agua de lluvia que escurre al mar, que ocurre típicamente en la temporada de huracanes (finales de verano e inicios de otoño). Para esto, se hace necesario localizar las zonas potenciales dentro de la cuenca que presenten mayores posibilidades de recarga.

3.3.9.1 Metodología

Para localizar las zonas potenciales de recarga en la cuenca de La Paz, se utilizó un sistema de información geográfica (SIG) con información vectorial de parámetros físicos como pendientes topográficas, geología, geomorfología, edafología, uso de suelo y vegetación, escurrimientos y precipitación.

Mediante el análisis espacial de esta información vectorial, se rasterizaron las capas de cada uno de los parámetros utilizando un píxel base de 100 m. A cada modelo raster se reclasificaron sus diferentes clases y a cada una se les asignaron 'pesos', considerando como 'peso' un número mayor o menor que se asigna de acuerdo a la importancia en su contribución a la recarga de agua subterránea (método de 'pesos', Katpatal y Dube, 2004).

La asignación de pesos a las diferentes clases se basa en una escala arbitraria, pero toma en consideración la importancia de cada clase en su contribución a la recarga. Mientras mayor sea el número asignado mayor es la contribución en la recarga. En algunos casos, el mismo número puede asignarse a clases diferentes ya que su contribución a la recarga se considera igual.

Una vez asignados los pesos a las clases de los diferentes parámetros mencionados se generó un nuevo modelo. Al final, se integraron los diferentes modelos para generar un modelo cualitativo resultante, el cual contiene valores de 1 al 7, que representan desde una pobre (1) hasta una muy buena (7) contribución en la recarga.

3.3.9.2 Datos e información

La información vectorial de geología proviene de la cartografía impresa de INEGI (1983) escala 1:250,000. Las capas de edafología y de uso de suelo y vegetación escala 1:250,000, de INEGI (2000).

La capa vectorial de geomorfología, se obtuvo de CONABIO (2004).

Las curvas de nivel con las que se generó el modelo digital de elevación del terreno (MDET) fue obtenida del conjunto de datos vectoriales escala 1:50,000 de INEGI (1998-2003).

Para todos los procesos se utilizó el programa ArcView 3.2. Los 'pesos' asignados a cada una de las clases de cada parámetro, se muestran en cada uno de los modelos.

3.3.9.3 Modelos

A partir del modelo digital de elevación del terreno (MDET) se generó el modelo de pendientes (Fig.3.3.18).

En este caso, la pendiente del terreno está dada en grados sobre la horizontal. Se tomaron en cuenta cuatro clases. Las de mayor pendiente tienen una menor contribución a la recarga que las de menor pendiente.

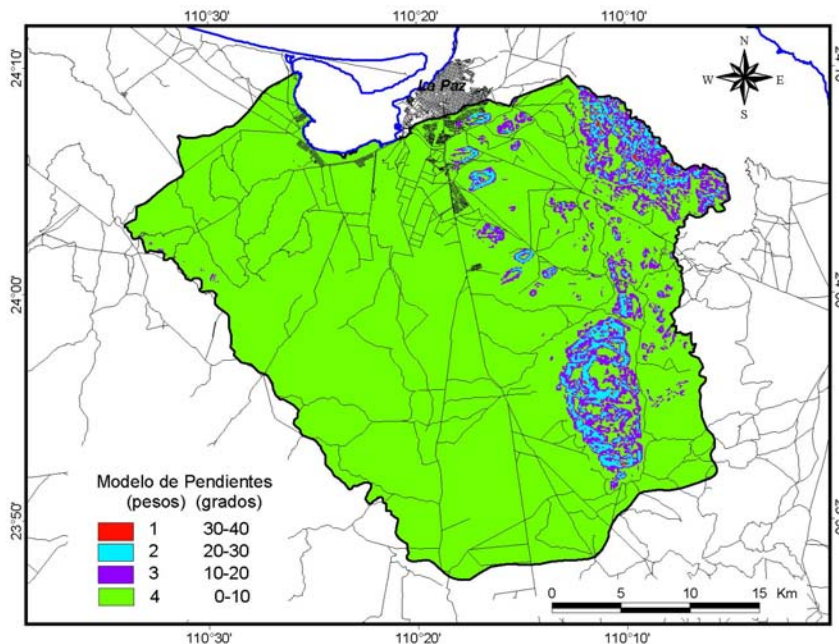


Fig.3.3.18 Modelo de pendientes de la cuenca de La Paz.

Para determinar el modelo geológico, se estableció una jerarquía de los materiales para establecer los pesos. Los materiales cercanos a la costa y a los consolidados volcánicos se les asignó un número menor, a los materiales sedimentarios consolidados se les dió un valor medio, a Los materiales metamórficos e intrusivos intemperizados y fracturados un número de mediano a alto, y a los depósitos aluviales se les asignó el mayor valor (Fig.3.3.19).

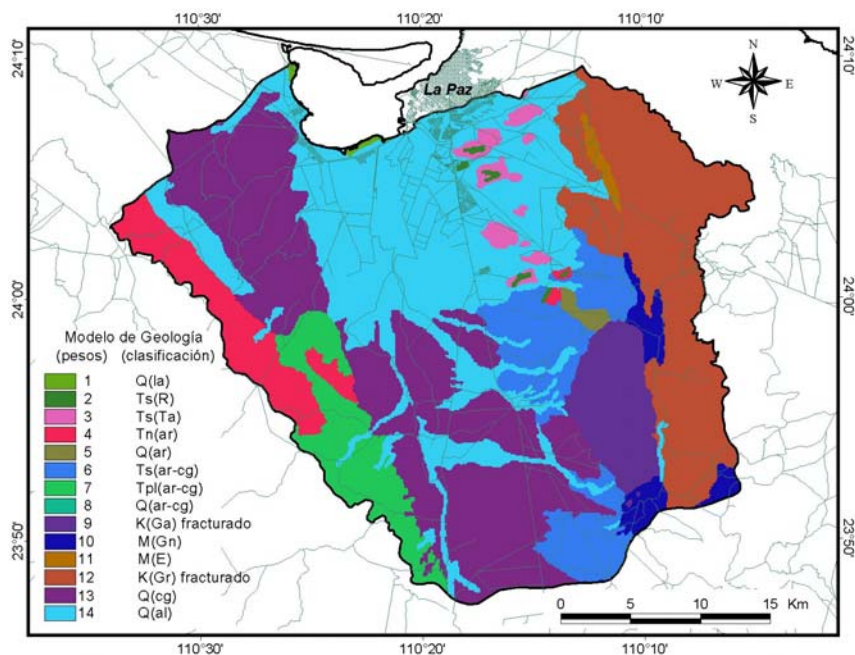


Fig.3.3.19 Modelo geológico de la cuenca de La Paz.

En el modelo de geomorfología (Fig.3.3.20), se tomaron en cuenta las características hidrogeomorfológicas de la cuenca (Tabla 3.3.9) para asignar los pesos correspondientes. A las zonas elevadas constituidas por materiales con bajo grado de infiltración se les asignó un menor valor que a las partes bajas o planas que se consideran con mayor grado de infiltración.

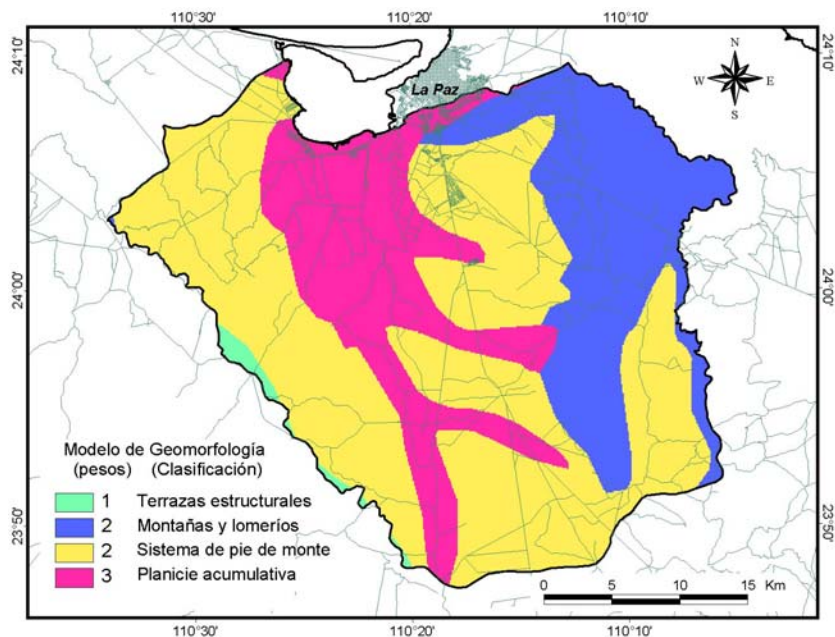


Fig.3.3.20 Modelo geomorfológico de la cuenca de La Paz.

UNIDAD GEOMORFOLÓGICA	PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS	GRADO DE INFILTRACIÓN
Valles (pié de monte y planicies)	- Pendientes suaves. - Baja densidad de drenaje. - Alta capacidad de infiltración.	ALTO
Mesetas (terrazas estructurales)	- 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
Sierras (montañas y lomeríos)	- Pendientes abruptas. - Alta densidad de drenaje. - Alto grado de escurrimiento. - Disolución y fracturamiento.	MEDIO

Tabla 3.3.9 Unidades geomorfológicas con sus principales características Hidrogeomorfológicas de la cuenca de La Paz (modificado de CIGSA, 2001).

Para el modelo de uso de suelo y vegetación (Fig.3.3.21), los pesos fueron asignados a partir de la vegetación que puede retener más agua de lluvia permitiendo la infiltración, así como las zonas urbanas e infraestructura hecha por el hombre donde ocurre mayor escurrimiento. Eventualmente a la vegetación más alta y tupida se le asignó un mayor valor. A la vegetación cercana al mar y a las zonas urbanas se les atribuyó un valor menor.

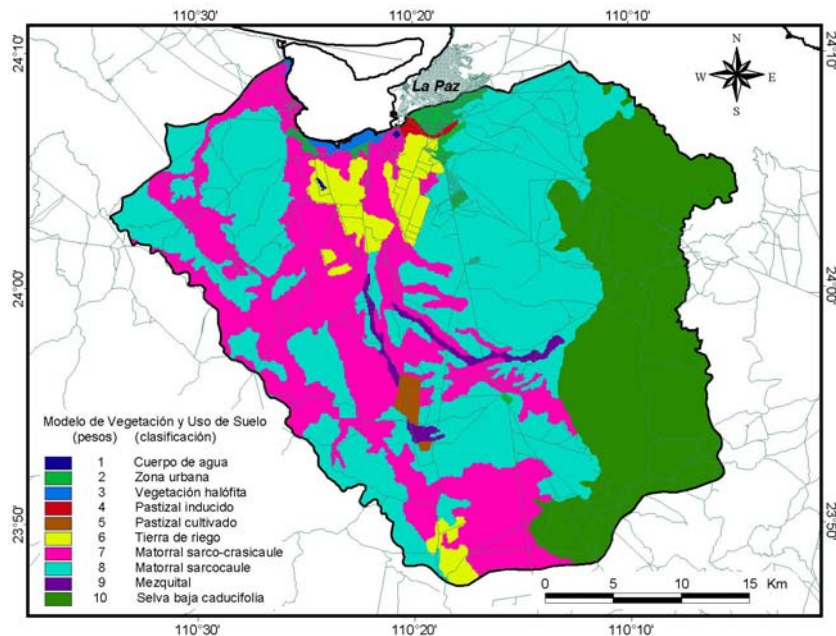


Fig.3.3.21 Modelo de uso de suelo y vegetación de la cuenca de La Paz.

Para obtener el modelo edafológico (Fig.3.3.22) se tomaron en cuenta los tipos de suelo. El suelo que se le asignó un mayor valor fue el Regosol, el cual es común en zonas desérticas y secas tropicales, y forma parte de los depósitos aluviales que predominan en la cuenca. El Litosol, a pesar de ser un suelo con un espesor muy reducido, permite una infiltración rápida que continúa en las capas inferiores. El Fluvisol suele desarrollarse en depósitos aluviales pero posee una textura más fina que disminuye la capacidad de infiltración. El Solonchack es un suelo literalmente salino que en la cuenca se encuentra muy cercano a la ensenada de La Paz. El Xerosol puede ser rico en arcillas por lo que su textura es fina y limita la infiltración.

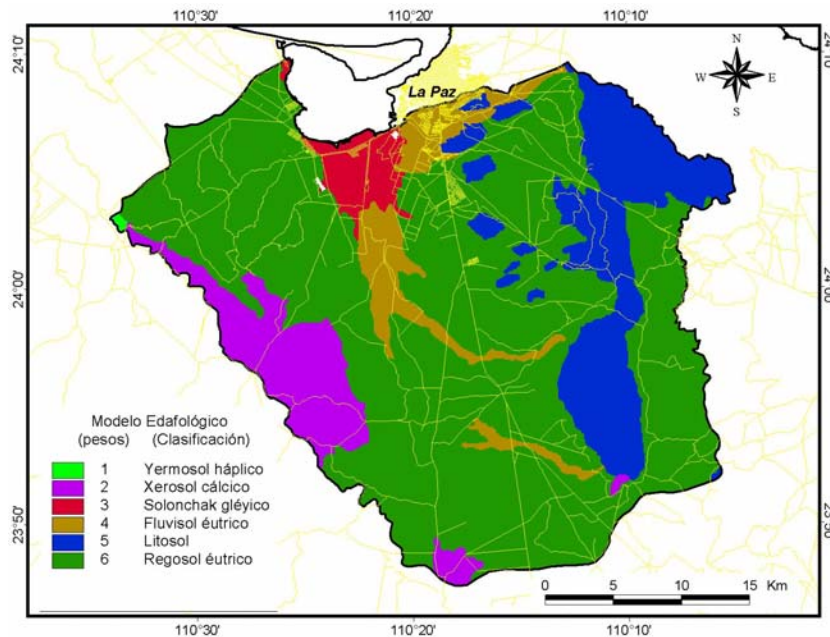


Fig.3.3.22 Modelo edafológico de la cuenca de La Paz.

3.3.9.4 Integración de los modelos

Los modelos de pendientes, geología, geomorfología, uso de suelo y vegetación y edafología, fueron integrados, obteniéndose el modelo de la figura 3.3.23.

Por las características y propiedades de los modelos en relación a la contribución en la recarga y los valores asignados a sus clases, se observa que las zonas con mejores posibilidades de recarga se ubican en las áreas bajas principalmente aluviales. Pero si suponemos que en estas zonas llueve poco, su contribución a la recarga no será la misma. Por lo que fue necesario incluir el parámetro de precipitación y escurrimientos, los cuales son de suma importancia en este proceso, ya que definen las zonas con mayor y menor precipitación y escurrimiento dentro de la cuenca.

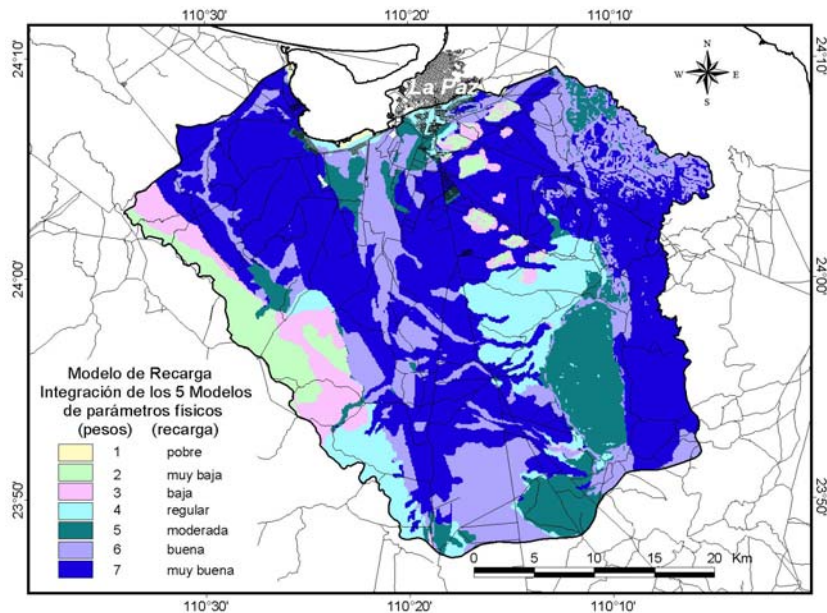


Fig.3.3.23 Modelo de zonas de recarga en la cuenca de La Paz, a partir de la integración de cinco modelos físicos diferentes (pendientes, geología, geomorfología, uso de suelo y vegetación y edafología), sin incluir lluvia y escurrimiento.

Para esto se tomó en cuenta el modelo digital de infiltración de la cuenca de La Paz (Fig.3.3.16), que se generó en el Capítulo 3.3.5.2.7 donde se utilizaron datos y modelos de precipitación, temperatura, evapotranspiración y escurrimiento.

Se integraron estos dos modelos y el modelo resultante se reclasificó con siete clases. Este nuevo modelo representa la distribución de las zonas de recarga potencial en la cuenca de La Paz (Fig.3.3.24).

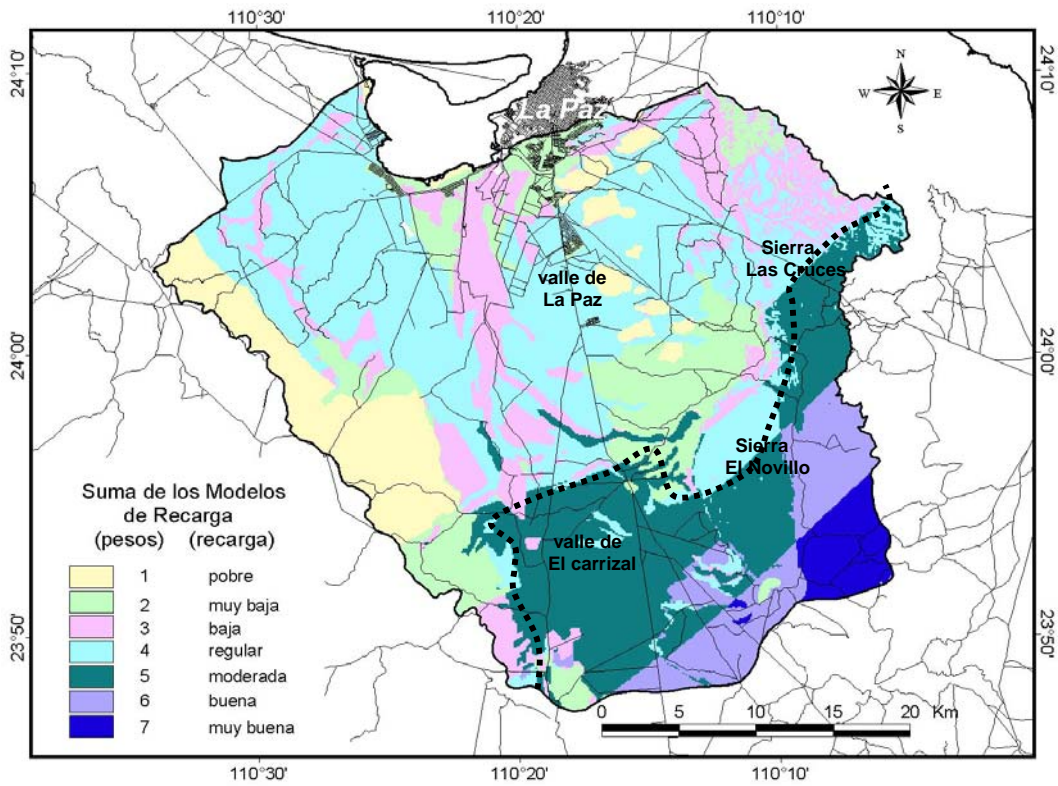


Fig.3.3.24 Modelo cualitativo de las zonas de recarga potencial en la cuenca de La Paz. La línea punteada delimita las mejores zonas de recarga.

3.3.10 Discusión

3.3.10.1 Evolución de la profundidad al nivel estático

La profundidad de los niveles estáticos ha aumentado notablemente en algunos pozos hasta alrededor de 10 m en los últimos 14 años (Fig.3.3.3). Esto se ve reflejado en algunos de los pozos principalmente de uso agrícola (Anexo 3.3.2) que se localizan cerca de la batería de pozos del Sistema de Agua Potable y Alcantarillado (SAPA), lo que significa que tanto pozos de uso agrícola como de agua potable están contribuyendo en la generación de grandes conos de abatimiento del acuífero, o bien, que la extracción de agua para uso agrícola no está siendo controlada. Aunque no se cuenta con datos de niveles piezométricos de los pozos de SAPA, se sabe que extraen grandes volúmenes de agua, ya que hace más de 10 años se explotaban 20 Mm³/año (CNA, 1997).

El comportamiento de las curvas de la sección A-A' (Fig.3.3.3) muestra un aumento general de la profundidad del nivel estático para diferentes años. La curva de 1995 presenta un aumento considerable de la profundidad en la zona cercana a la costa (los primeros 3 km). Para el año 2000 el aumento en la profundidad se generaliza a todo lo largo de la sección, manteniéndose en los primeros 4 km pero incrementándose en los siguientes 3 km. En el año 2004, se presenta una disminución en los primeros 2 km, un aumento relativo a la mitad, y un aumento significativo al final de la curva. Esto se puede explicar debido a que la extracción de agua en los pozos de la parte sur ha sido excesiva, lo que ha provocado un abatimiento general en esta zona del acuífero. Sin embargo la recuperación notoria en el 2004 de la parte cercana a la costa debe ser provocada por la intrusión de agua de mar.

Se tienen datos de niveles estáticos de pozos (Anexo 3.3.2) que posiblemente sean inciertos, como ejemplo se tiene el caso del pozo 151, que se profundizó más de 20 m en 5 años (1990-1995), y 10 m más en 1996. El pozo 211 se profundizó 16 m en un año (1999-2000), pero durante los siguientes años recuperó su nivel anterior. El pozo 166 recuperó 10 m en 5 años (1990-1995), pero la tendencia en los siguientes años fue a profundizarse continuamente.

3.10.2 Evolución de la elevación del nivel estático

Para tener una referencia de los niveles de agua del acuífero. De Acuerdo a la sección A-A' (Fig.3.3.5), se observa que la elevación de los niveles estáticos han disminuido considerablemente en los últimos 14 años, alcanzando profundidades de hasta -8 a -10 m bajo el NMM, sobre todo en la zona más explotada del acuífero que es donde se localiza la batería de pozos de SAPA. Cabe aclarar que en la base de datos (Anexo 3.3.2), se calcularon niveles en donde se encontró una disminución de hasta -15 m en el pozo 164, y de -13.5 en el pozo 166 (año 2004), que son de uso agrícola y se localizan en la parte sur cerca del fraccionamiento Villas de La Paz (Fig.3.3.4). Pero en el pozo 167-R (año 2000), se calculó una elevación del nivel estático de -20.5 m. En este último dato existe la probabilidad de error en la elevación del brocal, o en su anotación en la hoja de datos.

En definitiva, la elevación de los niveles estáticos ha disminuido notablemente en los últimos años, principalmente en la zona de explotación acuífera.

Aparentemente cerca de la costa los niveles disminuidos se han recuperado por el reemplazo del agua de mar, como se observa en la sección A-A' (Fig.3.3.5) comparando la curva del 2000 y 2004.

Al inicio de la sección en la curva correspondiente a 1995, se observa una recuperación inclusive por arriba de los niveles de 1990. En este caso, lo más probable es que haya ocurrido una recuperación de los niveles por efecto de la intrusión marina ó que los datos originales estén erróneos.

3.10.3 Evolución de los STD

Los valores de STD han aumentado de manera progresiva durante los últimos años, lo que es de esperarse debido a la disminución de los niveles de agua de los pozos del acuífero que están siendo recuperados por agua de mar.

En la sección A-A' (Fig.3.3.7) las curvas de 1987 y 1996 reflejan claramente esta situación pues presentan un patrón de incremento de STD que concuerda con los resultados de disminución progresiva de elevación de los niveles estáticos. Pero en la curva correspondiente al 2004, desde la mitad hasta el final se observa una disminución en el contenido de STD, lo cual no es posible debido a que la extracción

de agua ha continuado y aumentado en los últimos años. Por lo menos esta parte de la curva del 2004 debía permanecer ligeramente por arriba de la de 1996.

Existe la posibilidad de que exista un error en algunos de los datos originales, o que las muestras de agua para este año hayan sido analizadas en un laboratorio con otros parámetros de calibración.

3.10.4 Intrusión marina

El bombeo de agua subterránea por debajo del NMM hace más vulnerable al acuífero de La Paz para contaminarse por agua de mar. La figura 3.3.8, presenta un esquema que identifica tres zonas a partir de la distribución de concentraciones de STD.

La zona 1, es la más contaminada por la intrusión del agua de mar. Esta zona se considera de agua salobre ya que presenta más de 3000 ppm de STD. La intrusión marina proviene de la ensenada de La Paz (al norte) y los frentes de intrusión se observan de forma paralela a la línea de costa (Fig.3.3.8).

La información de STD es escasa y está mal distribuida, por lo que no se puede afirmar, ciertamente, que en toda esta zona los valores de STD sean altos. Existen lugares cercanos al mar donde se extrae agua con bajas concentraciones de STD, pero no se cuenta con datos de estos pozos que bombean agua dulce.

La zona 2, es una zona con mucho riesgo de ser contaminada por el agua de mar. Se considera todavía agua dulce pero con tendencia salobre, a pesar de que presenta valores de STD mayores de 1000 ppm y en algunos casos cercanos a 3000 ppm. Esta zona se extiende como una banda de oeste a este, y tiene un ancho de aproximadamente 1.5 km (Fig.3.3.8).

A partir de aproximadamente 7 km de la línea de costa en la parte oeste, y 6 km de la línea de costa en la parte este, inicia la zona 3. Esta zona presenta valores inferiores a los 1000 ppm de STD. Se considera una zona de agua dulce, pero debido a que la explotación de agua continúa de forma excesiva, hace suponer que se encuentra en riesgo futuro de contaminarse.

De la zona 3 hacia el sur aún queda agua de buena calidad, por lo que es muy importante hacer un manejo sustentable del recurso.

De manera general y de acuerdo a este esquema representativo de las zonas por su calidad de agua (para el año 2004), se puede decir que el frente de intrusión marina se localiza aproximadamente a 6.25 km de la línea de costa en la parte oeste, y 5.25 km de la línea de costa en la parte este. Para esto se midió la distancia de la línea de costa hasta aproximadamente la parte media de la zona 2, al contorno de 2000 ppm de STD (Fig.3.3.8).

Como una observación de lo que menciona en sus conclusiones la SARH-UNAM-UABCS (1986). La intrusión de agua de mar en el acuífero de La Paz avanzó del orden de 2.5 km en un lapso de 11 años. Lo que significa que recorrió alrededor de 227 m/año. Si esto se extrapola para 22 años después, se tendría un incremento de alrededor de 5 km, que sumado a lo anterior serían 7.5 km de avance de la cuña de agua de mar para el 2007. Sin embargo, la velocidad de avance de la cuña no es constante, ya que depende de la permeabilidad de los materiales, de las extracciones en los diferentes pozos y de la recarga que ocurre cada año.

3.10.5 Vulnerabilidad del acuífero de La Paz

El acuífero de La Paz es vulnerable a la invasión de agua de mar debido a la sobreexplotación, pero además no existe ninguna barrera física que lo proteja, como en el caso de la costa del acuífero de Hermosillo, donde el flujo de agua de mar a tierra está controlado por las estructuras subsuperficiales y los altos estructurales del basamento que actúan como barreras a la intrusión de agua de mar (Flores-Márquez, 1998).

El basamento en la zona costera de la ensenada de La Paz es relativamente profundo (Fig.3.3.25) y la única característica física que impide el flujo rápido de la intrusión marina es la baja permeabilidad de los materiales y sedimentos que se encuentran en contacto con la franja costera (CNA, 1997).

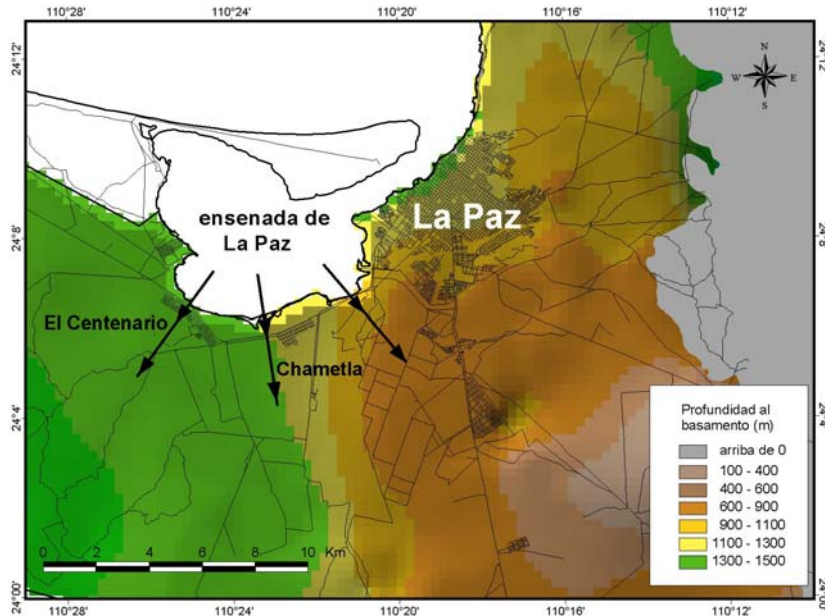


Fig.3.3.25 Modelo de profundidad al basamento en la zona costera de la ciudad de La Paz. Las flechas indican la dirección del flujo por intrusión marina .

3.10.6 Estimación de la recarga en la cuenca de La Paz

A partir de los modelos digitales obtenidos con el sistema de información geográfica en el Capítulo 3.3.5.2., y de acuerdo con la expresión: $I = P - Et - Es$ (Capítulo 3.3.5.2.7), se obtuvo como resultado el modelo digital de infiltración o recarga (Fig.3.3.16).

Con la sumatoria de los valores de los pixeles de cada uno de los modelos, se calculó el volumen total para cada uno de los componentes:

P (precipitación total)	= 410	Mm ³ / año	→	100%
Et (evapotranspiración)	= 335	Mm ³ / año	→	82%
Es (escurrimiento superficial)	= 8	Mm ³ / año	→	02%
I (infiltración o recarga)	= 67	Mm ³ / año	→	16%

De estos resultados se puede discutir lo siguiente:

A la fórmula empírica de Turc utilizada para el cálculo de la evapotranspiración, se le cambió el factor constante de 0.9 a 1.5 para ser aplicada en la cuenca de La Paz.

Si se utiliza la fórmula original el resultado de evapotranspiración es de 97.64%, por lo que la recarga resulta demasiado baja, alrededor del 0.56% del total de la precipitación.

A pesar de que en los balances hidrometeorológicos de CNA (1991) en el estado de Baja California Sur, se indica que en los años de precipitación medio o baja, del total del volumen precipitado se evapotranspira del 90 al 95%, resultado muy similar al obtenido con la fórmula de Turc sin modificar. No es real que se evapotranspire tal porcentaje, ya que del porcentaje restante una parte escurre y otra se infiltra, por lo que la cuenca tendría muy poca recarga. Por dar un ejemplo, en otros estudios de balance hidrometeorológico en lugares relativamente similares a esta región, el porcentaje de evapotranspiración resulta en 80.54% (Fikos et al., 2005), y de 67% (Egboka et al., 2006). La evapotranspiración varía en cada región de acuerdo con el tipo y naturaleza de la superficie del suelo, así como por una serie de factores tales como la turbulencia local y el contenido de aire en vapor de agua (Davis y Wiest, 1971).

Por otro lado, el cálculo del escurrimiento parece estar subestimado. Esto se supone debido a que la fórmula empírica autorizada en la Norma Oficial Mexicana (NOM-011-CNA-2000-Conservación del Recurso Agua), maneja el parámetro 'K' que depende del tipo y uso de suelo, con índices relativamente bajos. Si se ajustaran estos índices se modificaría ligeramente la estimación del escurrimiento, lo que finalmente resultaría en un balance donde el resultado obtenido de la recarga disminuiría ligeramente.

CNA (1991) maneja un porcentaje de escurrimiento de aproximadamente 1.06% de la precipitación total en todas las cuencas del estado de Baja California Sur, pero en estimaciones de otros estudios resulta ser mayor. Por ejemplo 19.5% (Egboka et al., 2006), 18.5% (Fikos et al., 2005), y de 9 a 13% (Treviño, 2005) del total de la precipitación.

3.10.7 Captación de precipitación en la cuenca de La Paz y subcuencas

En la Tabla 3.3.10, se presenta la superficie en km² de las subcuencas que fueron delimitadas en el Capítulo 3.3.5.2.1., y la captación que tienen de agua de lluvia.

Subcuenca	Superficie (km ²)	Captación de precipitación (Mm ³ /año)	% del total
El Cajoncito	133.74	35.55	10.48
La Huerta	105.03	27.90	8.24
La Palma	277.38	90.69	21.75
El Novillo	589.24	218.32	46.22
La Ardilla	91.92	20.45	7.20
Otras pequeñas	77.70	17.93	6.09
Σ	1,275	410.84	100

Tabla 3.3.10 Superficie y captación de agua de lluvia de las principales subcuencas en la cuenca de La Paz.

La cuenca de La Paz redimensionada en el Capítulo 3.3.5.2.1. con una superficie de 1,275 km² (Fig.3.3.10), y de acuerdo al modelo de precipitación generado en el Capítulo 3.3.5.2.3., tiene una captación anual de agua de lluvia de 410 Mm³ (sección 3.10.6, Discusión). Los valores de captación de la precipitación para cada subcuenca (Tabla 3.3.10) no se obtuvieron por porcentajes a partir del total de precipitación, sino que se extrajeron del modelo de precipitación (Capítulo 3.3.5.2.3).

La cuenca de El Novillo es la más importante, ya que ocupa una mayor superficie (589.24 km²) y capta casi un 50% del total de lluvia que se precipita en toda la cuenca de La Paz (Tabla 3.3.10), además forma parte de las principales zonas de recarga que se identificaron en el Capítulo 3.3.9. Las otras subcuencas, que son en orden de importancia, La Palma, El Cajoncito y La Huerta (Tabla 3.3.10), también juegan un papel esencial en la captación de agua así como en la recarga del acuífero principalmente en su extremo este.

3.10.8 Estimación de la recarga y balance hidrológico en la zona de explotación acuífera

Con el resultado de la suma de recarga vertical por lluvia y horizontal por flujo subterráneo de 0.09246 Mm³/año/km² (Capítulo 3.3.7) en la zona donde se cuenta con información piezométrica. Para la zona de explotación acuífera de 200 km², se estimó una recarga total de agua dulce de 18.5 Mm³/año, para el 2004.

Con una extracción anual en los pozos de explotación de 31.8 Mm³/año y una recarga de agua dulce de 18.5 Mm³/año, se estimó un balance de -13.3 Mm³/año, pero debido a que se obtuvo una recarga de 4.3 Mm³/año de agua de mar, el balance

se reduce a -9 Mm³/año. Entonces, una tercera parte del déficit total de agua dulce es ocupado por agua de mar

Se hace una comparación de este resultado de balance con el de otros estudios y métodos (Tabla 3.3.11), con información de un solo año o un período de años, con diferentes superficies acuíferas y con diferentes valores de extracción.

Fuente	Método utilizado	Año / período de datos	Superficie acuífera (km ²)	Recarga vertical (Mm ³)	Recarga horizontal (Mm ³)	Recarga total anual (Mm ³)	Recarga total anual (Mm ³ / km ²)	Extracción por bombeo (Mm ³)	Balance anual (Mm ³)	Balance anual (Mm ³ /km ²)
CNA, 1999	Balance hidrológico	1970-1982 (12)	115	27.74	0.77	27.75	0.241	-28.33	-0.58	-0.005
CIGSA, 2001	Flujo subterráneo	2000	155	4.95	8.36	13.31	0.086	-31.80	-18.49	-0.119
IPN-CICIMAR/CIBNOR/UABCS, 2002	Coefficiente de infiltración	1970-2000 (31)	515			20.13	0.039	-29.11	-8.98	-0.017
Dragoo y Madcock, 2004	Maxey-Eakin, 1949. Flujo subterráneo	1985-2000	600			10.00	0.016	-30.00	-20.00	-0.033
Este estudio (Tesis)	Flujo subterráneo/coef. infiltración	2004	200	3.39	15.09	18.50	0.093	-31.80	-13.30	-0.067

Tabla 3.3.11 Recarga y balance hidrológico en el acuífero de La Paz, a partir de estimaciones con diferentes métodos y diferentes superficies acuíferas de distintas fuentes

Es común encontrar en algunos de los estudios que han estimado el balance hidrológico del acuífero de La Paz, que no se menciona el método utilizado, no se presenta la localización del área acuífera, ni se menciona donde y cómo se obtuvieron algunos de los datos utilizados.

CNA (1999), considera que la recarga de 27.75 Mm³/año en un área de 115 km², equivalente a 0.241 Mm³/año/km², tiene lugar principalmente en forma vertical, cuestión muy incierta ya que con una precipitación de 350 mm/año, que está arriba de la media en toda la cuenca de La Paz, necesitaría infiltrarse alrededor de un 65% del total de la precipitación, cosa prácticamente imposible. El resultado de recarga total para esta área acuífera está sobreestimado, por lo que el balance presenta un déficit menor al que debería de ser (-0.005 Mm³/año/km²), Tabla 3.3.11.

CIGSA (2001), realizó una estimación de la recarga utilizando los niveles piezométricos en un área bien definida, con cálculos de recarga horizontal por flujo subterráneo y vertical por el coeficiente de almacenamiento, sin embargo la extracción por bombeo se define en un área mayor, lo que aumenta el déficit de

balance (-0.119 Mm³/año/km²), Tabla 3.3.11. La distribución de pozos con información piezométrica se concentra en un área menor que donde se distribuyen los pozos de explotación.

El estudio de IPN-CICIMAR/CIBNOR/UABCS (2002), no especifica el método utilizado, solamente se usaron los datos de una estación meteorológica, y no se define si la recarga es horizontal o vertical. Aparentemente la estimación de la recarga es relativamente baja para el área acuífera considerada (0.039 Mm³/año/km²), Tabla 3.3.11. Parece ser que para el cálculo de la recarga se utilizó un coeficiente de infiltración de 0.21. La operación se hizo con la precipitación total anual de la estación La Paz para cada año (1970-2000), un área acuífera de 515 km² y el coeficiente de infiltración.

Dragoo y Maddock (2004), utilizaron un método empírico (Maxey-Eakin, 1949) que al parecer está dando buen resultado en zonas desérticas y semidesérticas. La superficie acuífera que utilizaron es muy amplia (esta definida por una curva de nivel del plano topográfico del área). Parece ser que el resultado de recarga también es bajo (0.039 Mm³/año/km²), Tabla 3.3.11, para el área acuífera considerada, ya que esto implica que en toda la cuenca de La Paz, con una superficie de 1,275 km², solamente se está infiltrando alrededor de 22 Mm³.

No se puede decir que las estimaciones realizadas estén erróneas o no tengan un valor significativo. Cada una con sus propios criterios, tiene una contribución al conocimiento del balance hidrológico del acuífero de La Paz. En todas resalta la necesidad de tomar medidas para conservar el acuífero, ya que es mayor la extracción que la recarga. El acuífero se encuentra sobreexplotado y en un estado frágil.

Aparentemente la estimación de recarga obtenida en el presente estudio es baja (18.5 Mm³/año), pero tomando en cuenta la superficie acuífera resulta ser mayor (0.093 Mm³/año/km²) que la obtenida por el IPN-CICIMAR/CIBNOR/UABCS (2002) de 0.039 Mm³/año/km², y por Dragoo y Maddock (2004) de 0.017 Mm³/año/km² (Tabla 3.3.11).

Las estimaciones que presentan resultados más coherentes son la de CIGSA (2001) y el presente estudio, ya que utilizan el método de flujo subterráneo con datos piezométricos de varios pozos en uso y un área acuífera definida (Tabla 3.3.11).

3.10.9 Estimación de la recarga y balance por año en la zona de explotación acuífera a partir de las precipitaciones anuales

El promedio de recarga por año, resultado del proceso de considerar que la recarga por flujo subterráneo en la zona de explotación acuífera es debida a las precipitaciones del año anterior a partir de los resultados de recarga estimada para el 2004 (Capítulo 3.3.8), considerando datos de precipitación media anual de 12 estaciones climatológicas en un periodo de 25 años, fue de 13.02 Mm³/año (Tabla 3.3.8). La estimación promedio de balance resultó en -17 Mm³/año (Tabla 3.3.8).

Este valor resultante de balance es producto de la poca precipitación que se presenta en esta región.

En la Tabla 3.3.8, se puede observar que en dos años las precipitaciones fueron inferiores a 150 mm, en 10 años menores de 250 mm, en 5 años menores de 350 mm, y el resto mayores de 350 pero inferiores a 431 mm.

3.10.10 Identificación de las zonas de recarga en la cuenca de La Paz

En varios estudios realizados en el valle de La Paz se menciona donde se encuentran las zonas de recarga del acuífero. La mayoría coincide que la zona este y sur de la cuenca, por sus determinadas características (ya sea del suelo, tipo de roca o sedimentos, pendientes, clima, topografía, precipitaciones, etc.) es donde se lleva a cabo la recarga. Pero en ninguno de los estudios se muestran gráficamente estas zonas.

La SARH-UNAM-UABCS (1986) definen geohidrológicamente una franja de captación de agua de lluvia en la porción este del valle de La Paz, una zona de infiltración y recarga en la franja central, y otra zona de captación y/o infiltración en la franja oeste. Aunque mencionan que la recarga del acuífero proviene fundamentalmente del valle del Coyote (al norte), del flanco oeste de la cordillera (al este) y de la porción sur de la sierra del Novillo (al sureste).

En IPN-CICIMAR/CIBNOR/UABCS (2002) refiere que la recarga principal del acuífero proviene del lado este del valle, como resultado de la infiltración de los escurrimientos superficiales.

CIGSA (2001) menciona que los rasgos indicadores del sistema de flujo determinan que topográficamente la zona de recarga se inicia en los extremos poniente y sur del valle de La Paz.

Las zonas de recarga en la cuenca de La Paz identificadas con el SIG que se realizó en el Capítulo 3.3.9 de este estudio, con integración de varios modelos de diferentes parámetros, se encuentran en la parte central, sur y sureste de la cuenca (Fig.3.3.24), desde sierra Las Cruces hasta la sierra El Novillo, la zona del valle de El Carrizal y el ápice sureste de la cuenca. Estas zonas de recarga potencial se clasifican en el rango de moderada, buena y muy buena, y están delimitadas por la línea punteada.

4. CONCLUSIONES

1) 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.

2) 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).

3) A partir de la interpretación de la anomalía magnética, se infiere que la falla El Carrizal se prolonga hacia el sur hasta el océano Pacífico, y la falla La Paz se trunca al SW del Triunfo acuñándose con la falla El carrizal, formando un graben triangular, donde la falla El Carrizal es la falla principal y la falla La Paz una falla secundaria. El graben presenta un escalonamiento por la presencia de una falla intermedia no definida.

4) 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.

5) El aumento progresivo del contenido de STD en el agua de los pozos de la zona costera (de 1987 a 2004), es una evidencia de que el agua de mar está penetrando

al acuífero. Este fenómeno es ocasionado por la explotación de pozos con niveles freáticos por debajo del nivel medio del mar, lo que provoca extensos conos de abatimiento y la inversión del flujo subterráneo natural de tierra a mar. 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).

6) 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.

7) 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.

8) Las zonas de recarga potencial en la cuenca de La Paz identificadas con el método de pesos, se localizan en la parte este, sureste y sur de la cuenca, desde

sierra Las Cruces hasta la sierra El Novillo, parte del valle de El Carrizal y el ápice sureste de la cuenca.

9) Según el análisis realizado en este trabajo, la recarga natural del acuífero de La Paz proviene en su mayor parte de la precipitación que ocurre y es captada en las elevaciones montañosas ubicadas al este y sureste (sierra Las Cruces y El Novillo) de la cuenca de La Paz, donde el agua de lluvia se infiltra entre el material ígneo y metamórfico intemperizado, y por las grietas o fracturas, y se transporta lentamente pendiente abajo en forma subterránea y/o superficial al acuífero de La Paz que se encuentra en el valle. La recarga proviene también, aunque en menor medida, por la infiltración vertical directa de las lluvias que ocurren en el valle.

5. RECOMENDACIONES

5.1 Recomendaciones relacionadas con el contenido de este estudio

Para tener un mejor conocimiento de las condiciones en que se encuentra el acuífero de La Paz, y en lo posible entender su comportamiento para tratar de mejorar sus condiciones causadas por la sobreexplotación, es necesario continuar con los estudios geofísicos y geohidrológicos, así como emprender proyectos relacionados a resolver el problema de escasez de agua y conservación del acuífero.

Como una continuación del presente estudio, se propone:

1-Obtener la información de los SEV realizados durante 1984-1985 en la zona de los valles de La Paz-El Carrizal (SARH-UNAM-UABCS, 1986). El análisis e interpretación de estos datos sería de bastante utilidad para mejorar el modelo estratigráfico del valle de La Paz, debido a que complementa los espacios sin registro entre los sondeos TEM de CIGSA (2001).

2-Realizar con equipo electromagnético y/o eléctrico, perfiles perpendiculares a la línea de costa, para verificar el alcance y profundidad a la que se encuentra la cuña de agua de mar, dentro del acuífero.

3-Llevar a cabo una campaña de sondeos electromagnéticos a detalle en toda la zona de explotación, con la idea de tener un mejor conocimiento de las unidades hidroestratigráficas y mejorar el modelo de capas del acuífero.

4-Realizar sondeos eléctricos o electromagnéticos de mayor penetración en diferentes lugares de la cuenca, que logren alcanzar el basamento cristalino. Con el propósito de verificar las profundidades al basamento estimadas con gravimetría y mejorar el modelo.

5-Realizar perfiles gravimétricos a detalle, perpendiculares al trazo aparente de las fallas La Paz y El carrizal, para definir con claridad las anomalías y la ubicación de estas fallas geológicas.

6-Realizar pruebas de bombeo de manera rigurosa y precisa y en un área más amplia, para obtener más información de las propiedades geohidrológicas de los materiales del acuífero. Esta información ayudará a mejorar los cálculos de balance hidrológico.

7-Continuar con los análisis de contenido de STD en el agua de los pozos, para verificar el avance de la intrusión de agua de mar. Tratar en lo posible de analizar otros elementos contenidos en el agua, como metales pesados y elementos traza.

8-Ajustar la fórmula empírica de Turc, a las condiciones físicas e hidrometeorológicas de la cuenca de La Paz, para obtener resultados más precisos del balance hidrológico.

9-Ajustar los parámetros de la fórmula para calcular el coeficiente de escurrimiento, de la NOM-011-CNA-2000, de acuerdo a las características físicas y biológicas de la cuenca de La Paz.

5.2 Recomendaciones generales para el conocimiento y la conservación del acuífero

1-Es importante construir nuevas estaciones meteorológicas y reparar las ya existentes, para ampliar la red.

2-Realizar estudios de evaluación de pérdidas y desperdicio en el uso, conducción y distribución de agua urbana y agrícola. Desde la extracción en los pozos, durante su conducción, y posterior a su potabilización.

3-Realizar balances hídricos periódicos de la cuenca y acuífero. Estimar periódicamente las extracciones y recarga.

4-Localizar las zonas principales de descarga de agua subterránea al mar, para que puedan ser aprovechadas.

5-Evitar en la mayor medida que los pozos productores se encuentren concentrados en una misma zona, para evitar abatimientos de los niveles.

6-Realizar estudios en proyectos de fuentes alternativas de agua, como son desaladoras de agua de mar, obtención de agua de la humedad de la atmósfera, generación de lluvia artificial y construcción de estructuras para proveer recarga artificial al acuífero.

7-Implementar un programa de cultura y uso eficiente del agua en los sectores productivos, de uso humano, y en el sector educativo.

8-Normar el uso de agua en hoteles y servicios turísticos que no cuentan con plantas de tratamiento, desarrollos turísticos que no cuentan con planta desaladora y/o de tratamiento, talleres de lavado de autos y lavanderías que no reciclan el agua, e instituciones gubernamentales, educativas y de investigación que hacen uso irresponsable del recurso

9-Invertir en la optimización de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de La Paz, para obtener agua suficiente y de buena calidad, que pueda ser reutilizada, inclusive, para recargar el acuífero.

10- Buscar otra forma de riego en los cultivos de invernadero, evitando la extracción de agua que es depositada en grandes lagunas, la cual está sujeta a una alta pérdida por evaporación.

11- Plantear un proyecto de cómo aprovechar el agua del manantial de Todos Santos. La cual puede beneficiar, con poca inversión, a una buena parte de la población del municipio de La Paz.

LITERATURA CITADA

- ADI CONSTRUCCIONES, S.A. DE C.V., 1997. Censo de captaciones de aguas subterráneas y colección de datos geohidrológicos en la zona La Paz-El Carrizal, B.C.S. Contrato CNA, GAS-026-PR097. 173 p.
- Alí H.O. and Whiteley R.J., 1981. Gravity Exploration for Ground Water in the Bara Basin, Sudan. *Geoexploration*, 19:127-141.
- Altamirano F.J., 1970. Exploración geológico-minera por oro y plata en la porción meridional de Baja California Sur: En Seminario sobre exploración geológico-minera 2, Memoria de las mesas redondas de información sobre exploraciones y resultados obtenidos en el sexenio 1965-1970: México. Consejo de Recursos Naturales no Renobables, pp. 183-206.
- Alvarez A.A.D., Rojas S. H. y Prieto M.J.J., 1997. Geología de la Bahía de La Paz y Areas Adyacentes. En: Urbán R. J. y Ramirez R. M. (editores), 1997. La Bahía de La Paz, Investigación y Conservación. UABCS-CICIMAR-SCRIPPS. pp. 13-29.
- Anderson M.P. and William W.W., 1992. APPLIED GROUNDWATER MODELING Simulation of Flow and Advective Transport. Academic Press Inc., 381 p.
- Aparicio Mijares F.J., 1989. Fundamentos de Hidrología de Superficie. Ed. LIMUSA, S.A. de C.V., México, D.F. 303 p.
- Aranda Gómez J.J. y Pérez Venzor, 1988. Estudio Geológico de Punta Coyotes, Baja California Sur. *Rev. UNAM, Instituto de Geología*. 7:1-21.
- Aranda Gómez J.J. y Pérez Venzor, 1997. Active faults in the Los Cabos Block, Baja California Sur, México. 27 pp. Compilation for the Map of Major Active Faults Western Hemisphere. ILP Project, II:2.
- Arteche L. Fernando. Com. pers. Programas de riego en Baja California Sur, período 1973-1976. Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH). Estado de B. C.S.
- Arzate Florez J. A., 1986. Geophysical reconnaissance for geohydrological evaluation in the La Paz-El Carrizal Valley, Baja California Sur, México. International Institute for aerospace survey and earth sciences (ITC), Delft, The Netherlands. 60 p.
- Ávila L. Arturo, 2002. El Reto de México Frente a la Crisis Global del Agua. Baja Sur Waterless. Representante para B.C.S. Guerrero Negro, B.C.S. <http://www>.

- waterless.com. Tomado de una información que se difundió a los miembros de la Asociación Ciudadana Unidos por el Agua, A.C. La Paz B.C.S. 2002. 4 p.
- Ballina López Hugo R., 1990. Fortran Program for Automatic Terrain Correction and Gravity Measurements. *Computers & Geosciences*, Vol.16, No.2. pp.237-244.
- Beal, C.H., 1948. *Reconnaissance Geology and Oil Possibilities of Baja California, México*. Waverly, Baltimore, Md. 138 p.
- Bridget R. S., R.W. Healy and Peter G. Cook, 2002. Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. *Hydrogeology Journal* (2002), 10:18-39.
- Carmichael Robert S. and George Henry Jr., 1977. *Gravity Exploration for Groundwater and Bedrock Topography in Glaciated Areas*. Michigan State University. East Lansing, MI48824. Society of Exploration Geophysicists.
- CIGSA (Consultores en Ingeniería Geofísica) S.A. de C.V., 2001. *Estudio de Caracterización y Modelación de la intrusión Marina en el acuífero de La Paz B.C.S. Contrato CNA, GAS-013-PR01*. 284 p.
- CNA (Comisión Nacional del Agua), 1991. *Sinópsis Geohidrológica del estado de Baja California Sur*. Subdirección General de administración del agua – Gerencia de aguas subterráneas. Contrato No. AC-SH-88-06. 85 pp.
- CNA (Comisión Nacional del Agua), 1997. *Censo de Captaciones de Aguas Subterráneas y Colección de datos Geohidrológicos en la zona La Paz-El Carrizal, B.C.S. Informe final*. Estudio realizado por ADI CONSTRUCCIONES, S.A. DE C.V., Contrato No. GAS-026-PR097. Subdirección General Técnica, Gerencia de Aguas Subterráneas. 173 p.
- CNA (Comisión Nacional del Agua), 1999. *Documento de Respaldo para la Publicación de la Disponibilidad. Acuífero B.C.S.-24 La Paz*. Gerencia Regional de la Península de Baja California, Mexicali, B.C. 17 p.
- CNA (Comisión Nacional del Agua), 2000. *Manuales de difusión y divulgación sobre temas selectos de agua subterránea “Conceptos básicos de Hidrogeología” (I parte)*. Gerencia de aguas subterráneas, Subdirección General Técnica. 45 p.
- CNA (Comisión Nacional del Agua), 2002a. *Determinación de la Disponibilidad de Agua en el Acuífero Tolimán, Estado de Querétaro*. Dirección General Técnica.

- Gerencia de Aguas Subterráneas. Subgerencia de Evaluación y Modelación Hidrogeológica. 16 p.
- CNA (Comisión Nacional del Agua), 2002b. Determinación de la Disponibilidad de Agua en el Acuífero Soltepec, Estado de Tlaxcala. Dirección General Técnica. Gerencia de Aguas Subterráneas. Subgerencia de Evaluación y Modelación Hidrogeológica. 12 p.
- CNA (Comisión Nacional del Agua), 2005. Estudio para Actualizar la Disponibilidad Media Anual de las Aguas Nacionales Superficiales en las 85 (ochenta y cinco) Subregiones Hidrológicas de las 7 (siete) Regiones Hidrológicas 1,2,3,4,5,6 y 7 de la Península de Baja California, Mediante la Aplicación de la NOM-011-CNA-2000.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad), 2004. Capa vectorial de Geomorfología, escala 1:100,000.
- Cooper G.R.J., 2000. Programa VES 3.0 para modelación e interpretación de SEV. Geophysics Department, University of the Witwatersrand, Johannesburg 2050. South Africa.
- Couch Richard W., Gordon E. Ness, O. Sanchez-Zamora, G. Calderón Riveroll, P. Doguin, T. Plawman, S. Coperude, B. Huehn and William Gumma, 1981. Gravity Anomalies and Crustal Structure of the Gulf and Peninsular Province of Californias. College of Oceanography, Oregon State University. Corvallis, Oregon, U.S.A. 25-45 p.
- CRM (Consejo de Recursos Minerales), 1972. Datos aeromagnéticos, Cartas 1:50,000: F12B12,13, 22, 23 y G12D72, 73, 82, 83.
- CRM (Consejo de Recursos Minerales), 1999. Monografía Geológico-Minera del Estado de Baja California Sur. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Coordinación General de minería. 237 p.
- Cruz Falcón A. y Vázquez González R., 1989. Gravimetría del Valle de Maneadero-Chapultepec, Ensenada, B.C., con aplicación a la geohidrología. Ciencias Marinas 15(4): 21-38.
- Custodio y Llamas, 2001. Hidrología Subterránea. Tomo I. 556 p.
- Davis S.N. and R. De Wiest, 1971. Hidrogeología. Ed. Ariel, Barcelona, Esp. 563 p.

- Davisson M.L. and T.P. Rose, 2000. Maxey-Eakin Methods for Estimating Groundwater Recharge in the Fenner Watershed, Southeastern California. U.S. Department of Energy. University of California. 13 pp.
- De la Lanza Guadalupe, C. Cáceres, S. Adame y S. Hernández, 1999. Diccionario de Hidrología y Ciencias Afines. UABCS-UNAM. Plaza y Valdés Eds. México, D.F. 286 p.
- DMAH/TC (Defense Mapping Agency Hydrography/Topographic Center), 1984. Cartas náuticas 21120 y 21125.
- Dobrin M. B., 1976. Introduction to Geophysical Prospecting. Third ed. Copyright by Mc. Graw-Hill, 1976. 630 p.
- Dowdy, P. R., 1977. A Gravity Survey of Valle de Maneadero, Baja California. Senior report. San Diego State University, San Diego California. 52 p.
- Dragoo L. C. and T. Maddock III, 2004. Hydrology Model for the Alternative Futures of La Paz. Estudio realizado en coordinación con la Universidad de Harvard y la Universidad Autónoma de Baja California Sur. University of Arizona, Dept. of Hydrology and Water Resources. 16 p.
- Egboka Bce., Infor Bn. and Banlanjo Ew., 2006. Water Budget Analysis of Agulu Lake in Anambra State, Nigeria. Journal of Applied Sciences and Environmental Management. Vol. 10 No.3, p.p. 27-30.
- Escandón F.J., 1978. Bosquejo geológico de los depósitos de fosforita de San Juan de La Costa, Baja California Sur. Roca Fosfórica Mexicana, S.A. de C.V., 22 p.
- Fetter C.W., 1988. Applied Hydrogeology. Macmillan Publishing Company, New York. 593 p.
- Fikos I., G. Ziankas, A. Rizopoulou and S. Famellos, 2005. Water balance estimation in Anthemountas river basin and correlation with underground water level. Selected from papers presented in 9th. International Conference on Environmental Science and Technology. Greece. Global NEST Journal, Vol7, No.3. PP. 354-359.
- Fletcher John M. and Luis Munguía, 2000. Active continental rifting in southern Baja California, México: Implications for plate motion partitioning and the transition to seafloor spreading in the gulf of California. Tectonics, 19 (6), 1107-1123.

- Flores-Márquez, E.L., J.O. Campos-Enríquez, R.E. Chávez-Segura and J.A. Castro García, 1998. Salt intrusion of the Costa de Hermosillo aquifer, Sonora, México: A numerical simulation. *Geofísica Internacional*, 1998. Vol.37. No.3. pp. 113-151.
- Freeze Allan R., and John A. Cherry, 1979. *Groundwater*. Prentice-Hall, Inc. New Jersey, U.S.A. 604 p.
- Gaitán M. J., 1986. On neotectonics evidences in the southern peninsular region, Baja California Sur, México. Tesis de maestría. 110 p. Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences, Enschede , Netherlands, 1986.
- Gallardo L.A., M.A. Pérez-Flores y E. Gómez-Treviño, 2005. Refinement of three-dimensional multilayered models of basins and crustal environments by inversion of gravity and magnetic data. *Tectonophysics* 397 (2005) 37-54.
- Gastany, 1971. *Tratado práctico de las aguas subterráneas*. Ed. Omega, Barcelona, España. 671 p.
- Gastil G., Krummenacher D. and Minch J. 1979. The record of Cenozoic volcanism around the Gulf of California: *Geol. Soc. of Amer. Bull.*, Vol.90, pp. 839-857.
- GEOFIMEX S.A., 1971. Estudio geofísico en las zonas de La Paz, El Carrizal, arroyos San José del Cabo y Santiago, en el Territorio de Baja California Sur.
- Gobierno del Estado de B.C.S., 1985. Plan Hidráulico Estatal. Folleto info. 40 p.
- Harrison J.C. and Mathur S.P., 1964. Gravity anomalies in the Gulf of California. In Van Andel, Tj. H. And Shor G.G.. *Marine geology of the Gulf of California – A Symposium: Am. Assoc. of Petroleum Geologists. Mem. Vol. 3*, 76-89.
- Hausback, B.P., 1984. Cenozoic volcanic and tectonic evolution of Baja California Sur, México: in Frizzel, V. (ed.), *Symposium of the Geology of Baja California Península: Pacific Section, Am. Assoc. of Petroleum Geologists-Society of Exploration Geophysicists-Society of Economic Paleontologists and Mineralogists*, 59th annual meet. pp. 1-19.
- Henry, H. R., 1959. Salt intrusion into fresh-water aquifer: *Journal of Geophysic Research*. V. 64, No. 11. 1911-1919.
- Hilde T.W., 1963. Magnetic profiles across de Gulf of California, México. *Scripps Institution of Oceanography. University of California*. pp. 122-125.

- Hubbert, M. K., 1940. The theory of ground-water motion: *Journal of Geology*, V. 48, No.8, pt. 1, 785-944.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática), 1982. Sistema Nacional de Información Geográfica. Estaciones Gravimétricas (Sist. de ref. IGSN71), Cartas G12D82 y G12D83, 1982.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática), 1983. Cartas geológicas F12-3-5-6 y G12-10-11, escala 1:250,000.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática), 1998-2003. Cartas de altimetría y escurrimientos superficiales, del conjunto de datos vectoriales. Cartas F12B11,12,13,14,24,33 y 34; G12D61,71,81,82,83 y 84, escala 1:50,000.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática), 2000. Capas digitales de edafología y uso de suelo y vegetación del estado de Baja California Sur, escala 1:250,000.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática), 2000-2005. Censo Nacional de Población y Vivienda del año 2000 y 2005.
- INGESA (Ingeniería y Geotecnia) S.A., 1972. Estudios geohidrológicos de los valles de La Paz y Carrizal, Territorio de Baja California, 1972. México D.F.
- IPN-CICIMAR/CIBNOR/UABCS (Instituto Politécnico Nacional - Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas / Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste / Universidad Autónoma de Baja California Sur, 2002. Ordenamiento Ecológico Bahía de La Paz, B.C.S. Informe preliminar. Abril, 2002. 466 p.
- Johannes, R. E. and Hearn, C. J., 1985. The effect of submarine groundwater discharge on nutrient and salinity regimes in a coastal lagoon off Perth, Western Australia. *Estuarine, Coastal and shelf Science* 21: 251-264.
- Katpatal Y. B. and Y.A. Dube, 2004. Geospatial Data Integration for Groundwater Recharge Estimation in Hard Rock Terrains. Department of Civil Engineering, Visvesvaraya National Institute of Technology. Maharashtra State, India. 10 p.
- Kofi Annan, ex-secretario de las Naciones Unidas, 2001. Declaración sobre el recurso agua en la Organización de las Naciones Unidas. Nos estamos quedando sin agua?. *Revista Despertad, La torre del Vigía*. México D.F. Junio 2001.

- Kommadath Amitha, 2000. Estimation of natural groundwater recharge. Groundwater and Hydrogeology. Section-7, Paper 5. 7 p.
- Lonsdale, P., 1989. Geology and tectonic history of the Gulf of California, in the eastern Pacific Ocean and Hawaii. E.L. Winterer et al. pp. 499-521. Geol Soc. of America. Boulder, Colorado.
- Morris B. David and Sultzbach A. Robert, 1977. Gravity Data Reduction and Interpretation Using a Digital Computer, a Case History. Mining Geophysics, Vol II:630-641.
- Munguía Orozco L., Gaitán Morán J., Wong Ortega V. y Mayer Geraldo S., 1992. Microsismicidad en la zona norte de la falla La Paz, Baja California Sur, México. Geofísica Internacional. Vol.31, No.3. 279-287.
- Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000-Conservación del Recurso Agua. Poder ejecutivo, SEMARNAT. Diario Oficial 17 de abril de 2002. 17 p.
- Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994-Salud Ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Secretaría de Salud. Diario Oficial de la Federación. México, D.F., a 20 de octubre de 2000. 21 p.
- Ortega Chavez I., 1985. Síntesis del Plan Hidráulico de Baja California Sur. Panorama, 4ta época #26. U.A.B.C.S. (1985). pp.45-46.
- Peña Haro S. y Arcos Hernández D., 2004. Estimación inicial de la recarga vertical para su introducción a modelos de simulación de flujo con la ayuda de sistemas de información geográfica. Proyectos, Estudios y Sistemas, S.A. de C.V. Seminario Sistematización y automatización como herramienta para la gestión del agua, Expo-agua 2004, Comisión estatal del Agua, Guanajuato, Gto. 9 p.
- Qureshi I. R. and Mula H.G., 1971. Two Dimensional Mass Distributions from Gravity Anomalies. A Computert Method. Geophysical Prospecting 19:180-191.
- Ramos Velázquez E., 1998. Características de la deformación en rocas cristalinas Cretácicas al este-sureste de la ciudad de La Paz BCS, México. Tesis de Maestría, CICESE. 122 p.
- ROASA, 1981. Modelo Matemático de los acuíferos de la zona de La Paz y El Carrizal, B.C.S (informe Preliminar). México, D.F.

- Rusnak G.A., R.J. Fisher and F.P Shepard, 1964. Bathymetry and faults in the Gulf of California. *Marine Geology of the Gulf of California*, 3:59-75.
- Sánchez San Román F.J., 2005. Evapotranspiración. Depto de Geología Universidad de Salamanca, España. 8 p. <http://web.usal.es/javisan/hidro>.
- SARH-UNAM-UABCS, 1986. Estudio Geohidrológico complementario de las cuencas La Paz-El Carrizal, para proporcionar agua en bloque a la ciudad de La Paz, Baja California Sur. 334 p.
- SARH-CNA, 1991. Sinopsis geohidrológica del estado de Baja California Sur. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH)-Comisión Nacional del Agua (CNA). Contrato No. AC-SH-88-06, Subdirección General de Administración del Agua, Gerencia de Aguas Subterráneas. 85 p.
- Secretaría de Marina, 1976. Dirección General de Oceanografía Naval. Carta náutica SM604.
- SEMARNAT, 2001. Presentación del concepto de cuencas ambientales en la SEMARNAT. Dr. Gustavo manuel Cruz Bello. Dirección General de Protección Ambiental e Integración Regional y Sectorial. México D.F. pp. 6-11.
- SEMARNAT, 2002. Lanzamiento de Campaña sobre Ahorro de Agua. Revista *Ambiéntate*, 8 p. México, D.F., 26 de Julio de 2002.
- Sophocleus Marios A., 1991. Combining the Soilwater Balance and Water-Level Fluctuations Methods to Stimante Natural Groundwater Recharge:Practical Aspects. *Journal of Hydrology*, 124 (1991):229-241. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam.
- SRH, 1968-1969. Balance Geohidrológico de los Valles La Paz-El Carrizal.
- SRH, 1971. Estudio Geofísico en las Zonas de La Paz-El Carrizal, Arroyos San José del Cabo y Santiago, en el Territorio de Baja California Sur.
- SRH, 1972-1974. Estudio Geohidrológico de los Valles de La Paz-El Carrizal, en el Territorio Sur de Baja California.
- Steinitz, C., R. Faris, M. Flaxman, J. C. Vargas-Moreno, T. Canfield, O. Arizpe, M. Angeles, M. Cariño, F. Santiago, T. Maddock III, C. Dragoo, K. Baird, L. Godínez, 2005. Alternative futures for the region of La Paz, Baja California Sur, Mexico. Harvard University, Cambridge, MA USA 02138. February 2005. 37 p.

- Tarango Estrada E. Com. pers. Hidromecánica de Los Cabos, S. de R.L. de C.V. Ingeniería de Pozos. Perforaciones y Sistemas de Bombeo. Félix Ortega 2595, Col. Centro. La Paz B.C.S.
- Telford, W.M., L.P. Geldart, R.E.Sheriff, 1982. Applied Geophysics.Cambridge University Press. New York 11122, U.S.A. Cap. 2 (7-103).
- Tinajero González J.A., 1982. Aspectos Fundamentales en el Estudio del Agua Subterránea (Geohidrología). SARH. Com. del Plan Nacional Hidráulico. 232 p.
- Treviño Garza E., Aguirre C. A., Salinas C.W., Xanat A.N., y Verastegui C.J., 2005. Evaluación de la producción de agua usando modelos de análisis geográfico. Mapping Interactivo, Revista internacional de Ciencias de la Tierra (www.mappinginteractivo.com). Artículo público No.105. Especial - Octubre de 2005. 8 p.
- Webring Michael, 1985. A Fortran Program for Generalizae Linear Inversion of gravity and Magnetic Profiles. USDIGS. U.S.A. 26 p.

GLOSARIO DE CONCEPTOS GEOHIDROLÓGICOS

Acuífero: Las aguas subterráneas forman los acuíferos. Un acuífero es una formación geológica capaz de contener cantidades potenciales de agua que pueden ser explotadas a través del bombeo de pozos. El material característico que lo constituye debe de ser poroso y permeable (Freeze y Cherry, 1979).

Acuífero, también se define como una formación geológica, capa o estrato poroso de roca permeable, que contiene agua en cantidades suficientes para ser utilizada. Un acuífero generalmente está compuesto por material sedimentario como grava, arena, aluvión o material volcánico permeable y poroso, pero también por rocas fracturadas (De la Lanza et al., 1999).

De acuerdo al tipo de material o roca constituyente, se puede establecer que los acuíferos se clasifican en tres tipos principales (figura siguiente):

1- **detrítico.** Está conformado por materiales geológicos que resultan de los procesos de erosión, como conglomerados, gravas, arenas y limos. Son los acuíferos característicos de los valles aluviales cuyo material presenta regularmente buena porosidad y permeabilidad.

2- **fisurado.** Compuesto por las fisuras y grietas de las rocas macisas afectadas por el intemperismo y tectonismo, regularmente las rocas ígneas o metamórficas fracturadas, como granito, gabro, basalto, riolita, esquistos y gneiss. Son acuíferos que no tienen buen potencial ya que el agua se puede perder rápidamente por alguna grieta o fractura, sin embargo, pueden estar asociados a los acuíferos detríticos y funcionar como captadores trasmisores de agua.

3- **kárstico.** El agua ocupa los huecos creados por la fracturación y disolución de la roca caliza, a veces en grandes cantidades, característicos de las rocas calizas, dolomías y margas. Estos acuíferos descargan el agua a través de conductos preferentes en grandes manantiales.

La infiltración aproximada en acuíferos con abundancia de rocas carbonatadas como calizas y dolomías se estima entre el 25 y 30% del total de la precipitación (Fikos et al., 2005).

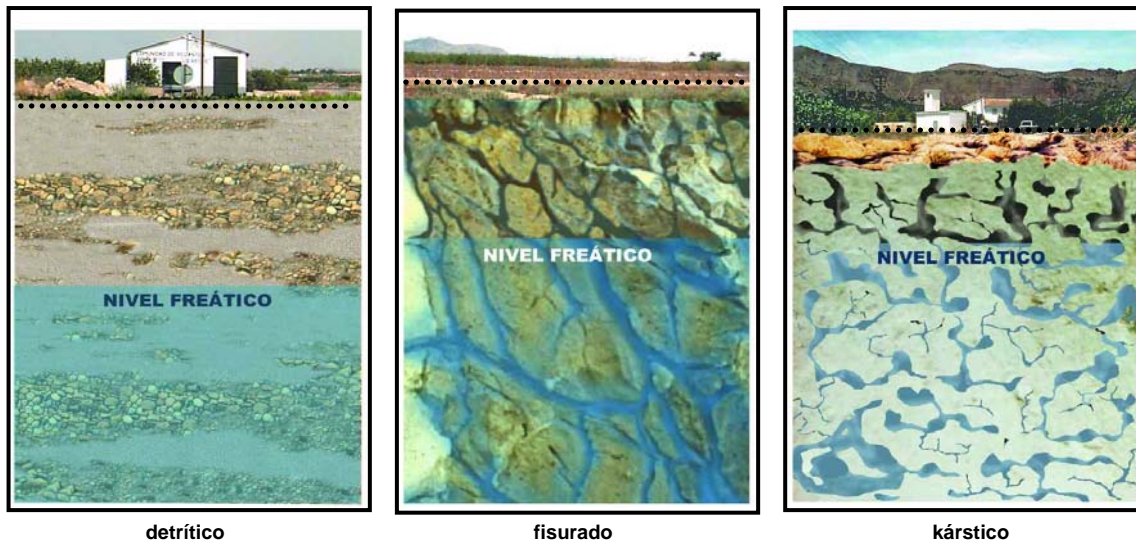


Figura. Esquema que muestra en sección, la clasificación de acuíferos de acuerdo al tipo de material (tomado de Internet: <http://www.fortunecity.com/campus/chemistry/195/hidro/hidro.htm>).

Aunque existen algunas variantes que dependen del concepto de cada autor, por sus características físicas, lugar donde se encuentra y las capas confinantes, un acuífero también se puede clasificar de la siguiente manera (figura siguiente), CNA (2000):

- 1- **libre.** Se encuentra constituido por una capa impermeable en su base, mientras que la porción superior esta limitada por el nivel del agua (nivel freático) el cual se encuentra a la presión atmosférica. El nivel superior del acuífero es libre de ascender o descender.
- 2- **confinado.** Se encuentra confinado entre dos formaciones impermeables o acuitardos. En estos acuíferos la presión del agua es usualmente mayor que la atmosférica. En consecuencia, si un pozo es perforado el agua se elevará por encima del nivel del acuífero, y en algunos casos por encima del nivel del terreno, lo que se le conoce como pozo surgente.
- 3- **semiconfinado.** Está limitado por formaciones menos permeables que las del propio acuífero, pero a través de las cuales puede recibir o ceder volúmenes significativos de agua. Contiene agua a mayor presión que la atmósfera. Es libre de moverse en sentido vertical.

4- **colgado**. Está constituido por una unidad geológica saturada de agua que descansa sobre una capa impermeable ubicada por arriba del nivel freático principal. La capa impermeable limita el movimiento vertical descendente del agua y es capaz de retener volúmenes significativos de agua antes de que esta llegue al nivel freático principal.

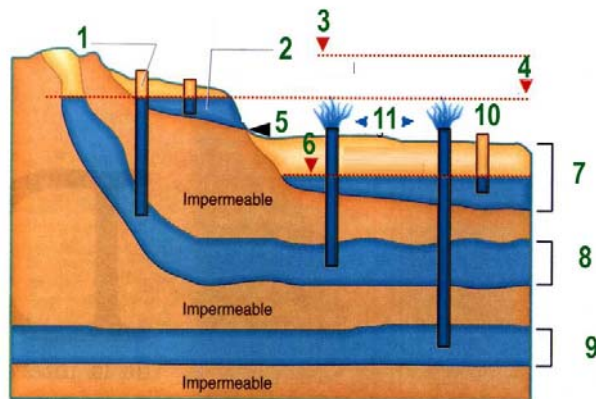


Figura. Esquema que muestra los diferentes tipos de acuíferos, según su ubicación, forma y capas confinantes (tomado de internet: http://www.educa.madrid.org/web/ies.alpajes.aranjuez/argos/actividades/4eso/geomorfologia/geomorfo_18.htm).

- 1- pozo artesiano
- 2- acuífero libre
- 3- nivel de elevación máxima del terreno
- 4- nivel piezométrico del acuífero semiconfinado
- 5- manantial
- 6- nivel freático
- 7- acuífero libre
- 8- acuífero semiconfinado
- 9- acuífero confinado
- 10- pozo
- 11- pozo surgente

Agua subterránea: Parte del agua de lluvia que cae sobre la superficie de la tierra penetra a través de ella y otra parte escurre hacia las partes bajas. Se define al agua subterránea como el agua que se almacena bajo la superficie de la tierra ocupando los poros, cavidades, fisuras y otros huecos entre las rocas. Comprende tanto al agua de lluvia que se infiltra a través del suelo, el agua que asciende de las fuentes magmáticas profundas, y el agua fósil retenida en las rocas sedimentarias desde su formación (De la Lanza et al., 1999). El agua subterránea es conocida también como

agua gravífica (por la acción de la gravedad). Esta agua está contenida en las capas del subsuelo, más no retenida, ya que puede circular libremente por efecto de los gradientes hidráulicos entre los diferentes materiales que componen las capas y formaciones geológicas (Davis y Wiest, 1971).

Ciclo hidrológico: En el caso más general, el ciclo hidrológico se representa por la evaporación del agua de la superficie de los océanos, lagos, ríos y humedales, causada en parte por la radiación solar y aire seco que sopla sobre tales superficies. Con el agua evaporándose se forman nubes, las cuales son transportadas por el viento hacia los continentes donde el vapor de agua, si las condiciones son propicias, se condensa y precipita en forma de lluvia o nieve. El agua puede caer al mar, sobre tierra, o se puede evaporar antes de alcanzar el suelo. La lluvia que cae en tierra juega un papel muy importante, ya que puede seguir dos caminos o ambos a la vez. Si el suelo es poroso o está figurado, parte del agua se infiltrará al subsuelo pasando a formar parte del agua subterránea; si no es así, entonces formará escurrimientos superficiales. Ambos sistemas fluyen impulsados por la acción de la gravedad y se detienen hasta llegar al océano, donde comienza el ciclo de nuevo (figura siguiente).

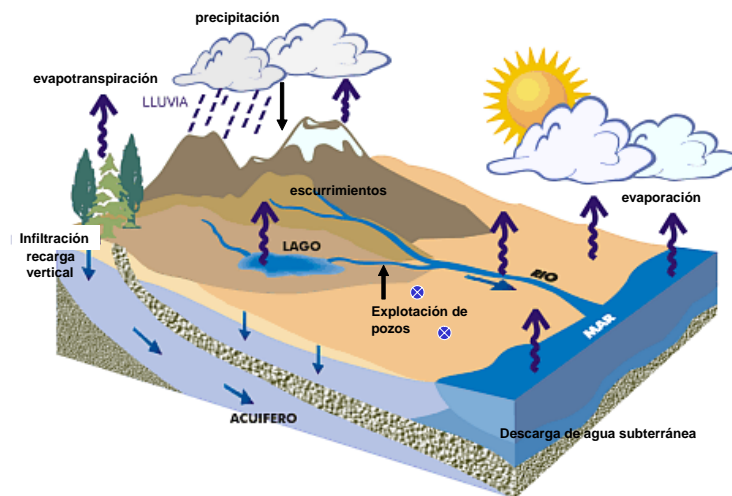


Figura. Esquema que representa el ciclo hidrológico (tomado de internet: <http://www.seopal.gob.mx/ciclohidrológico.htm>).

Como parte del ciclo hidrológico se desarrollan varios procesos físicos naturales como lo son: evaporación, precipitación, transpiración de plantas, escurrimientos,

infiltración, flujo y descarga del agua superficial y subterránea. Todos estos fenómenos físicos inciden en la existencia de agua en la superficie de la tierra (lagos y ríos) y en el abastecimiento de agua subterránea.

Conductividad hidráulica: También conocida como permeabilidad, se define como la facilidad que un cuerpo ofrece a ser atravesado por un fluido. Una vez que el agua de lluvia se infiltra en el subsuelo y fluye dentro del material geológico, a su capacidad de transmisión se le conoce como conductividad hidráulica y se representa como una velocidad, comúnmente m/seg ó m/día.

La conductividad hidráulica es la velocidad con que fluye el agua en el medio poroso y es calculada durante las pruebas de bombeo de pozo, al extraer una gran cantidad de agua y medir el tiempo de recuperación de los niveles.

La conductividad hidráulica es sumamente variable debido a la constitución de las capas o estratos. Si el suelo está constituido por arenas o gravas muy homogéneas la conductividad hidráulica será muy elevada y variará poco en función del tiempo. Si de lo contrario el suelo es de material fino o roca compacta, la conductividad hidráulica disminuye notablemente. La conductividad hidráulica en medios porosos, depende del tamaño y forma de los poros (material grueso, fino o fracturado), la interconexión entre estos poros y las propiedades físicas del agua que varían con su contenido en minerales y la temperatura (CNA, 2000).

Cuenca hidrológica: Desde el punto de vista físico, cuenca hidrológica es un área en forma de “depresión” donde toda el agua de lluvia que cae sobre el terreno y no se infiltra en el subsuelo drena hacia un mismo lugar en las partes bajas, que puede ser un lago, río, o el mar (en cuencas cercanas a la costa). Su delimitación está definida por las partes altas de los cerros o las montañas, conocidos como parteaguas. Las cuencas a su vez, pueden contener subcuencas las cuales están definidas por los tributarios y cauces de los escurrimientos (mod. de SEMARNAT, 2001).

Escurrimiento superficial: Se refiere al volumen de agua que fluye superficialmente de una superficie elevada a otra de menor altura. El escurrimiento superficial esta en función de la intensidad y duración de la precipitación, permeabilidad del terreno, tipo de vegetación, extensión de la cuenca hidrográfica, profundidad del nivel freático y pendiente del terreno. Cuando la precipitación es tal que su intensidad excede la capacidad de infiltración del suelo, entonces comienza el escurrimiento superficial.

Evaporación: Es la conversión gradual de un líquido en gas sin que ocurra ebullición. La evaporación del agua en el océano, lagos, ríos, etc., ocurre de una manera directa a partir de la radiación solar. El agua de lluvia que cae sobre las hojas de los árboles y otras superficies vegetales, también se evapora directamente. Pero que pasa cuando el agua se encuentra contenida en el suelo y subsuelo? La evaporación de un suelo húmedo sin vegetación se produce en la capa superficial. La radiación solar ejerce una fuerza tensional sobre las moléculas de agua de hasta 60 veces superior a la que ejercen las raíces de las plantas, sin embargo, la evaporación ocurre solamente en una zona de profundidad inferior a 1 metro en el caso de suelos arenosos, e inferior a 3 metros en suelos arcillosos, debido al ascenso capilar.

Evapotranspiración: Parte del agua que se precipita sobre la superficie de la tierra vuelve a la atmósfera en forma de vapor a través de la acción combinada de la evaporación, la transpiración y la sublimación. La transpiración es el proceso mediante el cual las plantas ceden agua a la atmósfera a través de sus hojas.

En muchas regiones el volumen total de evaporación real no puede ser considerado independiente de la transpiración, de ahí que ambos efectos suelen ser considerados en conjunto bajo el concepto conocido como evapotranspiración. El agua subterránea no alcanza nunca la atmósfera mediante un proceso de evaporación directa, a no ser que el nivel freático esté situado a pocos decímetros de la superficie del suelo. Por el contrario, las raíces de algunas plantas alcanzan profundidades superiores a los 10 metros, de ahí que el consumo de esta agua por parte de las plantas constituye un medio de descarga de agua subterránea mucho

más importante que la evaporación directa de los acuíferos. Cada región presenta diferentes valores tanto de precipitación como de evapotranspiración, ya que esto depende de sus propias condiciones climáticas. En los desiertos tropicales la atmósfera seca tiene un alto potencial evaporativo, pero la evapotranspiración real es baja debido a que no existe humedad disponible, por lo cual son regiones con balance hídrico permanentemente negativo resultado de las escasas precipitaciones. En las regiones húmedas el balance hídrico es positivo debido al mayor aporte que realizan las precipitaciones y al exceso de humedad en la atmósfera, motivo por el cual se forman lagos y ríos que representan este excedente de agua.

Fujo y descarga del agua subterránea: Después de la infiltración, el agua que llega a la zona saturada especialmente cuando ocurre a través de medios porosos, circulará por el acuífero con lentitud (desde meses a cientos de años) transportándose desde unos cuantos metros hasta muchos kilómetros, recorrido en el que puede salir al exterior en forma de manantial alimentando otros flujos de agua superficial, ríos y lagos, o fluir subterráneamente hacia el mar, pero también puede ser extraída por bombeo en los pozos de explotación (Davis y Wiest, 1971; Sánchez, 2004).

El flujo del agua subterránea ocurre principalmente por la topografía de la capa impermeable inferior o basamento del acuífero, y por el gradiente hidráulico. En un medio poroso, los niveles piezométricos siempre tratarán de igualarse, produciendo un flujo del nivel mayor al menor. En general, el flujo subterráneo se describe por la ley de Darcy (Freeze y Cherry, 1979). Esta ley describe que el flujo volumétrico o caudal 'Q' que circula a través de un medio poroso en la unidad de tiempo 'T', está dado por el área de flujo 'A', la conductividad hidráulica 'K', y el gradiente hidráulico 'I' ($Q = K A I$).

Gradiente hidráulico: Se define como el cambio en carga hidráulica por unidad de distancia en una dirección dada (CNA, 2000), o la diferencia de los niveles piezométricos entre curvas equipotenciales.

El gradiente hidráulico puede cambiar con el tiempo, ya que es afectado por la influencia de las lluvias que proveen recarga al acuífero, así como por la extracción de agua por bombeo.

Infiltración: Es la percolación de agua procedente de la precipitación, a través de un suelo con determinadas condiciones físicas. Para que el agua de lluvia se infiltre, la superficie del suelo debe presentar una serie de condiciones. A cierta profundidad, el suelo se satura con agua. La parte superior de la zona saturada se le llama nivel freático.

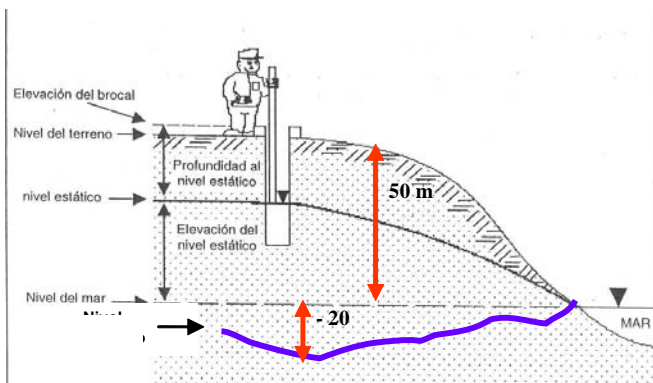
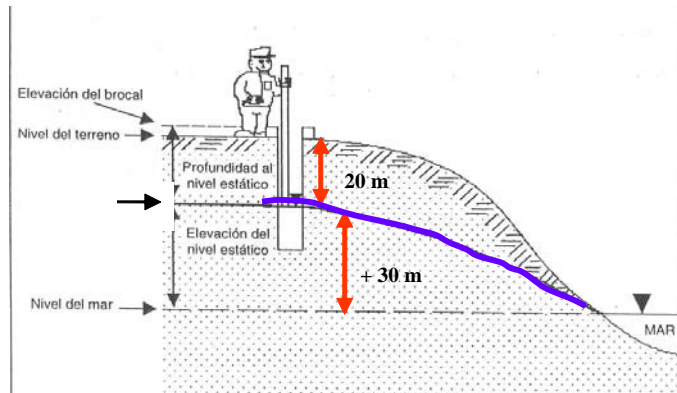
A partir del conocimiento de la cantidad de agua que llueve en una cuenca y el volumen de agua que se pierde en los escurrimientos, se puede inferir la infiltración, que en términos de balance hidrológico se le puede llamar **recarga**.

La infiltración ocurre de manera más fácil en suelos o sedimentos no consolidados de textura gruesa, sobre todo si están protegidos con vegetación. En suelos consolidados la infiltración ocurre si están degradados por el ambiente o en las áreas que presentan fracturas o fallas. En suelos arcillosos o suelos consolidados fracturados pero con presencia de arcillas, la infiltración ocurre al principio, pero a medida que se humedece, las arcillas y coloides se hinchan disminuyendo la porosidad, consecuentemente la conductividad hidráulica, por lo que el agua queda prácticamente retenida.

Nivel estático (profundidad al): Es la distancia vertical o profundidad que existe entre la superficie del terreno y el espejo de agua (figuras siguientes). La distancia se mide desde la parte superior del brocal (obra que da acceso al pozo) hasta el espejo del agua subterránea (CNA, 2000).

Nivel estático (elevación del): Es la medida del nivel del agua subterránea comúnmente con respecto al nivel medio del mar (NNM), por lo que puede tener un valor positivo (sobre el NMM) o negativo (bajo el NMM). Se calcula con la diferencia entre la elevación del terreno, o el brocal del pozo y la profundidad al nivel estático (figuras siguientes), CNA, 2000.

Acuífero costero en condiciones normales de explotación. La profundidad al nivel estático es de 20 m, y la elevación del nivel estático es de +30 m sobre el nmm. CNA (2000).



Acuífero costero en condiciones de sobreexplotación. La profundidad al nivel estático es de 70 m, y la elevación del nivel estático es de -20 m bajo el nmm. Mod. de CNA (2000).

Plantas freatófitas: La mayor parte de las plantas de zonas desérticas están adaptadas a una extrema economía de agua. Estas plantas llamadas xerófilas poseen un sistema de raíces de gran extensión pero de muy poca profundidad. Existe otro tipo de plantas que habitan a lo largo de los cauces de los ríos y sobre las zonas donde el nivel freático se encuentra a poca profundidad respecto a la superficie del suelo. Estas plantas conocidas con el nombre de freatófitas (de freático, que significa agua del subsuelo referida a un nivel) poseen raíces muy profundas que llegan a alcanzar habitualmente el nivel freático. Algunas freatófitas poseen un bajo nivel de tolerancia frente a la salinidad del agua, constituyendo de este modo una guía valiosa para la localización de agua dulce en las regiones áridas o semiáridas. La consideración de las plantas freatófitas en los cálculos de la evapotranspiración es importante.

Porosidad: Se define como el número de espacios vacíos entre granos del sedimento. Se expresa como fracción decimal o porcentaje, esto es, el volumen de agua ocupado en una unidad cúbica de material (roca, sedimento o granos), entre el volumen de esa misma unidad cúbica, comúnmente en m³ (Sánchez, 2004). El conocimiento de la porosidad permite calcular el máximo volumen de agua que una roca o sedimento puede contener cuando está totalmente saturada. Pero se debe de considerar que solo una porción de este volumen (almacenamiento específico) está disponible para ser extraído en los pozos de explotación (CNA, 2000).

Precipitación: Proceso más importante del ciclo hidrológico mediante el cual el vapor de agua contenido en la atmósfera en forma de nubes, originado por la evaporación en los continentes y océanos, se condensa y precipita.

Pueden ocurrir tres tipos de precipitación: frontal o ciclónica, convectiva y orográfica. Regularmente las lluvias son originadas por combinaciones de estos tres tipos de precipitación.

Rendimiento específico: Es el volumen de agua que un volumen unitario de roca o sedimento saturados drenan bajo la influencia de la gravedad. Equivale al volumen de agua disponible para explotación (CNA, 2000), y se expresa por:

$$Re = Vg / Vt$$

donde:

Vg: Volumen de agua drenada por gravedad

Vt: Volumen unitario de roca o sedimento saturado

El rendimiento específico depende del tamaño de grano, forma, gradación de los materiales, compactación y permeabilidad.

Sólidos totales disueltos (STD): Los principales constituyentes inorgánicos que se encuentran disueltos en el agua subterránea son los bicarbonatos, silicatos, cloruros, sulfatos, sodio, potasio, magnesio y calcio. Los cationes mayores son calcio, magnesio, sodio y potasio; mientras que los aniones mayores son cloro, sulfato, carbonato y bicarbonato. Estos componentes mayoritarios conforman el 90% o más

de la materia mineral que contiene el agua y que se expresa como sólidos totales disueltos (CNA, 2000). Los STD es la concentración de sólidos que se obtiene luego de evaporar totalmente una muestra de agua. Se expresa en mg/l*.

La clasificación del agua con base en su contenido de STD (según Fetter, 1994, en CNA, 2000) es:

Agua (clase)	STD (mg/l)
dulce	0-1000
salobre	1000-10,000
salina	10,000-100,000
salmuera	>100,000

*Técnicamente 1 mg/l de sólidos en el agua, corresponde a 1 ppm (parte por millón).

Transmisividad: Es el volumen de agua que puede fluir horizontalmente en una capa o estrato de ancho unitario, en una unidad de tiempo, bajo la influencia de un gradiente hidráulico unitario de espesor saturado (Fetter, 1994, en CNA, 2000). Comúnmente se utilizan unidades de m²/seg ó m²/día.

La transmisividad se puede expresar como el producto de la conductividad hidráulica por el espesor de la capa acuífera (CNA, 2000), con la fórmula:

$$T = K b$$

donde:

T = Transmisividad (L²/T)

K = conductividad hidráulica (L/T)

B = espesor saturado del acuífero (L)

LISTA DE FIGURAS:

Fig.1.1	Localización del área de estudio.....	13
Fig.2.1	Cuenca hidrológica de la Paz (área = 1,571 km ²).....	15
Fig.2.2	(A) Esquema de un acuífero costero en condiciones naturales, y (B) bajo condiciones de explotación. Tomado de internet: http://www.arc.losrios.edu/~boroug/GroundwaterDiagrams.htm).....	16
Fig.2.3	Area acuífera cubierta por depósitos aluviales (polígono verde claro, 858 km ²), y zona de explotación acuífera (polígono azul claro, 200 km ²). El contorno azul fuerte muestra la extensión de la cuenca de La Paz. Se muestran los caminos principales.....	17
Fig.2.4	Mapa geológico-estructural del valle de La Paz - El Carrizal. Se muestra el trazo de las fallas La Paz y El Carrizal. Modificado de las cartas geológicas escala 1:250,000 F12-3-5-6 y G12-10-11 (INEGI, 1983), y de Alvarez et al. (1997).....	19
Fig.3.1.1	Area utilizada para construir el modelo de capas. Incluye la localización de pozos de exploración, sondeos y secciones geofísicas.....	21
Fig.3.1.2	Disposición de las capas del modelo en el área acuífera. El límite inferior de la capa 6 es el basamento granítico profundo. Las líneas azules son los escurrimientos superficiales y los puntos son los pozos de explotación. La sección A-A' se desplaza desde cerca de la costa hacia el centro del valle. La imagen es vista de suroeste a noreste.....	23
Fig.3.1.3	Sección estratigráfica A-A' de la zona acuífera. Se muestra la disposición, profundidad y espesor de las capas. La línea punteada en la parte inferior de la capa 3, delimita el basamento del acuífero. El basamento granítico se muestra en la parte inferior.....	23
Fig.3.2.1	Modelo digital de elevación del terreno (MDET). Se muestra la localización de las estaciones gravimétricas y sondeos eléctricos.....	28
Fig.3.2.2	Area que cubren los datos aeromagnéticos	30
Fig.3.2.3	Contornos de anomalía magnética en el valle de La Paz – El Carrizal (cada 100 nT). Se muestra el trazo inferido de la falla La Paz y El	

	Carrizal, y otra falla intermedia no definida, así como las zonas más profundas del basamento granítico (color gris). Las profundidades al basamento que se observan (en números blancos) fueron estimadas a partir del modelo gravimétrico. Se muestra la ubicación de los tres perfiles gravimétricos que se modelaron.....	31
Fig.3.2.4	Mapa geológico del área de estudio. Utilizado para la corrección por elevación. Digitalizado de las cartas Geológicas de INEGI (F12-3-5-6 y G12-10-11) escala 1:250,000. Las densidades de las rocas fueron tomadas de Dobrin (1976).....	33
Fig.3.2.5	Modelo digital de elevación del terreno (MDET) de la región, utilizado para la corrección topográfica con el programa de Ballina (1990). Se muestra el cuadrante y centro aparente (punto rojo) que se forma para la corrección topográfica en cada estación (puntos azules). Los contornos de profundidad son las líneas azules.....	35
Fig.3.2.6	Contornos de anomalía de Bouguer en el valle de La Paz (cada 2 miligales). Se muestran las estaciones gravimétricas (puntos cafés)..	37
Fig.3.2.7	Esquema que representa el ajuste de un plano horizontal para la separación regional-residual.....	38
Fig.3.2.8	Contornos de anomalía residual en el valle de La Paz (cada 2 miligales). Se muestra la ubicación de los perfiles para la modelación	38
Fig.3.2.9	Columna litológica interpretada a partir del modelo obtenido para cada sondeo eléctrico vertical (SEV). Se muestran los espesores y resistividades de las capas.....	40
Fig.3.2.10	Modelo de profundidad al basamento cristalino en el valle de La Paz y El Carrizal. Se muestra la ubicación de algunos poblados, zonas urbanas, caminos, y las sierras que se localizan al este del valle.....	44
Fig.3.2.11	Gráficos de la modelación de los perfiles de anomalía residual (P1, P2 y P3). Los puntos representan la anomalía residual, y la línea punteada color verde es el ajuste del modelo del basamento (línea café en la gráfica inferior). El trazo de los perfiles se encuentra en la Fig.3.2.8.....	45

Fig.3.2.12	Esquema que representa los prismas que se utilizaron para el cálculo de volumen. Se muestra la topografía superficial de la cuenca (parte superior) y la topografía del basamento (parte inferior). La imagen lateral de la cuenca es vista desde el suroeste (recuadro superior izquierdo).....	47
Fig.3.2.13	Modelo de capas donde se muestra la zona de explotación acuífera del valle de La Paz (polígono línea roja), con una superficie de 200 km ² , la topografía superficial, el basamento acuífero y el basamento granítico. Se muestran los pozos de explotación (puntos azules: uso agrícola; puntos amarillos: uso urbano).....	50
Fig.3.2.14	Modelo de profundidad al basamento entre las cuencas de La Paz y El Carrizal (separadas por la línea azul). Se muestra el alto estructural del basamento en la zona de El Carrizal. Las flechas indican el posible flujo de agua subterránea entre ambas cuencas.....	52
Fig.3.3.1	Distribución de los pozos de explotación en el valle de La Paz, y sus diferentes usos. Se muestra el límite de la cuenca (línea azul).....	57
Fig.3.3.2	Contornos de profundidad al nivel estático (cada 10 m) de 1990 y 2004. La Línea Azul corresponde a 1990; la línea amarilla a 2004. El polígono marcado en verde, con un área de 126 km ² , es donde se encuentran los pozos (puntos azules) con información piezométrica considerados para la interpolación. La sección A-A' con una longitud de 7 km, inicia a 1.5 km de la línea de costa.....	60
Fig.3.3.3	Sección A-A', de evolución de la profundidad al nivel estático (m). Su trazo se muestra en la Fig. 3.3.2.....	60
Fig.3.3.4	Contornos (cada 10 m) de elevación del nivel estático, de 1990 y 2004. La línea azul corresponde a 1990; la línea amarilla a 2004. Los puntos marillos son los pozos agrícolas 164 y 166.....	61
Fig.3.3.5	Sección A-A', de evolución de la elevación del nivel estático (m). Su trazo se muestra en la Fig. 3.3.4.....	62
Fig.3.3.6	Contornos cada 500 mg/l de los STD de 1987 y 2004. La línea azul	

	corresponde a 1987; la línea amarilla a 2004. Los puntos azules son los pozos considerados para la interpolación.....	63
Fig.3.3.7	Sección A-A', de evolución de los STD (mg/l). Su trazo se muestra en la Fig. 3.3.6.....	63
Fig.3.3.8	Zonas definidas de acuerdo a la calidad del agua subterránea en el acuífero de La Paz. Las líneas rojas segmentadas delimitan estas zonas. Las flechas muestran la dirección principal de la intrusión del agua de mar hacia el acuífero. Los puntos azules son los pozos con información con los que se generaron los contornos. Los pozos ubicados al extremo inferior derecho son de la batería de pozos del sistema de agua potable que abastecen a la población.....	64
Fig.3.3.9	Esquema general de los principales métodos para estimar recarga....	65
Fig.3.3.10	Cuenca hidrológica de La Paz con un área de 1,275 Km ² , utilizada para el cálculo de la recarga vertical por lluvias. Se muestran los escurrimientos superficiales y las principales subcuencas (sc) con sus nombres.....	71
Fig.3.3.11	Modelo digital de precipitación (mm) de la cuenca de La Paz. Se muestran las estaciones climatológicas utilizadas (triángulos rojos) y caminos principales (líneas oscuras).....	73
Fig.3.3.12	Modelo digital de temperatura (°C) de la cuenca de La Paz.....	74
Fig.3.3.13	Modelo digital de evapotranspiración (mm) de la cuenca de La Paz...	75
Fig.3.3.14	Modelo digital del coeficiente de escurrimiento (adimensional) de la cuenca de La Paz.....	76
Fig.3.3.15	Modelo digital de escurrimiento (mm) de la cuenca de La Paz.....	77
Fig.3.3.16	Modelo digital de infiltración (mm) de la cuenca de La Paz.....	78
Fig.3.3.17	Celdas de gradiente hidráulico para flujo horizontal de agua dulce (C1 a C9), y para flujo de agua de mar (C10 a C14), en el área de 60.67 km ² (polígono azul). Se muestra la zona de explotación acuífera de 200 km ² (polígono con borde color verde), la dirección de flujo subterráneo, los pozos de pruebas de bombeo y de extracción de agua, las zonas de conductividad hidráulica, y los contornos de	

	elevación del nivel estático del 2004.....	80
Fig.3.3.18	Modelo de pendientes de la cuenca de La Paz.....	89
Fig.3.3.19	Modelo geológico de la cuenca de La Paz.	90
Fig.3.3.20	Modelo geomorfológico de la cuenca de La Paz.	91
Fig.3.3.21	Modelo de uso de suelo y vegetación de la cuenca de La Paz.....	92
Fig.3.3.22	Modelo edafológico de la cuenca de La Paz.....	93
Fig.3.3.23	Modelo de zonas de recarga en la cuenca de La Paz, a partir de la integración de cinco modelos físicos diferentes (pendientes, geología, geomorfología, uso de suelo y vegetación y edafología), sin incluir lluvia y escurrimiento.....	94
Fig.3.3.24	Modelo cualitativo de las zonas de recarga potencial en la cuenca de La Paz. La línea punteada delimita las mejores zonas de recarga.....	95
Fig.3.3.25	Modelo de profundidad al basamento en la zona costera de la ciudad de La Paz. Las flechas indican la dirección del flujo por intrusión marina.....	100

LISTA DE TABLAS

Tabla 3.1.1	Descripción de la zonificación georresistiva. Tomado de CIGSA (2001).....	21
Tabla 3.1.2	Sondeos TEM de CIGSA (2001), con sus respectivas capas o unidades geoelectricas y espesores. Los sondeos TEM (PAZ1 a PAZ 19) se ubican en la figura 3.2.....	22
Tabla 3.1.3	Materiales principales que componen las capas del modelo.....	24
Tabla 3.2.1	Localización de los sondeos eléctricos verticales (SEV).....	29
Tabla 3.2.2	Resultados obtenidos del modelo para los sondeos eléctricos verticales (SEV).....	39
Tabla 3.2.3	Estimación de volúmenes de almacenamiento de agua y disponibilidad en Mm ³ , para los tres casos propuestos.....	55
Tabla 3.3.1	Número de pozos y usos del agua subterránea del acuífero de La	

	Paz (año 1997). Modificado de CIGSA (2001).....	57
Tabla 3.3.2	Extracción de agua por uso, en millones de metros cúbicos (Mm ³), del acuífero de La Paz (año 1997). Mod. de CIGSA (2001).....	58
Tabla 3.3.3	Valores del parámetro K para diferente tipo y uso de suelo. Mod. de la NOM-011-CNA-2000.....	76
Tabla 3.3.4	Parámetros hidráulicos del resultado de pruebas de bombeo, reinterpretados por CIGSA (2001). Los pozos se muestran en la figura 3.3.17.....	81
Tabla 3.3.5	Parámetros hidráulicos y resultado del cálculo de recarga por flujo subterráneo, para el primer caso.....	82
Tabla 3.3.6	Parámetros hidráulicos y resultado del cálculo de recarga por flujo subterráneo, para el segundo caso.....	83
Tabla 3.3.7	Parámetros hidráulicos y cálculo de la recarga horizontal del acuífero por la intrusión de agua de mar.....	83
Tabla 3.3.8	Estimación de recarga y balance anual de la zona de explotación acuífera, a partir de la recarga estimada para el 2004, las precipitaciones anuales y la extracción anual por bombeo.....	87
Tabla 3.3.9	Unidades geomorfológicas con sus principales características hidrogeomorfológicas de la cuenca de La Paz (modificado de CIGSA, 2001).....	91
Tabla 3.3.10	Superficie y captación de agua de lluvia de las principales subcuencas en la cuenca de La Paz.....	102
Tabla3.3.11	Recarga y balance hidrológico en el acuífero de La Paz, a partir de estimaciones con diferentes métodos y diferentes superficies acuíferas de distintas fuentes.....	103

ANEXOS

Anexo 3.2.1- Datos gravimétricos y correcciones.

Este Anexo, por la cantidad de datos, presenta solo una serie de veinte realizadas.

Anexo 3.2.2- (SEV) Datos geoelectrónicos de campo.

Anexo 3.2.3- Curvas de los Modelos (SEV).

Anexo 3.3.1- Distribución y localización de pozos en el valle de La Paz.

Anexo 3.3.2- Red piezométrica de pozos en el valle de La Paz.

Anexo 3.3.3- Pozos con datos de STD en el valle de La Paz.

Anexo 3.3.4- Localización y nombres de Estaciones Climatológicas.

Anexo 3.3.5- Estaciones Climatológicas - Datos de precipitación.

Anexo 3.3.6- Estaciones Climatológicas - Datos de temperatura.

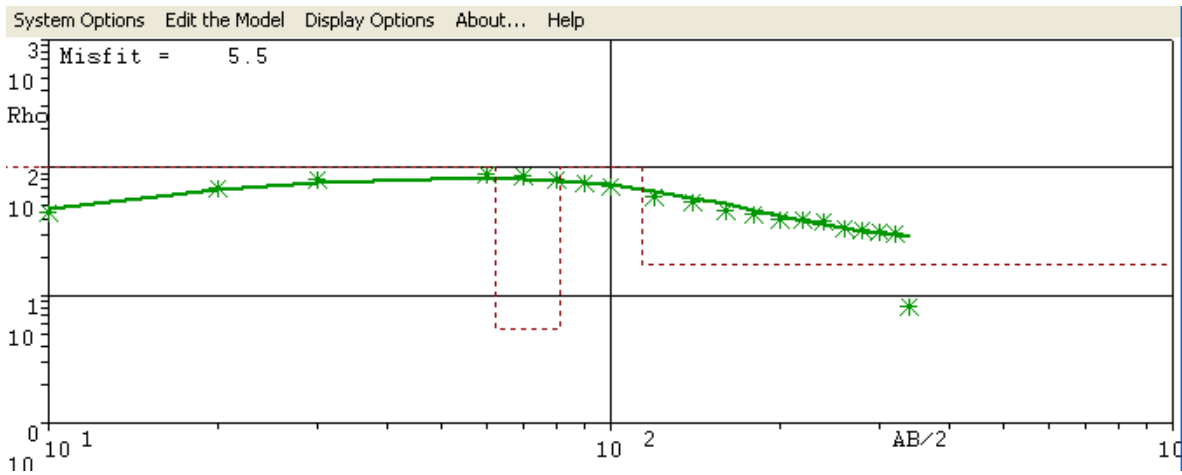
Anexo 3.2.1 Datos gravimétricos y correcciones_Julio 22 de 2003.											
Estación	Lectura	Latitud	Longitud	Gravedad	Hora	Hora decima	Distancia Tiempo	Corr. Deriva	Grav. Observada	Corr. Latitud	Elevacion (m)
EB2	2583.63	24.11863	-110.43275	2646.16	947	9.78	0.00	0.00	2646.16		13.80
1	2581.91	24.12164	-110.43824	2644.39	1001	10.02	0.23	0.00	2644.39	-0.20	16.55
2	2581.59	24.12393	-110.44270	2644.07	1008	10.13	0.35	0.00	2644.07	-0.36	18.12
3	2581.35	24.12629	-110.44708	2643.82	1015	10.25	0.47	0.00	2643.82	-0.52	19.98
4	2581.21	24.12876	-110.45168	2643.68	1024	10.40	0.62	0.00	2643.67	-0.68	20.00
5	2581.15	24.13111	-110.45614	2643.62	1031	10.52	0.73	0.00	2643.61	-0.84	21.55
6	2581.11	24.13427	-110.46209	2643.57	1037	10.62	0.83	0.00	2643.57	-1.05	25.91
7	2581.37	24.13709	-110.46733	2643.84	1046	10.77	0.98	0.00	2643.84	-1.24	25.47
8	2580.61	24.14126	-110.47531	2643.06	1051	10.85	1.07	0.00	2643.06	-1.52	23.40
9	2580.40	24.14507	-110.48252	2642.85	1058	10.97	1.18	0.00	2642.84	-1.78	24.02
10	2580.93	24.14732	-110.48670	2643.39	1105	11.08	1.30	0.00	2643.39	-1.93	22.65
11	2581.11	24.14998	-110.49190	2643.57	1114	11.23	1.45	0.00	2643.57	-2.11	22.21
12	2580.75	24.15292	-110.49753	2643.20	1122	11.37	1.58	0.00	2643.20	-2.31	20.81
13	2580.66	24.15640	-110.50256	2643.11	1130	11.50	1.72	0.00	2643.11	-2.54	20.00
14	2582.07	24.16029	-110.50805	2644.56	1138	11.63	1.85	-0.01	2644.55	-2.81	20.00
15	2581.62	24.16434	-110.51371	2644.10	1148	11.80	2.02	-0.01	2644.09	-3.08	20.00
16	2582.32	24.16805	-110.51897	2644.81	1155	11.92	2.13	-0.01	2644.81	-3.33	20.00
17	2582.00	24.17120	-110.52340	2644.49	1204	12.07	2.28	-0.01	2644.48	-3.54	20.00
18	2582.23	24.17511	-110.52883	2644.72	1211	12.18	2.40	-0.01	2644.72	-3.81	20.00
19	2582.34	24.17808	-110.53314	2644.84	1220	12.33	2.55	-0.01	2644.83	-4.01	20.00
20	2582.05	24.18194	-110.53850	2644.54	1227	12.45	2.67	-0.01	2644.53	-4.27	21.69
21	2581.69	24.18575	-110.54395	2644.17	1234	12.57	2.78	-0.01	2644.16	-4.52	20.00
22	2582.68	24.18966	-110.54946	2645.18	1242	12.70	2.92	-0.01	2645.18	-4.79	20.00
23	2580.92	24.19305	-110.55425	2643.38	1255	12.92	3.13	-0.01	2643.37	-5.02	23.56
24	2580.69	24.19683	-110.55949	2643.14	1302	13.03	3.25	-0.01	2643.13	-5.27	22.46
25	2580.02	24.20129	-110.56593	2642.46	1312	13.20	3.42	-0.01	2642.45	-5.57	20.00
26	2581.02	24.20488	-110.57098	2643.48	1316	13.27	3.48	-0.01	2643.47	-5.82	20.00
27	2583.03	24.20867	-110.57637	2645.54	1321	13.35	3.57	-0.01	2645.53	-6.07	20.00
28	2584.03	24.21285	-110.58223	2646.57	1330	13.50	3.72	-0.01	2646.56	-6.35	19.41
29	2584.96	24.21623	-110.58679	2647.52	1338	13.63	3.85	-0.01	2647.51	-6.58	16.94
30	2585.76	24.22008	-110.59176	2648.34	1343	13.72	3.93	-0.01	2648.33	-6.84	18.83
31	2585.67	24.22373	-110.59657	2648.25	1351	13.85	4.07	-0.01	2648.24	-7.09	28.94
EB2	2583.64	24.11865	-110.43274	2646.17	1320	13.33	3.55	-0.01			13.80

Debido a la cantidad de datos gravimétricos y correcciones, como ejemplo se presentan solo las estaciones realizadas en Julio 22 de 2003. Se cuenta con toda la información de otras 19 salidas al campo y sus correspondientes correcciones.

Anexo 3.2.1 Cont. Datos gravimétricos y correcciones_Julio 22 de 2003.										
Densidad (g/cm ³)	Corr. Aire Libre	Corr. Bouguer	Roca	X-coord (UTM-N27)	Y-coord (UTM-N27)	Corr. Topografía	Grav. Bouguer	Anomalia Bouguer	Anomalia Residual	Profundidad Basamento (m)
2.55			Q(cg)	557644.21	2667323.76	1.70	2644.46			
2.55	0.85	-0.29	Q(cg)	557084.97	2667654.76	2.04	2646.79	14.90	-35.10	-1269.15
2.55	1.33	-0.46	Q(cg)	556630.73	2667906.49	2.59	2647.17	15.28	-34.72	-1255.27
2.55	1.91	-0.66	Q(cg)	556184.61	2668166.01	2.15	2646.70	14.81	-35.19	-1272.27
2.55	1.91	-0.66	Q(cg)	555716.11	2668437.64	1.98	2646.22	14.33	-35.67	-1289.49
2.55	2.39	-0.83	Q(cg)	555261.90	2668696.05	1.80	2646.14	14.25	-35.75	-1292.66
1.54	3.74	-0.78	Q(al)	554655.96	2669043.57	2.10	2647.57	15.68	-34.32	-1240.69
1.54	3.60	-0.75	Q(al)	554122.34	2669353.75	1.57	2647.01	15.12	-34.88	-1260.98
2.55	2.96	-1.03	Q(cg)	553309.78	2669812.37	1.77	2645.24	13.35	-36.65	-1325.03
2.55	3.15	-1.09	Q(cg)	552575.65	2670231.47	1.61	2644.73	12.84	-37.16	-1343.38
2.55	2.73	-0.95	Q(cg)	552150.05	2670479.01	1.30	2644.54	12.65	-37.35	-1350.42
2.55	2.59	-0.90	Q(cg)	551620.66	2670771.58	1.54	2644.69	12.80	-37.20	-1344.77
2.55	2.16	-0.75	Q(cg)	551047.50	2671095.02	0.94	2643.24	11.35	-38.65	-1397.20
2.55	1.91	-0.66	Q(cg)	550535.11	2671478.48	1.31	2643.12	11.23	-38.77	-1401.56
2.55	1.91	-0.66	Q(cg)	549975.86	2671907.18	1.70	2644.70	12.81	-37.19	-1344.68
2.55	1.91	-0.66	Q(cg)	549399.31	2672353.57	1.32	2643.58	11.69	-38.31	-1384.99
2.55	1.91	-0.66	Q(cg)	548863.56	2672762.47	1.30	2644.03	12.14	-37.86	-1368.82
1.54	1.91	-0.40	Q(al)	548412.36	2673109.68	1.27	2643.72	11.83	-38.17	-1379.98
1.54	1.91	-0.40	Q(al)	547859.32	2673540.70	0.54	2642.96	11.07	-38.93	-1407.39
1.54	1.91	-0.40	Q(al)	547420.42	2673868.05	0.60	2642.93	11.04	-38.96	-1408.41
1.54	2.43	-0.51	Q(al)	546874.57	2674293.60	0.49	2642.68	10.79	-39.21	-1417.65
1.54	1.91	-0.40	Q(al)	546319.63	2674713.61	0.68	2641.83	9.94	-40.06	-1448.35
1.54	1.91	-0.40	Q(al)	545758.60	2675144.68	1.29	2643.19	11.30	-38.70	-1399.14
1.54	3.01	-0.63	Q(al)	545270.90	2675518.45	1.07	2641.80	9.91	-40.09	-1449.24
1.54	2.67	-0.56	Q(al)	544737.40	2675935.26	1.60	2641.57	9.68	-40.32	-1457.55
1.54	1.91	-0.40	Q(al)	544081.82	2676427.00	1.10	2639.49	7.60	-42.40	-1533.07
1.54	1.91	-0.40	Q(al)	543567.74	2676822.87	0.57	2639.74	7.85	-42.15	-1523.92
1.54	1.91	-0.40	Q(al)	543019.10	2677240.81	0.50	2641.47	9.58	-40.42	-1461.19
1.54	1.73	-0.36	Q(al)	542422.63	2677701.80	1.46	2643.03	11.14	-38.86	-1404.83
1.54	0.97	-0.20	Q(al)	541958.47	2678074.64	2.67	2644.37	12.48	-37.52	-1356.65
1.54	1.55	-0.32	Q(al)	541452.55	2678499.40	2.60	2645.32	13.43	-36.57	-1322.26
1.54	4.67	-0.98	Q(al)	540962.98	2678902.09	2.99	2647.83	15.94	-34.06	-1231.24
2.55	0.00	0.00	Q(cg)	557645.22	2667325.97					

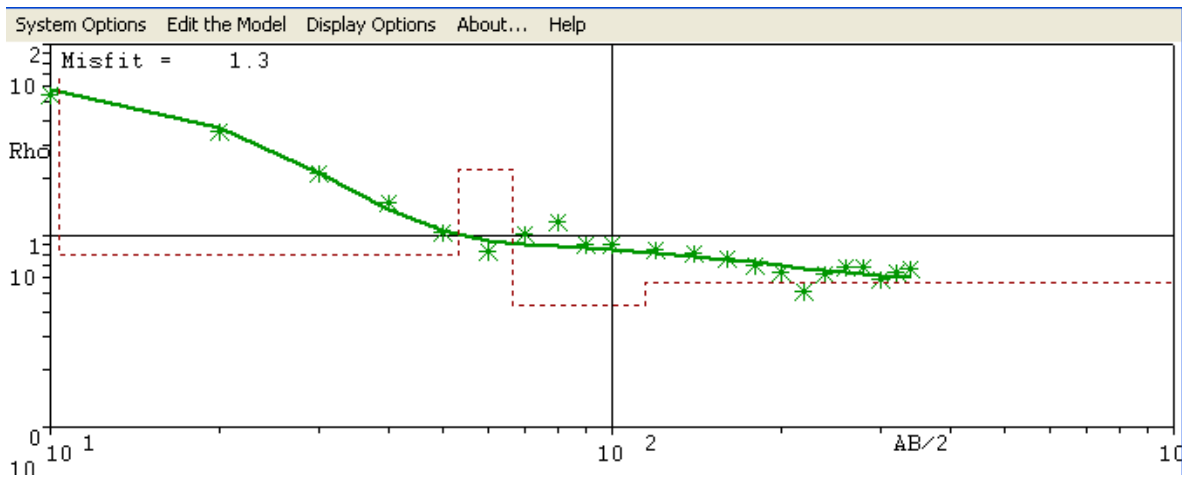
Anexo 3.2.2 (SEV) Datos geoelectricos de campo		
Sondeo	AB/2 (m)	Resistividad aparente (ρ_a) ohm-m
SEV 1	10	44.86
	20	69.73
	30	80.26
	60	88.75
	70	85.51
	80	81.43
	90	75.64
	100	72.06
	120	59.52
	140	53.2
	160	46.09
	180	42.92
	200	39.84
	220	39.85
	240	37.59
	260	33.16
	280	32.72
300	31.69	
320	30.21	
340	8.175	
SEV 2	10	54.29
	20	35.2
	30	21.08
	40	14.89
	50	10.43
	60	8.312
	70	10.14
	80	11.89
	90	8.988
	100	9.073
	120	8.401
	140	8.102
	160	7.578
	180	7.053
	200	6.456
	220	5.114
	240	6.344
260	6.821	
280	6.794	
300	5.969	
320	6.509	
340	6.783	
SEV 3	10	274.4
	20	76.53
	30	39.87
	40	34.94
	50	32.39
	60	30.41
	70	27.34
	80	25.00
	90	24.48
	100	24.43
	120	19.96
	140	19.37
	160	17.93
	180	16.26
	200	15.31
	250	13.32
	300	14.76
350	13.78	
400	13.68	
450	13.86	

Anexo 3.2.3 Curvas de los Modelos (SEV)



CURVA DEL MODELO SEV 1

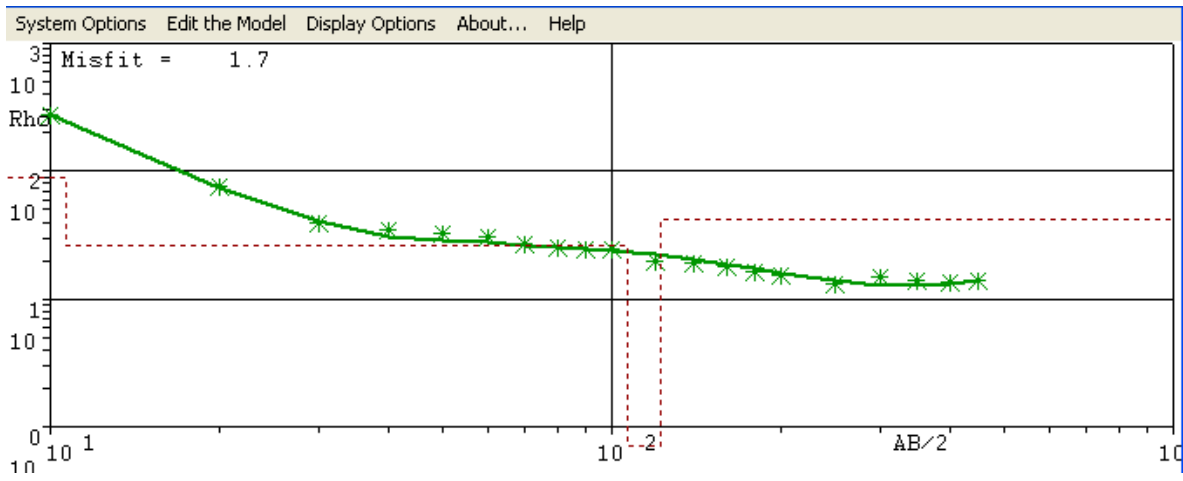
Capas	espesor	resistividad
1	0.30	2.40
2	62.20	100.10
3	19.00	5.40
4	32.20	102.20
5	----	17.60



CURVA DEL MODELO SEV 2

Capas	espesor	resistividad
1	10.40	66.20
2	43.00	7.90
3	13.10	22.10
4	48.00	4.30
5	----	5.70

continuación... Anexo 3.2.3 Curvas de los Modelos (SEV)



CURVA DEL MODELO SEV 3

Capas espesor resistividad

1	4.00	601.50
2	6.40	89.10
3	96.10	26.30
4	15.00	0.70
5	----	41.70

Anexo 3.3.1 Distribución y localización de pozos en el valle de La Paz

Pozo	Ubicación (coor.geo. dec.)		Uso	Pozo	Ubicación (coor.geo. dec.)		Uso	Pozo	Ubicación (coor.geo. dec.)		Uso	Pozo	Ubicación (coor.geo. dec.)		Uso
	Lon	Lat			Lon	Lat			Lon	Lat			Lon	Lat	
								HF-4	110.3130556	24.12444444	5	XXII	110.3283333	24.01138889	1
122	110.3130556	24.12444444	2	219	110.3983333	24.0775	5	HF-5	110.3680556	24.02722222	5	XXIII	110.34	23.99944444	1
127	110.3102778	24.09027778	4	220	110.3838889	24.05222222	5	HF-6	110.3366667	24.09694444	5	XXIV	110.3491667	23.99277778	1
128	110.3127778	24.09027778	2	221	110.3758333	24.075	2	HF-7	110.3244444	24.10555556	5	XXV	110.3611111	23.98194444	1
129-B	110.3172222	24.09944444	2	222	110.3888889	24.08416667	5	HF-8	110.1769444	23.86444444	5	XXVI	110.3702778	23.97777778	1
134	110.3244444	24.10444444	2	225	110.3963889	24.08527778	5	HF-9	110.4177778	24.10805556	5	s/n	110.1669444	23.86444444	1
135-A	110.3244444	24.10555556	3	227	110.3986111	24.0925	5	HF-10B	110.3963889	24.08527778	5	s/n	110.2630556	23.92888889	1
135-R	110.3255556	24.10861111	2	228-A	110.4002778	24.08972222	5	HF-12	110.4066667	24.08555556	5	s/n	110.2566667	23.93	2
*136	110.3272222	24.09472222	2	229	110.3986111	24.08638889	5	HF-13	110.1522222	23.89444444	5	s/n	110.1769444	23.86444444	3
137	110.3305556	24.09083333	2	235	110.3838889	24.04111111	5	HF-14	110.3102778	24.09027778	5	s/n	110.3188889	23.89444444	3
138	110.3255556	24.09055556	2	236	110.3963889	24.07083333	5	HF-15	110.2977778	24.13083333	5	s/n	110.4202778	24.06305556	5
*139	110.3186111	24.08861111	2	240	110.37	24.07527778	5	HF-16	110.3030556	24.12138889	5	s/n	110.3836111	24.06722222	5
140	110.3305556	24.09083333	2	241	110.3725	24.07722222	2	HF-18	110.4077778	24.08972222	5	s/n	110.2413889	24.93694444	5
141	110.3333333	24.08583333	2	242	110.3763889	24.08555556	2	HF-21	110.4063889	24.08166667	5	s/n	110.3172222	23.84611111	5
142	110.1594444	24.08472222	2	243	110.3705556	24.08777778	2	HF-22	110.3888889	24.08416667	5	s/n	110.3094444	23.9275	5
143	110.3205556	24.08138889	2	248	110.3575	24.04472222	2	HF-23	110.4230556	24.11305556	5	s/n	110.2425	23.93666667	5
145-R	110.3333333	24.08083333	2	252	110.3797222	24.08944444	2	HF-29	110.3930556	24.09222222	5	s/n	110.2622222	23.92472222	5
146	110.3444444	24.08	2	256	110.4286111	24.12805556	6	HF-30	110.3836111	24.06722222	5	s/n	110.2613889	23.92361111	5
150	110.3313889	24.06222222	6	289	110.3930556	24.09222222	5	HF-31	110.3986111	24.0925	5	s/n	110.2311111	23.92805556	5
151	110.3338889	24.05555556	6	321	110.3977778	24.07666667	5	HF-32	110.4002778	24.08972222	5	s/n	110.2288889	23.93	5
152	110.3436111	24.05694444	2	326	110.4063889	24.08166667	5	HF-33	110.3986111	24.08638889	5	s/n	110.2283333	23.93111111	5
153	110.3472222	24.05888889	2	368	110.4180556	24.10194444	2	HF-35	110.3977778	24.07666667	5	s/n	110.2377778	23.92638889	5
164	110.3205556	24.06138889	2	378	110.4105556	24.07638889	5	HF-36	110.37	24.07527778	5	s/n	110.2386111	23.92583333	5
166	110.3269444	24.04916667	2	378-R	110.3725	24.05361111	2	HF-37	110.3688889	24.04388889	5	s/n	110.2597222	23.93277778	5
167-R	110.335	24.04916667	2	379	110.4166667	24.09972222	2	HF-38	110.4202778	24.06305556	5	s/n	110.2605556	23.93472222	5
168-R	110.3294444	24.03333333	1	380	110.3838889	24.04111111	2	HF-39	110.3288889	24.11222222	5	s/n	110.3152778	24.07777778	5
171-A	110.3505556	24.08861111	2	381-R	110.4138889	24.06944444	2	HF-40	110.4105556	24.07638889	5	s/n	110.3113889	24.07222222	5
*172	110.3558333	24.08944444	2	384-R	110.4188889	24.0825	2	HF-41	110.4280556	24.11527778	5	s/n	110.2622222	23.92611111	5
180	110.3366667	24.09694444	2	385	110.4066667	24.08555556	5	HF-41B	110.4222222	24.1125	5	s/n	110.2819444	23.92444444	5
181-R	110.3488889	24.07388889	2	385-A	110.3163889	23.87361111	2	II	110.3016667	24.14055556	1	s/n	110.4252778	24.13638889	6
182	110.3502778	24.09305556	2	391	110.3838889	24.05222222	2	IV	110.3072222	24.12305556	1	s/n	110.4266667	24.13666667	6
*191-R	110.3516667	24.09555556	2	392	110.3844444	24.07916667	2	VI	110.3044444	24.13083333	1	s/n	110.4255556	24.13722222	6
197-A	110.3513889	24.10222222	2	400	110.3897222	24.01611111	2	VII	110.2963889	24.13694444	1	s/n	110.4311111	24.13222222	6
203	110.3686111	24.07222222	6	403	110.37	24.03861111	2	VIII	110.3058333	24.07	1	s/n	110.3669444	24.08527778	6
204	110.3666667	24.07694444	6	405	110.4119444	24.06194444	2	IX	110.3113889	24.0625	1	s/n	110.3063889	24.12083333	6
205	110.3588889	24.05388889	2	406	110.4077778	24.08972222	5	X	110.315	24.05444444	1				
206	110.3572222	24.03472222	2	408	110.3983333	24.0775	2	XI	110.3194444	24.04694444	1				
207-A	110.3688889	24.04388889	5	409	110.3997222	24.02611111	2	XII	110.3075	24.08	1				
207-R	110.3652778	24.04388889	2	412	110.4177778	24.10805556	3	XIV	110.3022222	24.06138889	1				
208	110.3644444	24.03666667	2	415	110.3030556	24.12138889	5	XV	110.3	24.05166667	1				
209	110.3680556	24.02722222	2	416	110.2977778	24.13083333	4	XVI	110.3141667	24.04083333	1				
211	110.3711111	24.06777778	2	419	110.3288889	24.11222222	5	XVII	110.3280556	24.03	1				
214	110.3811111	24.06472222	5	422	110.3280556	23.07111111	2	XVIII	110.3463889	24.00861111	1				
215-R	110.3811111	24.06472222	2	HF-1	110.3758333	24.075	5	XIX	110.2994444	24.04305556	1				
216	110.3844444	24.07916667	5	HF-2	110.2566667	23.93	5	XX	110.3061111	24.02944444	1				
217-R	110.3963889	24.07083333	2	HF-3	110.3163889	23.87361111	5	XXI	110.3177778	24.02194444	1				

*sujetos a revisión según CNA
 Usos del agua:
 1=Agua potable (A.P.)
 2=Agrícola (Agric.)
 3=Doméstico (Dom.)
 4=Industrial (Ind.)
 5=Pecuario (Pec.)
 6=Servicios (Serv.)
 Datos capturados de CNA (1997)

Anexo 3.3.2 Red piezométrica (n. estático-NE- y elev.n.e.-ENE-) de pozos en el valle de La Paz, de1990 A 2004.

Pozo	Lat_decN27	Lon_decN27	Prof_T_M	Usos	Elev_broc	NE_1990	NE_1995	NE_1996	NE_1997	NE_1999	NE_2000	NE_2001	NE_2002
128	24.089719	-110.312672	52.00	AGRICOLA	31.10	37.65		40.89		40.34	41.09		
129-B	24.098483	-110.316931	50.00	AGRICOLA	28.00	29.14	29.53	30.14	30.00	29.77	29.93	31.65	30.00
164	24.061136	-110.320000	130.00	AGRICOLA	49.52		57.60	59.57	60.50	59.71	60.26		42.20
166	24.047700	-110.326550	130.00	AGRICOLA	50.46	57.91	37.12	59.98	60.00	58.85	58.91	58.86	59.20
167-R	24.048900	-110.334369	100.00	AGRICOLA	36.88	42.68	38.12	46.14	46.90	46.25	57.39		47.32
135-R	24.107569	-110.032506	50.00	AGRICOLA	16.36	16.46	16.52	18.91	17.06	16.89	17.12		16.63
134	24.104028	-110.323978	33.00	AGRICOLA	16.46	20.17	20.50	20.96	21.10	20.78	21.18		20.57
136	24.100175	-110.325494	54.00	AGRICOLA	18.36	21.85			23.02	22.71	23.18		
137	24.090833	-110.330555	64.00	AGRICOLA	22.75	27.71	28.48	28.64	29.00	28.64			
138	24.089228	-110.324194	200.00	AGRICOLA	28.89	33.92	34.60	35.03	35.56	34.76	35.27		34.90
139	24.087139	-110.318317	64.00	AGRICOLA	33.66	38.98	39.55	39.83	39.90				
140	24.088483	-110.331106	60.00	AGRICOLA	22.50	27.60	28.70	28.68	28.80	28.74	29.02		28.78
142	24.084519	-110.325344	N.D.	AGRICOLA	29.83	35.30	36.40	36.66	36.87	36.49	36.95		36.65
143	24.080906	-110.320825	N.D.	AGRICOLA	36.27	41.77	42.48	42.88	42.86	39.63	43.39		43.00
141	24.085097	-110.332044	60.00	AGRICOLA	21.77	26.93	29.34	29.65		28.28	28.69		28.73
145-R	24.080753	-110.333206	60.00	AGRICOLA	21.59	26.58	27.49	28.12	28.21	28.02	28.50		27.18
422	24.070694	-110.327419	90.00	AGRICOLA	38.03	39.35		40.80	40.84	40.73	41.68		
151	24.055000	-110.333056	N.D.	AGRICOLA	39.73	14.42	35.04	44.19	44.44	44.23	45.00		45.30
152	24.057222	-110.343333	70.00	AGRICOLA	23.47	28.22	28.86	29.77		30.97	31.13		
153	24.058889	-110.347500	50.00	AGRICOLA	21.09	25.43	26.40	27.14			28.18	28.00	
146	24.081944	-110.343889	50.00	AGRICOLA	13.88	18.22			19.80	20.27	20.61		20.36
181-R	24.073611	-110.348889	50.00	AGRICOLA	14.58	18.58	19.48	20.20	20.15	20.51	20.88	21.08	
172	24.078611	-110.354444	45.00	AGRICOLA	11.03	15.14	16.20		16.86	17.36	17.73		15.98
171-A	24.088333	-110.350833	50.00	AGRICOLA	9.49	13.58	14.58		15.26		15.67		15.13
182	24.093611	-110.350556	28.00	AGRICOLA	8.01	11.38	12.13	12.62	12.73	12.78	12.98		12.90
180	24.097222	-110.336389	N.D.	AGRICOLA	13.18	17.05	17.80	18.10			18.80		
191-R	24.096389	-110.352500	N.D.	AGRICOLA	6.69	9.70		10.80	10.92	11.07	11.48		11.22
197-A	24.098611	-110.352778	24.00	AGRICOLA	5.96	9.15	9.80	10.15	10.22		10.55		10.24
243	24.087222	-110.370556	35.00	AGRICOLA	9.98	8.70	14.22	13.12		13.85	14.07	14.36	13.74
242-R	24.085278	-110.373889	30.00	AGRICOLA	9.90	13.04	13.49	13.20	13.67	13.81	13.82		13.65
241	24.076944	-110.372083	45.00	AGRICOLA	12.84	15.73	16.09	11.52	16.79	17.10	17.23		
211	24.068333	-110.370278	N.D.	AGRICOLA	16.77	19.47	20.38	21.14	21.37	21.60	38.75		22.32
378-R	24.053611	-110.372778	80.00	AGRICOLA	25.44	25.80	26.37	27.22	27.36	27.78	28.06	28.29	35.55
205	24.053611	-110.359167	70.00	AGRICOLA	23.50	26.46	27.56			29.20	29.45		30.00
248-R	24.044722	-110.357500	60.00	AGRICOLA	27.74	28.71				32.68	33.80		35.89
207-R	24.043889	-110.368889	60.00	AGRICOLA	27.29	30.00	31.15	32.07	32.20	32.59	32.88		33.40
208	24.036389	-110.364167	N.D.	AGRICOLA	30.86			34.52	35.58	35.73	36.18	36.41	36.96
403	24.038333	-110.370000	60.00	AGRICOLA	29.63	32.47	33.46	34.54		35.20	35.42		36.27
206	24.034444	-110.356667	92.00	AGRICOLA	32.88		36.64				48.46		38.91
209	24.027222	-110.368611	N.D.	AGRICOLA	36.38		40.14	41.56					
392	24.045556	-110.383889	33.00	AGRICOLA	32.72	35.06	35.06	37.15	37.07	37.57	37.85		
380-R	24.040833	-110.383889	90.00	AGRICOLA	35.21	37.62	38.46				40.40		41.31
391	24.053056	-110.383611	75.00	AGRICOLA	26.20	30.00	29.32	30.18		31.10	35.62		
221	24.076028	-110.377472	70.00	AGRICOLA	11.76	19.57		15.40	15.54	16.05	16.16		
252	24.089167	-110.380556	22.00	AGRICOLA	6.79	16.10	9.92	9.85	9.85		10.16		
408	24.077778	-110.398889	33.00	AGRICOLA	15.70	11.80	11.45	11.20	11.75	11.60	13.08		12.77

Anexo 3.3.2 Red piezométrica de pozos en el valle de La Paz, de1990 A 2004. Continuación.

Pozo	Lat_decN27	Lon_decN27	Prof_T_M	Usos	Elev_broc	NE_1990	NE_1995	NE_1996	NE_1997	NE_1999	NE_2000	NE_2001	NE_2002
386	24.069167	-110.405556	N.D.	PECUARIO	28.79	27.05	27.14	38.70	27.57		28.59		
326	24.082222	-110.407778	38.00	PECUARIO	20.00	19.90	18.77	19.24	19.14	19.21	20.28		16.42
385	24.085556	-110.408056	26.00	PECUARIO	14.27	15.32	14.80	15.32	15.37	15.30	16.08		20.36
406	24.089444	-110.408889	35.00	PECUARIO	11.94	13.43	12.57	13.28	13.18	13.31	13.82	14.74	14.22
368	24.102222	-110.418333	18.00	AGRICOLA	9.98	11.31	11.38	11.25	11.30	11.40	11.51		
379	24.099167	-110.416944	30.00	AGRICOLA	14.57	12.94	12.68	12.85	12.80	12.85	13.27		13.49
384	24.082500	-110.419167	60.00	AGRICOLA	32.75	18.95		34.70	34.51	34.81	35.22		35.46
381-R	24.069444	-110.413889	60.00	AGRICOLA	36.53	39.33		39.33	38.97	39.41	39.95		40.49
405	24.063056	-110.411111	100.00	AGRICOLA	35.24	38.47	38.00	38.90	38.68	39.58	40.20		40.02
409	24.018611	-110.400278	90.00	AGRICOLA	64.70	64.00	67.57	77.07	68.21		69.40	68.84	
217-R	24.070278	-110.397500	60.00	AGRICOLA	20.00	30.00	18.20	18.81	18.39	18.95	19.53		
400	24.015556	-110.390278	90.00	AGRICOLA	54.43						40.45		60.22
228-A	24.090833	-110.400278	N.D.	PECUARIO	4.81			6.35	6.72	6.49	6.90		7.52
419	24.112417	-110.328147	60.00	PECUARIO	13.30								13.71
415	24.108333	-110.291667	80.00	INDUSTRIAL	82.92						37.22		
416	24.122500	-110.299167	100.00	INDUSTRIAL	60.00						43.47		39.77
122-R	24.086111	-110.030556	N.D.	AGRICOLA	26.37						14.96		14.91
407	24.075000	-110.398611	N.D.	AGRICOLA	18.53						16.07		16.12
S/N	24.091944	-110.402222	N.D.	AGRICOLA	8.26						7.38		
168-B	24.033611	-110.328611	100.00	POTABLE	54.51							66.64	

valores dudosos

Anexo 3.3.2 Continución

NE_2003	NE_2004	ENE_1990	ENE_1995	ENE_1996	ENE_1997	ENE_1999	ENE_2000	ENE_2001	ENE_2002	ENE_2003	ENE_2004
	40.04	-6.55		-9.79		-9.24	-9.99				-8.94
29.53	29.15	-1.14	-1.53	-2.14	-2.00	-1.77	-1.93	-3.65	-2.00	-1.53	-1.15
60.59	64.72		-8.08	-10.05	-10.98	-10.19	-10.74		7.32	-11.07	-15.20
59.25	64.10	-7.45		-9.52	-9.54	-8.39		-8.45	-8.40	-8.79	-13.64
47.62	47.38	-5.80					-20.51				-10.50
16.56	15.55	-0.10					-0.76				0.81
20.21	19.63	-3.71	-4.04	-4.50	-4.64	-4.32	-4.72		-4.11	-3.75	-3.17
		-3.49			-4.66	-4.35	-4.82				
		-4.96	-5.73	-5.89	-6.25	-5.89					
35.49		-5.03	-5.71	-6.14	-6.67	-5.87	-6.38		-6.01	-6.60	
		-5.32	-5.89	-6.17	-6.24						
	28.18	-5.10	-6.20	-6.18	-6.30	-6.24	-6.52		-6.28		-5.68
		-5.47	-6.57	-6.83	-7.04	-6.66	-7.12		-6.82		
		-5.50	-6.21	-6.61	-6.59	-3.36	-7.12		-6.73		
36.92	28.12	-5.16	-7.57	-7.88		-6.51	-6.92		-6.96	-15.15	-6.35
	29.50	-4.99	-5.90	-6.53	-6.62	-6.43	-6.91		-5.59		-7.91
		-1.32					-3.65				
45.57	44.97						-5.27				-5.24
		-4.75	-5.39	-6.30		-7.50	-7.66				
	28.20	-4.34	-5.31	-6.05			-7.09	-6.91			-7.11
	19.49	-4.34			-5.92	-6.39	-6.73		-6.48		-5.61
	20.40	-4.00	-4.90	-5.62	-5.57	-5.93	-6.30	-6.50			-5.82
	16.71	-4.11	-5.17		-5.83	-6.33	-6.70		-4.95		-5.68
	14.90	-4.09	-5.09	9.49	-5.77	9.49	-6.18		-5.64		-5.41
12.57	12.23	-3.37	-4.12	-4.61	-4.72	-4.77	-4.97		-4.89	-4.56	-4.22
		-3.87	-4.62	-4.92			-5.62				
11.03	10.56	-3.01	6.69	-4.11	-4.23	-4.38	-4.79		-4.53	-4.34	-3.87
10.30	9.86	-3.19	-3.84	-4.19	-4.26	5.96	-4.59		-4.28	-4.34	-3.90
14.00	12.13	1.28	-4.24	-3.14	9.98	-3.87	-4.09	-4.38	-3.76	-3.87	-4.02
13.64	13.11	-3.14	-3.59	-3.30	-3.77	-3.91	-3.92		-3.75	-3.74	-3.21
13.96	17.03	-2.89	-3.25	1.32	-3.95	-4.26	-4.39			-1.12	-4.19
22.66	22.79	-2.70	-3.61	-4.37	-4.60	-4.83	-21.98		-5.55	-5.89	-6.02
28.68	28.12	-0.36	-0.93	-1.78	-1.92	-2.34	-2.62	-2.85	-10.11	-3.24	-2.68
29.80	29.64	-2.96	-4.06			-5.70	-5.95		-6.50	-6.30	-6.14
	40.11	-0.97				-4.94	-6.06		-8.15		-12.37
33.33	38.26	-2.71	-3.86	-4.78	-4.91	-5.30	-5.59		-6.11	-6.04	-10.97
36.98	37.16		-3.66	-4.72	-4.87	-5.32	-5.55		-6.10	-6.12	-6.30
36.37		-2.84	-3.83	-4.91		-5.57	-5.79		-6.64	-6.74	
							-15.58				
42.63	42.78		-3.76	-5.18						-6.25	-6.40
	41.71	-2.34	-2.34	-4.43	-4.35	-4.85	-5.13				-8.99
	40.91	-2.41	-3.25				-5.19		-6.10		-5.70
		-3.80	-3.12	-3.98		-4.90	-9.42				
12.98	16.08	-7.81		-3.64	-3.78	-4.29	-4.40			-1.22	-4.32
	9.83	-9.31	-3.13	-3.06	-3.06		-3.37				-3.04
12.49	13.70	3.90					2.62				2.00

Anexo 3.3.3 Pozos con datos de STD (mg/l), de 1984 A 2004, en el valle de La Paz.													
No_Pozo	Lon_dec	Lat_dec	Uso	Prof. total (m)	1984 (mayo)	1985 (mzo)	1987 (mzo)	1996 (mzo)	1998 (mzo)	2000 (?)	2001 (mzo)	2003 (feb)	2004 (mzo)
127	-110.3102778	24.09027778	4		570	780							
134	-110.3244444	24.10444444	2	33	2296	2568		2260	2099.87		2206.72	2265.6	
145-R	-110.3333333	24.08083333	2	60	878	1379		2914	2964.26		2763.52	2899.2	2867.2
152	-110.3436111	24.05694444	2	70					613.29		1022.72	766.72	748.8
197-A	-110.3513889	24.10222222	2	24					1175.48				807.68
207-A	-110.3688889	24.04388889	5	45				1308	1124.37	1414.46		700.16	
236	-110.3963889	24.07083333	5	15			2430						
243	-110.3705556	24.08777778	2	35				3092	3475.33		3353.6	3475.2	
368	-110.4180556	24.10194444	2	18			960		2453.18		2748.8	2406.4	2406.4
378-R	-110.3725	24.05361111	2	80			1215						
II	-110.3016667	24.14055556	1	79			560	1252	1175.48	1054.53	692.48	535.04	453.12
IV	-110.3072222	24.12305556	1	57			575	672	633.73	710.52	756.48	648.96	609.28
VI	-110.3044444	24.13083333	1	75			960						
VII	-110.2963889	24.13694444	1	80			384						
VIII	-110.3058333	24.07	1	90				725	592.84	684.2	670.72	707.84	726.4
IX	-110.3113889	24.0625	1	138			640						
X	-110.315	24.05444444	1	150			575						
XI	-110.3194444	24.04694444	1	150			435						
XII	-110.3075	24.08	1	121			832	791					
XIV	-110.3022222	24.06138889	1	156			770	672	572.4	651.44	686.08	685.44	711.04
XV	-110.3	24.05166667	1	150				672	613.29	585.52	604.16	611.84	
XVI	-110.3141667	24.04083333	1	145			550		408.86	438.59			
XVII	-110.3280556	24.03	1	156			565	470			392.32	451.84	453.76
XVIII	-110.3463889	24.00861111	1	156			450						
XIX	-110.2994444	24.04305556	1	201			645						
XX	-110.3061111	24.02944444	1	201			450		500.85	565.79	528.64	564.48	
XXI	-110.3177778	24.02194444	1	201			460						
XXII	-110.3283333	24.01138889	1	201			410						

Usos del pozo:

1=Agua potable (A.P.)

2=Agrícola (Agric.)

3=Doméstico (Dom.)

4=Industrial (Ind.)

5=Pecuario (Pec.)

Anexo 3.3.4 Localización y nombres de estaciones climatológicas				
Localidad	Lat_dec	Lon_dec	MSNMM	Encargado
ALFREDO V. BONFIL	24.16527778	-110.5666667	78	ESPINOZA HERNANDEZ ELISEO
EL CARRIZAL	23.75333333	-110.2677778	180	ASTORGA JORDAN JUAN
EL TRIUNFO	23.80416667	-110.1066667	432	SANCHEZ FAUSTO RAMON
EL ROSARIO	23.86166667	-110.6541667	45	CARBALLO LUCERO PABLO
LOS DIVISADEROS	23.89250000	-110.1416667	490	GERALDO GERALDO MARIA
SAN PEDRO	23.92638889	-110.2644444	190	HIGUERA HIGUERA VICTORIA
LA PAZ	24.13361111	-110.3352778	16	VALLE A. SILVIA ESPERANZA
EL CAJONCITO	24.15027778	-110.2116667	180	GALINDO MENDOZA ENRIQUE
LOS ROBLES	24.03472222	-110.1247222	665	AVILES VERDUGO ROSA MARIA
LAGUNILLAS	24.01388889	-110.3555556	40	SANCHEZ HERNANDEZ FRANCISCO
EL QUEMADO (PLUV.)	24.06333333	-110.2011111	390	GERALDO GERALDO RAMON
LA HIGUERILLA (PLUV)	23.86944444	-110.0708333	540	GERALDO MARTINEZ JUAN PABLO

Comisión Nacional del Agua Residencia Técnica Precipitación Total Mensual												Estaciones Climatológicas (Precipitación)	
Anexo 3.3.5													en mm
ESTACION EL CAJONCITO													
ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PT_Anual
1980	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.7	1.6	32.2	10.5	0.0	1.0	51.0
1981	50.2	0.0	18.0	0.0	0.0	0.0	34.6	31.6	55.2	196.0	0.0	0.0	385.6
1982	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	42.2	22.1	299.3	0.0	35.5	47.5	446.6
1983	22.7	10.2	26.1	0.0	0.0	0.0	16.9	137.4	49.0	17.3	1.8	18.0	299.4
1984	41.5	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5	26.0	104.6	38.0	16.6	0.0	68.2	300.4
1985	18.9	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	29.2	38.2	32.8	15.2	5.5	0.0	141.3
1986	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	52.3	70.5	15.0	62.8	0.0	23.0	228.6
1987	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	69.9	50.3	90.6	23.0	0.0	0.0	233.8
1988	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.1	1.0	0.0	0.0	0.0	11.1
1989	73.9	24.9	0.0	0.0	0.0	0.0	12.6	81.7	19.5	5.0	1.0	45.7	264.3
1990	0.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	82.8	33.7	39.0	73.5	37.0	59.4	333.4
1991	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	47.7	57.7	29.3	39.3	19.0	52.6	250.5
1992	0.0	26.0	12.5	0.0	0.0	0.0	8.8	56.7	20.2	1.0	1.0	0.0	126.2
1993	50.0	8.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	14.0	67.5	0.0	9.5	26.3	176.3
1994	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	118.5	15.0	5.0	5.3	13.1	157.9
1995	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.0	50.0	41.0	0.0	0.0	19.7	153.7
1996	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	171.0	107.0	0.0	8.0	0.0	287.0
1997	46.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.0	6.0	142.2	89.5	0.0	9.0	17.0	326.7
1998	0.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	32.0	32.0	98.3	0.0	8.5	8.5	183.3
1999	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	18.5	10.0	27.5	27.2	0.0	8.8	12.8	105.7
2000	0.0	0.0	3.5	0.0	0.0	1.0	21.0	25.5	11.0	13.0	0.0	0.0	75.0
2001	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	74.5	24.0	353.0	24.5	0.0	0.0	476.0
2002	3.0	17.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	79.0	0.0	0.0	0.0	119.0
2003	8.0	23.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	172.6	294.0	15.0	0.0	0.0	532.6
2004	5.5	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	79.0	28.3	52.5	19.5	0.0	2.5	207.3
							217.6	246.3	165.1	164.3			234.9
ESTACION LAGUNILLAS													prec_prom
ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1980	0.0	3.5	1.5	0.0	0.0	4.0	0.0	72.5	69.5	31.5	0.0	3.5	186.0
1981	53.0	2.0	7.0	0.0	0.0	0.0	15.0	37.5	27.0	31.5	0.0	0.0	173.0
1982	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.5	48.3	31.5	21.5	46.0	163.8
1983	26.5	3.0	29.0	0.0	0.0	0.0	132.0	116.0	140.0	2.0	5.0	27.0	480.5
1984	13.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	94.5	288.0	82.0	8.0	1.0	69.0	555.8
1985	22.0	0.0	0.0	0.0	0.0	35.0	44.0	90.0	70.0	0.0	25.0	0.0	286.0
1986	0.0	3.0	0.0	7.0	0.0	0.2	69.3	189.0	47.0	22.0	13.0	30.0	380.5
1987	11.0	0.0	0.0	3.0	2.0	0.0	56.6	139.5	58.5	42.0	6.0	15.0	333.6
1988	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	164.3	52.8	32.0	9.5	22.5	281.0
2002	5.5	0.0	0.0	1.5	1.0	0.0	28.3	151.9	27.0	0.0	30.0	20.0	265.2
2003	6.0	22.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.7	285.0	141.2	0.0	0.0	0.0	459.9
2004	55.0	0.0	4.4	0.0	0.0	0.0	0.0	34.5	59.0	33.0	0.0	0.0	185.9
													312.6
LOS DIVISADEROS													
ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1980	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	4.0	0.0	95.9	102.4	35.7	2.0	1.0	242.0
1981	49.2	2.0	11.4	0.0	0.0	0.0	84.2	126.0	142.0	152.0	0.0	0.0	566.8
1982	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	34.0	313.8	0.0	33.0	57.0	458.8
1983	29.0	15.3	67.4	0.0	0.0	0.0	142.3	252.0	211.7	2.0	3.3	41.0	764.0
1984	77.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.4	81.2	127.3	94.3	8.3	0.0	53.3	460.8
1985	18.3	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	67.4	120.5	124.7	23.6	7.4	0.0	362.9
1986	0.0	2.0	0.0	14.2	0.0	0.0	139.0	126.1	66.0	125.2	0.0	24.0	496.5
1987	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	110.5	84.7	192.3	94.4	7.3	7.2	499.4
1988	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.0	32.2	48.6	33.0	0.0	2.0	126.8
1989	64.3	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.3	169.2	44.3	4.0	3.0	35.3	368.4
1990	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	197.6	70.6	82.8	66.5	23.3	117.2	563.0
1991	4.0	9.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.3	190.8	26.0	30.3	34.8	335.5
1992	63.2	16.0	7.6	0.0	0.0	0.0	47.6	145.3	90.0	27.0	6.0	27.0	429.7
1993	46.0	3.0	0.0	0.0	0.0	1.0	79.6	87.6	197.6	6.1	43.2	4.0	468.1
1994	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	93.0	49.9	66.3	58.6	52.3	322.1
1995	8.3	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	68.6	125.1	242.3	0.0	1.0	13.0	459.3
1996	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.0	268.1	204.0	0.0	0.0	0.0	487.1
1997	52.0	0.0	0.0	1.2	0.0	8.0	143.0	126.0	168.0	14.0	51.0	0.0	563.2
1998	0.0	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	143.0	93.0	254.0	37.0	0.0	0.0	533.0
1999	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	7.0	110.0	49.0	0.0	0.0	0.0	176.0
2000	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	3.0	11.2	162.0	24.2	58.5	10.0	12.0	283.9
2001	3.0	1.0	2.0	0.0	2.0	0.0	9.0	16.0	393.0	7.0	2.0	0.0	435.0
2002	0.0	15.0	0.0	0.0	0.0	0.0	80.0	48.0	253.0	0.0	4.0	0.0	400.0
2003	10.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	15.0	199.0	207.0	4.0	0.0	0.0	436.5
2004	48.0	12.0	5.0	0.0	0.0	0.0	44.0	204.0	120.0	17.5	0.5	0.0	451.0
													427.6
SAN PEDRO													
ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1980	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	6.5	8.0	51.1	101.3	36.5	0.0	4.0	208.0
1981	132.2	21.0	17.8	0.0	1.0	4.5	46.0	171.4	169.0	0.0	0.0	0.0	562.9

1982	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.2	47.0	266.2	0.0	34.2	56.0	457.6
1983	27.7	8.2	20.9	0.0	0.0	0.0	169.1	204.5	89.5	1.7	2.0	23.9	547.5
1984	43.3	0.0	0.0	0.0	0.0	30.2	107.7	191.6	99.3	7.1	0.0	85.2	564.4
1985	15.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	117.2	82.8	134.7	2.8	17.9	0.0	371.1
1986	0.0	0.5	0.0	6.2	0.0	0.0	37.9	149.7	24.5	9.6	0.0	23.8	252.2
1987	0.4	0.0	0.0	3.5	0.0	0.0	65.1	23.9	119.8	39.2	5.3	0.0	257.2
1988	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.7	51.9	59.9	18.6	0.0	61.5	196.6
1989	69.8	11.3	2.3	0.0	0.0	0.0	21.5	107.2	105.3	8.2	1.9	45.2	372.7
1990	0.8	2.3	1.4	0.0	0.0	0.0	59.7	114.4	73.1	66.0	27.5	74.6	419.8
1991	0.0	3.9	7.4	0.0	0.0	0.0	0.0	82.8	234.7	4.9	28.9	37.5	400.1
1992	40.2	21.4	0.0	0.0	0.0	0.0	128.9	65.6	130.6	58.0	2.0	22.9	469.6
1993	40.9	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.6	26.1	236.1	4.0	11.7	0.0	329.4
1994	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	85.1	78.6	33.2	78.1	61.2	356.2
1995	6.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	9.1	75.3	204.1	0.0	0.0	8.0	303.0
1996	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	34.3	90.1	82.6	3.0	15.7	3.8	229.5
1997	51.8	0.0	0.0	3.2	0.0	0.0	19.9	75.6	119.2	32.0	49.0	2.5	353.2
1998	0.0	5.7	0.0	0.0	0.0	0.0	157.3	125.0	182.5	5.2	0.0	0.0	475.7
1999	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.5	28.4	64.0	42.8	0.0	0.0	0.0	155.7
2000	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	1.2	25.5	57.9	46.3	133.4	0.0	1.5	268.8
2001	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	41.2	37.4	351.8	24.7	0.0	0.0	456.1
2002	1.5	11.5	0.0	0.0	0.0	0.0	40.0	0.0	204.8	0.0	20.0	0.5	278.3
2003	8.0	20.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	119.5	264.4	0.0	0.0	0.0	412.2
2004	93.5	6.5	4.5	0.0	0.0	0.0	11.5	88.4	95.5	55.5	0.0	2.0	357.4
													362.2
LA PAZ													
ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1980	0.0	1.1	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	19.5	35.5	3.0	0.0	1.5	62.1
1981	85.2	0.5	8.5	0.0	0.0	0.0	20.1	29.5	19.0	57.0	0.0	0.0	219.8
1982	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	85.7	2.7	168.7	0.0	51.0	49.0	357.3
1983	14.2	6.8	20.7	0.0	0.0	0.0	85.5	82.2	42.0	0.5	3.6	19.0	274.5
1984	38.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	46.3	216.8	126.4	10.0	0.0	53.2	494.2
1985	12.9	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	5.9	10.3	16.5	0.8	9.2	0.0	56.2
1986	9.6	0.7	0.0	11.7	0.0	0.0	9.1	114.2	18.5	23.0	0.0	23.5	210.3
1987	0.6	0.0	0.0	3.3	3.5	0.0	55.5	9.5	39.7	0.0	3.0	0.0	115.1
1988	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	29.5	0.0	0.0	0.0	35.0
1989	73.9	21.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.0	65.8	16.5	0.0	0.0	56.0	242.2
1990	0.0	5.0	1.0	0.0	0.0	0.0	55.5	34.5	20.7	1.5	41.1	59.5	218.8
1991	0.4	6.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.5	119.5	4.5	22.0	43.4	214.8
1992	44.8	9.0	12.5	0.0	0.0	0.0	8.5	28.0	19.5	0.0	0.0	12.0	134.3
1993	59.2	13.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	16.1	54.2	14.0	27.3	5.0	189.6
1994	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	43.1	27.5	0.0	57.0	66.9	197.7
1995	5.8	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	91.0	0.0	2.4	2.0	104.2
1996	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	0.0	104.0	53.0	0.0	5.5	0.0	168.5
1997	16.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	86.0	55.1	0.0	5.4	11.5	174.0
1998	0.8	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	4.1	140.3	107.2	0.0	1.4	0.0	257.7
1999	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	4.7	3.5	22.1	19.8	0.0	0.0	0.0	50.7
2000	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	2.7	0.8	24.2	29.2	19.5	3.0	2.6	83.0
2001	4.7	0.0	0.2	0.0	1.5	0.0	71.4	21.4	220.0	0.0	0.0	0.0	319.2
2002	3.1	12.5	0.0	0.0	0.0	0.0	13.3	4.6	78.1	0.0	11.4	0.8	123.8
2003	5.0	15.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	63.8	208.3	9.7	1.7	0.0	304.0
2004	54.9	1.1	4.9	0.0	0.0	0.0	25.0	24.5	32.0	14.6	0.0	0.0	157.0
													190.6
EL CARRIZAL													
ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1980	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.0	2.0	0.0	49.5	21.7	0.0	0.0	82.2
1981	60.3	1.0	11.0	0.0	3.5	0.0	25.0	143.0	43.3	49.0	0.0	0.0	336.1
1982	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.0	94.0	141.5	0.0	43.6	69.2	387.3
1983	12.3	18.3	47.1	0.0	0.0	0.0	57.6	212.9	73.5	2.0	2.6	45.0	471.3
1984	58.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.4	65.7	177.4	109.7	8.6	0.0	66.2	494.0
1985	16.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.5	18.8	44.6	1.5	17.8	0.0	112.6
1986	0.0	0.1	0.0	7.1	0.2	0.0	25.0	42.0	3.0	6.0	0.0	22.8	106.2
1987	0.0	0.0	0.0	21.5	0.0	0.0	93.9	8.1	114.3	3.0	8.3	22.5	271.6
1988	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	52.3	19.0	0.0	0.0	0.0	71.3
1989	53.8	11.2	0.0	0.0	0.0	0.0	6.5	88.1	10.5	7.2	0.6	31.2	209.1
1990	0.5	3.5	0.8	0.0	0.0	0.0	55.0	79.4	141.4	3.6	27.5	102.0	413.7
1991	2.0	9.0	12.5	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	76.9	5.4	14.1	66.6	188.0
1992	71.1	30.0	6.5	0.0	0.0	0.0	31.5	88.5	50.0	4.5	1.0	56.5	339.6
1993	39.0	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	80.0	127.0	0.0	0.0	0.0	249.7
1994	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	66.5	2.0	0.0	49.3	56.5	174.3
1995	7.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	98.7	0.0	1.0	13.2	126.1
1996	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	223.0	151.0	0.0	3.5	0.0	377.5
1997	38.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30.5	94.0	152.5	0.0	51.0	5.0	371.5
1998	0.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	43.0	94.0	165.0	0.0	0.0	0.0	312.0
1999	19.3	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	36.8	94.0	158.8	0.0	0.0	0.0	313.8
2000	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.5	3.3	46.8	110.0	109.8	4.3	0.9	277.6
2001	0.0	0.0	0.9	0.0	1.0	0.0	14.0	18.0	381.2	0.0	0.0	0.0	415.1
2002	1.0	11.0	0.0	0.0	0.0	0.0	56.5	2.5	30.5	0.0	0.0	0.0	101.5
2003	8.5	19.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.0	205.0	24.0	0.0	0.0	275.3
2004	48.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	37.5	56.3	6.0	0.0	0.0	158.8
													265.4
LOS ROBLES													
ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	

1980	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.5	33.6	98.2	23.0	0.0	2.0	174.3
1981	62.2	0.0	16.0	0.0	0.0	0.0	10.6	65.2	82.2	144.0	0.0	0.0	380.2
1982	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.7	38.5	430.9	0.0	30.0	61.1	578.2
1983	16.4	11.8	41.0	0.0	0.0	0.0	30.2	167.3	87.2	61.7	8.0	20.0	443.6
1984	46.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.5	12.7	223.8	73.8	17.0	0.0	465.8
1985	21.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	74.7	10.6	75.0	0.0	18.3	0.0	200.1
1986	0.0	1.5	0.0	9.5	0.0	0.0	37.3	121.3	107.5	120.7	0.0	26.2	424.0
1987	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	56.3	44.0	75.0	26.4	2.5	4.6	209.8
1988	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.8	14.0	92.2	16.0	0.0	11.0	144.0
1989	55.5	19.8	2.3	0.0	0.0	0.0	17.2	118.3	34.5	10.6	4.0	56.7	318.9
1990	1.3	4.9	2.5	0.0	0.0	0.0	198.1	56.3	67.3	113.4	32.3	85.4	561.5
1991	2.0	16.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	56.5	130.8	8.9	22.6	45.9	283.8
1992	49.0	20.2	11.0	1.0	0.0	0.0	3.4	15.5	15.7	0.0	0.0	4.6	120.4
1993	50.6	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	35.0	53.3	102.6	0.8	104.5	0.5	352.3
1994	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	2.0	60.0	104.5	45.0	84.0	141.0	437.0
1995	6.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	18.5	56.7	103.6	22.9	2.0	10.0	220.6
1996	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	1.0	315.6	169.5	0.0	11.5	0.0	502.6
1997	53.5	0.0	1.5	5.5	0.0	0.0	129.5	69.5	120.0	2.5	86.1	16.1	484.2
1998	0.0	13.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30.2	71.6	133.0	3.0	0.0	0.0	250.8
1999	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	60.5	77.0	0.0	0.0	0.0	137.5
2000	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	5.5	146.5	35.0	40.5	4.5	2.5	237.0
2001	1.0	0.0	0.0	0.0	4.5	0.0	43.0	103.5	474.5	6.5	0.0	0.0	633.0
2002	0.0	7.0	0.0	0.0	8.0	0.0	13.5	30.5	187.0	0.0	2.0	1.5	249.5
2003	10.5	20.5	0.0	0.0	6.0	0.0	28.3	244.6	304.0	0.0	0.0	0.0	613.9
2004	95.5	0.0	11.5	0.0	0.0	0.0	63.0	52.0	53.0	23.0	0.0	5.5	303.5
													349.1
ALFREDO V. BONFIL													
ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1980	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	20.0	0.0	0.0	25.0
1981	38.0	2.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.0	48.0	0.0	0.0	116.0
1982	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	7.0	58.0	0.0	33.0	32.0	132.0
1983	6.0	0.0	22.0	0.0	0.0	0.0	108.0	255.0	28.0	0.0	0.0	5.0	424.0
1984	22.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	35.0	181.0	33.0	10.0	0.0	29.0	310.0
1985	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	20.0	0.0	0.0	2.0	0.0	49.0
1986	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	46.0	20.0	7.0	4.0	0.0	10.0	87.0
1987	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	42.0	11.0	28.0	1.0	3.0	0.0	88.0
1988	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1989	56.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	68.0	22.0	0.0	0.0	17.0	176.0
1990	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	32.0	27.0	106.0	37.0	27.0	59.0	290.0
1991	1.5	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	58.0	0.0	16.0	50.0	131.5
1992	81.2	6.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	24.0	0.0	0.0	10.0	130.2
1993	45.0	19.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	34.0	7.0	0.0	20.0	0.0	125.0
1994	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28.0	9.0	3.0	13.0	77.0	130.0
1995	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	31.0	68.0	0.0	0.0	2.0	101.0
1996	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	78.0	148.0	0.0	0.0	0.0	226.0
1997	0.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	205.0	55.0	0.0	5.0	11.0	284.0
1998	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28.0	100.0	75.0	0.0	1.0	0.0	204.0
1999	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	0.0	152.5	22.0	0.0	0.0	0.0	184.5
2000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	10.0	20.0	0.0	3.0	36.0
2001	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	2.0	0.0	16.0	0.0	0.0	0.0	19.0
2002	0.0	19.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	36.0	0.0	3.0	1.0	59.0
2003	4.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	74.0	100.0	5.0	0.0	0.0	193.0
2004	52.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	68.0	38.0	0.0	0.5	160.5
													147.2
EL QUEMADO (PLUVIOMETRO)													
ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
2000	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.0	10.0	0.0	15.0	0.0	0.0	52.0
2001	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	0.0	16.0	12.6	431.6	20.7	0.0	1.2	484.2
2002	3.1	17.5	0.0	0.0	0.0	0.0	28.0	42.6	161.5	5.5	1.0	0.0	259.2
2003	8.0	40.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	223.0	124.8	0.0	0.0	0.0	396.3
2004	38.0	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	47.5	90.2	40.6	17.0	0.0	0.0	240.8
													286.5
LA HIGUERILLA (PLUVIOMETRO)													
ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
2000	2.3	0.0	0.0	0.0	10.0	0.0	3.5	12.5	0.0	20.0	0.0	0.0	48.3
2001	2.1	0.0	0.0	0.0	8.0	0.0	0.0	12.5	0.0	20.0	0.0	0.0	42.6
2002	1.5	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	12.5	0.0	20.0	0.0	0.0	47.5
2003	2.0	13.0	0.0	0.0	0.0	11.0	48.9	329.0	270.5	14.1	0.0	0.0	688.5
2004	61.5	6.5	7.6	0.0	0.0	0.0	124.2	199.5	36.3	14.6	0.0	0.0	450.2
													255.4
EL ROSARIO													
ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1980	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	110.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	110.0
1981	46.0	0.0	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	13.0	0.0	0.0	0.0	71.0
1982	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	8.0	27.0	0.0	12.0	5.0	56.0
1983	7.5	0.0	23.0	0.0	0.0	0.0	38.0	5.5	4.0	0.0	0.0	0.0	78.0
1984	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	29.0	10.0	24.0	0.0	0.0	39.0	107.0
1985	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	0.0	29.0	0.0	44.0
1986	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	21.0	14.0	2.0	0.0	14.0	51.0
1987	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	13.0	0.0	0.0	18.0
1988	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	8.0	9.5

1989	43.0	9.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	53.0	0.0	0.0	0.0	8.2	113.7
1990	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	65.0	4.5	0.0	0.0	8.1	90.6
1991	0.0	12.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.0	18.5	29.0	46.5	119.0
1992	60.6	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28.0	114.6
1993	43.5	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	86.0	14.0	0.0	0.0	0.0	152.5
1994	52.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	21.0	8.0	59.0	140.1
1995	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	106.0	10.5	4.0	29.5	150.0
1996	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	83.5	121.0	0.0	0.0	0.0	204.5
1997	46.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.0	20.0	5.3	2.0	14.8	101.0
1998	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	62.0	65.0	0.0	0.0	0.0	127.0
1999	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	37.5	42.5	2.6	1.0	7.4	91.0
2000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	36.0	11.0	0.0	0.0	47.0
2001	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	650.0	0.0	0.0	0.0	650.0
2002	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2003	0.0	19.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.0	77.0	0.0	0.0	0.0	121.0
2004	0.0	6.0	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	59.0	8.1	0.0	0.0	82.1
													113.9
VALLE PERDIDO													
ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1991	2.0	6.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.4	161.2	11.0	40.0	61.3	293.1
1992	64.6	18.0	8.6	0.0	0.0	0.0	89.1	94.3	67.9	62.9	3.3	108.0	516.7
1993	76.9	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	58.4	59.8	148.7	10.7	13.5	0.0	370.5
1994	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.9	172.4	52.4	19.1	100.5	63.0	411.3
1995	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.3	97.9	172.9	0.0	0.0	11.3	293.1
1996	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	21.8	319.6	335.7	2.2	0.0	0.0	679.3
1997	59.2	0.0	0.0	1.5	0.0	20.0	73.8	142.0	205.2	59.0	56.0	9.7	626.4
1998	0.0	10.4	0.0	0.0	0.0	0.0	148.4	148.3	251.4	8.5	0.0	0.0	567.0
1999	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	35.4	67.8	32.7	0.0	0.0	0.0	155.9
2000	0.0	0.0	4.9	0.0	0.0	0.0	122.1	112.2	129.0	155.0	79.5	0.0	602.7
2001	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	187.7	36.7	511.8	9.8	0.0	0.0	747.2
2002	1.0	16.2	0.0	0.0	0.0	0.0	83.0	8.6	118.0	4.5	2.9	2.0	236.2
2003	7.0	34.7	0.0	0.0	0.0	0.0	11.3	339.1	353.2	12.5	0.0	0.0	757.8
2004	47.1	8.5	6.5	0.0	0.0	0.0	50.9	141.5	69.6	22.6	0.0	9.6	356.3
													472.4
EL TRIUNFO													
ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1980	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	70.0	109.0	0.0	0.0	0.0	180.9
1981	81.0	0.0	16.0	0.0	0.0	0.0	89.8	70.0	166.5	38.8	0.0	0.0	462.1
1982	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	59.9	121.4	381.0	2.0	25.0	61.0	652.3
1983	24.9	9.0	31.0	0.0	0.0	0.0	42.1	226.0	118.0	0.0	7.0	34.5	492.5
1984	37.0	0.0	0.0	0.0	0.0	55.0	96.0	190.0	84.0	0.0	0.0	32.0	494.0
1985	31.0	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	94.7	270.0	94.0	35.0	8.0	0.0	537.2
1986	0.0	0.0	0.0	21.0	0.0	0.0	95.4	230.0	47.0	83.0	0.0	20.0	496.4
1987	1.0	0.0	0.0	0.0	8.0	0.0	177.0	7.0	98.0	0.0	0.0	2.0	293.0
1988	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	39.0	29.0	13.0	0.0	0.0	101.0
1989	60.0	11.0	0.0	0.0	4.0	0.0	81.0	191.0	59.0	5.0	5.0	27.0	443.0
1990	30.0	6.0	1.0	0.0	0.0	0.0	420.0	144.5	252.0	9.0	2.5	13.5	878.5
1991	45.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	64.0	155.5	7.0	3.8	20.3	295.5
1993	116.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	210.0	104.3	203.8	8.0	3.1	16.9	662.0
1995	80.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	56.0	107.0	179.6	7.5	0.0	16.0	446.6
1996	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	43.0	304.0	276.0	6.0	0.4	0.0	629.4
1997	27.0	0.0	3.0	2.0	0.0	9.0	139.0	128.0	176.6	17.0	51.0	11.0	563.6
1998	0.0	10.0	0.0	0.0	0.0	4.5	54.0	116.0	230.0	16.1	0.0	0.0	430.6
1999	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	14.0	96.5	139.0	38.0	0.0	0.0	5.5	295.0
2000	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0	2.0	79.0	174.0	46.0	82.0	40.0	0.0	427.0
2001	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	94.0	8.0	324.2	38.0	13.0	0.0	477.2
2002	3.0	19.0	0.0	0.0	0.0	0.0	98.0	20.0	145.0	5.0	4.0	0.0	294.0
2003	0.0	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.0	302.0	324.0	20.0	0.0	0.0	699.0
2004	64.0	12.0	6.0	0.0	0.0	0.0	72.1	161.0	81.2	27.0	0.0	0.0	423.3
													464.1
LOS PLANES													
ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1980	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8	8.0	23.0	0.0	0.0	33.8
1981	53.0	1.0	6.0	0.0	0.0	0.0	12.0	68.0	101.0	90.0	0.0	0.0	331.0
1982	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.0	0.0	244.0	0.0	19.8	39.0	314.8
1983	15.0	2.0	3.0	0.0	0.0	0.0	1.5	158.5	60.4	30.0	6.1	15.5	292.0
1984	33.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.4	59.2	48.0	6.4	0.0	60.5	215.6
1985	22.5	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	20.0	54.5	16.0	4.5	0.0	125.5
1986	0.0	0.0	0.0	24.5	0.0	0.0	40.0	58.5	14.5	58.5	0.0	16.0	212.0
1987	0.0	0.0	0.0	12.3	0.0	0.0	41.8	2.0	2.0	111.7	5.5	8.0	183.3
1988	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.0	0.1	85.1	0.0	0.0	112.2
1989	35.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.9	63.4	4.5	0.0	2.8	4.0	121.6
1990	17.5	2.9	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	43.0	2.3	42.6	1.4	2.0	113.5
1992	26.3	1.5	1.0	0.0	0.0	0.0	6.0	53.2	3.4	21.3	2.1	0.0	114.5
1993	55.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	48.1	2.9	31.9	1.7	1.0	144.6
1994	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.0	2.0	0.0	28.5	0.5	42.0
1997	41.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30.0	68.0	0.0	37.5	1.0	178.4
1998	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.5	35.0	0.0	0.0	0.0	55.5
1999	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	30.0	21.5	0.0	18.8	0.5	73.8
2000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	7.0	28.3	0.0	9.4	0.3	46.4
2001	1.0	0.0	5.0	0.0	3.3	0.0	0.0	2.0	408.0	2.0	2.5	0.0	423.8
2002	2.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	23.0	5.0	2.0	1.5	44.5

2003	7.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	97.5	197.0	2.0	0.0	0.0	308.5
2004	60.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	79.5	72.2	5.5	28.5	0.0	246.4
													169.7
EL SARGENTO													
ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1982	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	0.0	241.5	0.0	21.0	43.0	308.4
1983	14.0	0.0	17.0	0.0	0.0	0.0	5.5	108.5	28.0	20.0	3.1	8.0	204.1
1984	39.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	44.0	49.5	34.0	6.5	0.0	40.5	213.5
1985	12.5	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	16.5	26.5	40.0	4.5	0.0	113.0
1986	0.0	0.0	0.0	12.5	0.0	0.0	18.0	102.5	15.5	29.4	0.0	17.5	195.4
1987	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.0	59.5	0.5	30.5	2.3	8.8	114.5
1988	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.5	81.0	8.0	30.0	1.1	13.1	148.7
1989	46.0	14.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	29.0	0.0	0.0	9.5	37.0	136.1
1990	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5	67.1	0.0	15.0	5.3	25.1	118.0
1991	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	48.1	0.0	7.5	7.4	31.0	94.0
1992	27.5	9.3	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.0	53.8
1993	33.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	21.5	47.5	0.0	20.5	0.0	124.0
1994	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.0	1.0	1.5	34.3	58.5	106.3
1995	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	8.5	104.0	0.0	0.0	12.0	131.5
1996	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	150.0	47.5	0.0	21.0	0.0	218.5
1997	1.8	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	11.3	64.5	0.0	10.5	6.0	95.6
1998	0.0	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	48.0	115.0	0.0	0.0	3.0	186.0
1999	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	35.0	18.0	0.0	0.0	0.0	57.0
2000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.0	2.0	2.5	0.0	43.5
2001	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.5	229.5	1.5	0.0	0.0	239.5
2002	1.1	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.5	0.0	3.5	0.0	33.1
2003	1.6	15.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	156.0	124.0	9.8	0.0	0.0	306.9
2004	46.6	12.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.5	71.3	71.6	0.0	0.0	235.7
													151.2

Datos interpolados de dos años anteriores.

Comisión Nacional del Agua Residencia Técnica Temp. Media Mensual										Estaciones Climatológicas (Temperatura)			
Anexo 3.3.6													en ° C
EI CAJONCITO													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TMA
1980	22.0	20.0	20.2	22.1	22.9	29.0	30.7	30.1	29.4	26.5	22.4	20.1	24.6
1981	18.5	19.7	19.1	21.5	23.7	26.1	29.4	30.1	28.7	23.5	22.3	20.4	23.6
1982	19.0	18.1	19.2	25.0	24.0	26.3	29.9	30.2	29.1	26.1	21.3	19.4	24.0
1983	18.0	18.6	18.7	19.7	24.4	26.8	30.0	28.5	28.8	26.5	21.8	16.0	23.1
1984	17.0	19.5	22.7	23.8	26.3	28.5	28.3	28.7	28.1	23.5	20.5	18.0	23.7
1985	17.7	17.6	20.1	21.7	27.8	29.8	31.3	32.0	30.5	27.8	24.0	20.5	25.1
1986	17.3	18.5	21.3	22.3	24.6	27.3	30.0	31.6	28.7	21.2	18.8	18.4	23.3
1987	16.8	16.7	20.7	25.0	25.5	27.0	27.6	27.8	29.2	25.0	19.0	16.4	23.0
1988	16.4	16.2	16.9	18.8	27.0	30.3	31.1	30.8	30.4	26.2	18.8	16.0	23.2
1989	15.5	16.9	20.9	23.8	25.4	24.9	27.7	31.4	30.5	23.8	19.6	16.4	23.1
1990	16.6	14.8	19.8	23.0	25.0	30.6	29.6	29.6	29.3	24.0	19.0	15.0	23.0
1991	16.4	18.7	18.9	23.6	24.2	26.9	29.0	29.0	29.0	24.0	18.0	16.0	22.8
1992	17.0	18.9	21.4	21.9	24.0	26.0	31.4	29.8	29.9	27.5	21.8	16.6	23.9
1993	19.2	18.3	21.5	23.4	25.1	28.4	29.6	30.2	27.9	26.5	23.0	16.0	24.1
1994	19.5	19.9	22.4	25.0	25.0	28.8	31.0	29.8	30.0	27.2	20.0	15.0	24.5
1995	19.0	21.3	21.2	24.0	25.0	29.5	30.8	29.9	29.0	26.6	23.6	15.0	24.6
1996	19.5	20.8	21.8	23.7	27.0	28.5	31.1	29.9	28.8	26.7	23.4	18.8	25.0
1997	17.6	17.8	21.0	21.4	27.3	28.5	31.1	30.7	28.9	26.8	23.2	17.8	24.3
1998	18.8	17.9	19.8	20.1	24.9	29.4	29.7	29.9	28.0	26.0	21.0	16.0	23.5
1999	18.5	19.3	20.0	20.3	24.0	27.0	28.7	29.1	27.8	24.0	22.0	17.0	23.1
2000	19.5	20.4	19.5	23.6	24.8	26.0	28.0	29.0	28.4	24.7	19.6	19.6	23.6
2001	17.8	19.2	19.9	24.0	26.3	28.8	30.7	29.1	27.8	25.2	23.2	20.0	24.3
2002	19.3	19.1	21.6	22.3	25.4	26.5	29.2	28.9	28.1	25.0	22.1	18.2	23.8
2003	19.8	18.4	18.7	21.0	24.1	25.4	27.8	29.4	27.9	26.2	22.9	18.0	23.3
2004	19.0	18.0	18.0	21.0	26.4	27.4	27.7	29.7	28.9	25.7	20.2	18.0	23.3
	18.2	18.6	20.2	22.5	25.2	27.7	29.7	29.8	28.9	25.5	21.3	17.5	23.8
LAGUNILLAS													Promedio
1980	19.4	20.0	20.3	24.6	23.9	27.7	29.0	28.8	27.3	25.8	23.5	23.2	24.4
1981	21.7	22.8	22.0	18.5	21.5	22.3	24.2	25.4	26.0	24.5	22.2	21.2	22.7
1982	20.9	18.9	20.5	22.4	21.0	22.0	22.7	23.5	24.7	21.4	19.9	17.1	21.2
1983	14.4	12.6	23.7	30.0	31.7	33.8	32.1	31.2	31.0	30.8	27.5	25.8	27.1
1984	24.6	24.9	27.8	28.5	29.3	31.6	31.6	31.5	31.5	29.2	26.8	24.6	28.5
1985	22.2	23.0	24.6	26.3	27.5	29.3	32.4	32.5	32.4	30.0	25.8	23.4	27.4
1986	22.9	22.4	24.0	26.3	27.2	27.8	32.0	32.0	28.9	26.4	24.0	20.5	26.2
1987	18.8	18.4	21.3	22.9	24.3	27.6	31.2	32.0	31.7	29.3	24.4	16.8	24.9
1988	16.2	18.0	21.1	18.0	23.0	27.0	30.0	30.0	31.0	29.0	24.0	16.0	23.6
2002	16.0	16.0	21.0	19.0	24.0	27.0	31.0	31.0	25.9	22.7	19.7	15.9	22.4
2003	16.4	17.3	16.7	18.4	24.4	27.6	30.0	30.0	29.8	27.9	23.7	17.5	23.3
2004	16.5	16.7	21.1	22.3	25.9	28.2	30.5	30.4	29.7	24.5	22.0	17.0	23.7
													24.6
LOS DIVISADEROS													
1980	16.1	19.9	20.0	22.0	22.1	27.3	27.4	26.2	25.7	23.4	20.6	19.1	22.5
1981	17.0	18.3	18.1	22.5	22.3	24.4	26.1	26.5	25.5	23.0	22.0	19.3	22.1
1982	15.1	16.4	19.3	25.1	22.1	26.7	27.0	27.0	26.2	23.7	20.4	16.3	22.1
1983	15.7	18.0	19.0	19.6	24.5	26.1	27.2	27.0	27.9	24.5	20.2	19.0	22.4
1984	17.1	17.3	21.0	21.5	25.0	25.7	25.4	25.9	25.1	22.0	20.8	18.9	22.1
1985	16.0	16.9	21.3	21.9	25.5	26.5	26.7	26.2	25.9	24.1	21.3	18.6	22.6
1986	18.9	18.1	21.2	24.8	24.3	25.6	26.5	27.0	26.1	23.0	21.7	17.6	22.9
1987	15.5	16.1	17.7	22.2	21.9	26.3	27.5	27.3	26.2	25.4	21.3	16.9	22.0
1988	17.9	20.3	19.2	21.2	23.9	26.6	27.4	27.6	26.3	24.5	21.0	17.0	22.7
1989	14.1	18.4	20.6	24.4	24.6	25.7	27.2	26.1	26.2	25.0	21.1	17.5	22.6
1990	15.5	14.9	20.1	23.5	24.9	27.7	26.2	26.5	25.9	25.0	21.0	17.0	22.4
1991	15.1	16.4	18.1	23.7	23.7	26.3	26.4	27.2	26.0	23.8	20.4	16.0	21.9
1992	13.8	16.9	18.6	22.6	24.1	27.2	26.8	26.5	26.7	25.6	20.8	18.3	22.3
1993	19.4	17.9	20.1	23.6	23.6	27.4	26.2	26.6	25.1	24.9	21.2	19.5	23.0
1994	18.9	16.8	19.5	23.0	25.0	26.8	27.9	26.6	26.9	24.9	20.7	18.7	23.0
1995	16.6	17.4	19.5	21.5	24.1	26.6	27.7	26.3	25.6	25.0	21.4	18.5	22.5
1996	18.9	20.7	20.5	23.5	25.7	26.8	27.6	26.3	24.4	24.6	21.9	17.5	23.2
1997	15.8	15.6	21.6	20.0	25.8	26.6	27.1	26.2	26.0	24.3	21.9	11.9	21.9
1998	14.5	16.4	19.1	20.8	25.5	27.5	27.0	26.8	24.7	25.3	21.7	17.1	22.2
1999	17.7	20.9	19.2	21.5	24.8	26.3	26.4	27.2	25.5	25.8	23.3	17.0	23.0
2000	19.5	20.4	17.5	22.6	22.9	25.8	27.7	26.6	26.1	22.6	17.7	18.0	22.3
2001	15.5	17.5	17.7	20.8	23.6	26.9	28.0	28.8	26.8	24.0	20.7	16.3	22.2
2002	16.5	17.3	18.6	21.8	26.4	25.4	27.7	26.8	26.6	22.7	20.5	16.2	22.2
2003	18.9	17.4	18.8	21.1	24.4	24.3	27.2	27.0	25.2	24.2	21.0	17.3	22.2
2004	14.6	15.1	19.6	19.8	23.4	26.5	27.7	27.4	25.1	22.8	18.8	17.0	21.5
													22.4
EST. SAN PEDRO													
1980	19.3	20.5	21.5	22.9	23.2	27.3	28.1	27.1	27.1	25.5	21.8	20.0	23.7
1981	18.1	15.3	16.8	20.0	23.0	24.5	27.8	29.0	27.8	25.0	21.1	19.2	22.3
1982	17.8	15.0	19.0	22.8	22.1	26.2	28.9	29.6	28.6	23.5	20.6	16.0	22.5

1983	16.0	16.7	19.0	19.8	23.4	26.8	30.0	27.4	27.5	25.4	20.2	17.5	22.5
1984	16.4	16.1	19.1	20.8	24.6	26.9	27.5	27.6	26.9	23.0	19.2	16.9	22.1
1985	15.4	15.8	19.1	20.9	24.5	26.6	29.4	29.7	28.5	25.0	19.9	16.3	22.6
1986	16.3	17.3	19.0	24.8	24.5	26.4	29.5	30.1	28.6	25.3	22.0	17.5	23.4
1987	15.8	17.2	18.6	22.1	23.2	27.0	30.7	31.0	28.9	26.8	21.2	16.4	23.3
1988	16.2	19.1	19.6	22.1	24.1	27.0	30.0	29.9	29.1	25.8	20.7	16.8	23.4
1989	14.0	17.2	19.9	23.5	24.8	26.3	29.8	30.0	28.9	26.4	22.1	17.0	23.3
1990	15.8	16.0	19.8	23.4	25.4	29.5	29.9	29.9	29.1	26.0	21.0	16.0	23.5
1991	15.8	18.7	18.3	22.9	23.6	27.3	28.8	30.6	28.8	26.6	20.6	17.4	23.3
1992	16.3	18.1	18.0	22.0	25.7	29.0	30.4	29.4	29.3	27.2	21.1	18.4	23.7
1993	18.2	17.3	19.9	23.1	23.2	28.0	29.2	30.3	27.8	26.2	21.7	19.4	23.7
1994	17.5	18.0	20.1	22.7	24.7	27.5	30.3	30.1	29.7	25.7	22.1	18.0	23.9
1995	16.0	20.5	20.4	20.8	23.9	26.8	30.6	30.2	28.3	24.8	22.1	18.1	23.5
1996	17.2	19.5	20.3	22.6	25.5	27.8	29.6	29.4	26.8	26.1	22.0	17.7	23.7
1997	16.5	16.4	20.6	20.1	26.4	27.7	31.4	30.6	28.9	26.5	21.8	17.6	23.7
1998	17.7	16.6	19.7	20.5	25.0	29.2	30.2	29.5	26.3	26.0	20.5	16.6	23.2
1999	16.0	17.4	18.8	20.7	21.7	27.5	29.1	30.2	28.5	26.1	21.8	16.6	22.9
2000	17.1	19.2	19.2	22.4	23.9	28.0	30.2	29.6	29.0	25.7	18.2	16.8	23.3
2001	15.8	16.6	17.5	20.6	24.1	27.4	29.7	30.2	29.0	24.4	21.9	16.8	22.8
2002	16.1	16.9	18.7	22.9	26.3	26.2	29.3	29.6	28.8	25.5	20.9	16.6	23.2
2003	17.4	18.7	18.7	21.9	24.5	24.6	29.2	28.9	27.9	25.0	20.0	16.3	22.8
2004	15.6	15.0	19.5	17.9	24.6	24.0	29.0	29.4	28.3	25.5	19.8	16.6	22.1
													23.1
EST. LA PAZ													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1980	16.3	18.7	19.5	20.4	22.5	28.5	30.2	30.1	29.1	26.1	20.5	17.5	23.3
1981	16.9	20.9	17.9	22.4	23.2	25.6	29.4	29.9	28.8	25.1	20.5	18.5	23.3
1982	16.1	16.7	18.8	22.0	22.3	26.3	28.8	30.1	29.6	24.2	21.6	17.2	22.8
1983	16.5	17.0	18.6	19.9	23.6	27.5	30.3	27.9	28.6	26.3	20.8	18.1	22.9
1984	16.5	16.4	20.3	21.6	25.0	28.4	28.8	29.8	27.4	23.1	18.9	17.1	22.8
1985	14.8	14.9	18.1	20.5	23.8	26.1	28.9	29.5	28.5	24.7	21.0	17.7	22.4
1986	15.0	17.3	20.2	23.7	24.2	25.9	28.8	29.3	27.9	23.9	21.5	17.4	22.9
1987	14.8	15.8	17.2	21.4	22.3	26.1	29.8	30.5	28.9	26.9	21.0	16.6	22.6
1988	15.8	18.1	18.7	21.1	22.9	25.6	29.0	29.2	28.3	25.3	20.4	16.5	22.6
1989	14.1	16.7	19.1	23.1	24.3	26.2	28.8	29.1	28.9	25.3	21.0	16.6	22.8
1990	15.2	14.9	18.0	21.1	24.1	27.9	28.6	28.8	28.2	25.0	20.0	15.0	22.2
1991	16.5	16.9	16.5	21.0	22.2	25.4	28.1	31.1	28.2	26.8	20.6	17.5	22.6
1992	16.6	18.2	18.3	23.0	26.0	29.2	31.0	31.1	30.3	27.1	21.1	18.8	24.2
1993	18.5	17.6	19.9	23.3	24.9	27.8	29.3	30.9	28.6	26.5	22.5	19.6	24.1
1994	18.2	18.5	20.9	23.4	26.0	28.6	31.0	30.8	30.4	26.4	22.5	18.0	24.6
1995	16.4	20.0	21.0	21.4	24.2	27.8	30.6	30.8	29.8	25.7	23.0	19.0	24.1
1996	16.8	20.0	21.0	22.9	26.2	28.7	30.7	30.7	28.1	26.4	23.0	17.9	24.4
1997	18.4	18.5	21.3	21.7	26.9	28.4	32.2	31.7	30.5	27.8	24.1	20.2	25.1
1998	19.1	18.6	21.1	22.1	25.6	30.3	31.7	31.3	29.5	27.9	22.4	18.0	24.8
1999	18.2	19.4	20.2	22.4	25.6	27.8	29.9	30.6	29.8	28.2	23.9	19.1	24.6
2000	17.7	19.3	19.7	22.8	24.7	28.8	31.0	31.0	29.8	26.8	20.0	17.8	24.1
2001	16.8	18.7	19.1	22.3	25.7	28.2	30.9	31.1	29.4	25.7	22.8	17.9	24.1
2002	18.1	19.2	20.5	24.6	28.0	27.6	30.9	31.1	30.9	26.9	23.8	19.2	25.1
2003	20.7	20.6	21.7	24.1	26.7	27.2	30.8	30.9	29.5	27.8	24.2	20.1	25.4
2004	18.0	18.5	22.8	23.4	26.9	29.3	30.7	31.4	30.3	27.1	22.4	20.5	25.1
													23.7
EST. EL CARRIZAL													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1980	16.8	18.6	18.7	20.4	20.8	26.8	28.6	28.4	27.9	25.0	20.6	17.9	22.5
1981	16.6	18.2	17.6	21.5	20.6	22.8	27.8	28.1	27.5	24.2	21.1	18.5	22.0
1982	16.4	17.8	18.9	23.3	20.6	23.7	28.5	28.9	28.5	24.5	20.9	17.1	22.4
1983	16.3	17.2	18.3	19.6	23.3	26.3	28.9	27.6	27.4	25.4	20.6	18.6	22.5
1984	16.4	16.9	19.6	20.5	23.7	26.0	27.3	27.0	27.2	23.3	19.6	17.4	22.1
1985	15.3	16.5	19.5	20.1	23.0	24.5	27.7	29.0	28.5	24.8	21.4	17.2	22.3
1986	17.9	18.7	19.7	24.6	21.7	22.7	27.1	27.8	27.3	23.7	22.4	18.1	22.6
1987	16.3	17.1	17.3	19.9	21.0	22.5	27.5	28.4	27.6	26.6	21.0	17.3	21.9
1988	17.3	19.0	18.5	19.8	21.4	22.9	26.2	26.7	26.8	24.3	20.0	17.5	21.7
1989	14.6	17.3	17.7	21.0	21.5	21.7	26.6	26.9	27.4	25.4	20.8	17.5	21.5
1990	16.5	15.8	18.6	21.1	22.4	26.0	27.4	27.6	27.2	25.0	20.0	17.0	22.1
1991	16.6	18.2	18.4	21.3	20.0	22.8	24.4	27.7	27.3	25.0	20.0	17.0	21.5
1992	16.5	17.5	18.7	20.9	22.5	25.3	29.4	27.4	28.2	25.7	20.8	17.4	22.5
1993	17.9	17.1	19.5	21.1	20.6	25.0	28.0	26.8	26.2	25.5	20.8	19.1	22.3
1994	18.1	18.3	19.1	20.4	21.8	23.5	27.0	27.3	28.2	25.5	21.4	17.1	22.3
1995	17.0	21.1	21.0	20.1	21.3	23.8	28.0	28.4	27.9	25.2	23.2	19.7	23.1
1996	18.6	19.7	19.8	21.4	23.5	24.1	27.1	28.0	25.4	24.4	21.0	18.2	22.6
1997	16.8	16.4	20.5	18.6	23.7	25.4	30.1	30.2	29.0	26.0	21.7	18.2	23.1
1998	19.0	16.9	18.7	19.8	23.8	25.9	28.6	27.6	25.8	25.5	20.4	18.0	22.5
1999	18.0	16.0	18.0	19.0	23.0	25.0	28.0	27.0	25.0	25.0	20.7	16.1	21.7
2000	16.8	17.9	16.9	19.5	19.1	23.4	25.3	26.5	25.7	22.1	17.2	16.6	20.6
2001	14.7	16.0	15.6	18.6	20.0	23.3	25.5	26.7	25.5	22.8	19.9	15.7	20.4
2002	15.4	16.3	16.8	19.8	22.9	21.5	25.2	25.5	26.0	22.7	19.0	16.4	20.6
2003	17.6	16.6	17.1	19.3	20.7	21.0	25.1	26.3	24.8	23.2	19.9	16.8	20.7
2004	15.2	15.2	17.7	18.2	20.5	22.5	25.4	26.0	25.6	23.1	19.3	16.0	20.4
													21.9
LOS ROBLES													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	

1980	16.2	18.5	18.3	20.8	21.4	27.8	27.2	25.3	25.2	22.5	19.2	18.0	21.7
1981	15.6	18.1	16.3	20.9	20.7	23.7	26.3	26.3	25.0	21.6	20.0	17.5	21.0
1982	15.8	17.3	18.5	23.7	21.3	27.5	26.5	26.8	25.9	22.7	18.9	15.0	21.7
1983	15.1	16.1	16.5	17.9	23.5	27.2	27.2	25.3	24.8	24.8	18.7	17.4	21.2
1984	15.3	16.7	18.7	20.1	24.8	25.2	27.0	24.9	24.7	20.3	18.9	16.2	21.1
1985	13.8	15.4	18.0	19.2	25.0	26.3	26.4	25.6	25.2	22.6	19.2	17.1	21.1
1986	18.2	17.2	19.7	23.6	23.3	25.5	26.2	27.0	24.9	21.6	19.4	15.1	21.8
1987	14.0	14.4	16.2	20.0	20.3	26.7	27.7	26.7	25.5	24.5	19.4	16.1	20.9
1988	16.3	17.7	19.1	20.5	21.3	26.8	27.1	26.7	25.4	22.9	19.4	16.2	21.6
1989	14.0	17.4	19.3	23.8	24.5	26.0	27.4	25.4	25.5	24.1	18.9	15.9	21.8
1990	15.1	14.7	18.7	22.2	24.1	27.3	25.0	24.9	24.8	24.0	18.0	15.0	21.2
1991	14.5	17.6	16.4	21.9	22.5	26.0	25.9	26.7	25.1	23.1	18.5	15.5	21.1
1992	14.1	15.6	17.1	20.7	22.8	27.4	26.6	25.9	26.0	24.4	18.5	16.5	21.3
1993	17.0	16.2	18.5	21.7	21.9	27.0	25.7	25.9	24.1	23.7	18.8	16.8	21.4
1994	17.1	16.7	18.3	21.5	24.3	27.0	28.1	26.2	25.6	22.9	19.8	16.4	22.0
1995	15.1	19.2	19.3	21.1	23.0	26.9	28.0	26.0	25.0	22.0	21.3	16.8	22.0
1996	17.0	18.5	18.6	21.7	25.1	27.3	26.9	24.9	23.1	22.7	19.4	16.6	21.8
1997	14.7	15.0	19.2	18.3	24.5	26.0	26.8	26.7	25.1	24.6	20.1	15.4	21.4
1998	16.8	15.1	17.8	18.8	24.3	26.0	28.0	27.4	26.3	26.8	19.5	15.9	21.9
1999	18.3	19.9	20.4	22.3	25.9	28.6	28.6	29.0	27.5	27.5	23.8	18.2	24.2
2000	20.7	21.1	20.9	25.5	26.9	28.7	29.8	28.1	27.7	24.0	18.7	19.4	24.3
2001	16.7	19.5	19.0	21.4	25.0	28.3	29.4	28.0	28.1	25.8	22.8	18.0	23.5
2002	17.4	19.1	20.4	22.9	28.4	28.3	29.9	28.9	28.7	25.0	22.4	18.4	24.2
2003	21.2	22.1	20.8	23.1	26.4	27.8	29.0	27.1	26.2	25.7	20.9	18.9	24.1
2004	16.6	16.5	20.0	23.0	25.1	28.2	28.3	27.5	24.7	23.3	18.3	17.0	22.4
													22.0
ALFREDO BONFIL													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1980	18.9	20.6	20.9	22.8	23.6	29.1	30.7	30.4	30.7	27.0	23.2	19.6	24.8
1981	18.5	19.1	18.7	23.0	23.8	25.8	29.8	29.7	29.5	25.1	23.7	19.5	23.9
1982	18.8	18.8	21.1	24.2	23.3	28.8	30.3	30.7	30.8	26.3	20.8	17.9	24.3
1983	17.9	19.0	19.9	20.9	26.2	28.6	30.8	29.0	29.8	27.8	23.1	20.0	24.4
1984	18.0	19.1	20.7	22.9	26.5	28.2	28.8	29.3	28.6	24.6	22.1	17.2	23.8
1985	16.8	17.8	20.5	22.0	26.0	27.9	29.2	30.1	30.0	26.3	23.1	18.7	24.0
1986	19.8	19.8	22.9	25.4	26.1	27.7	29.5	29.8	29.3	26.4	23.5	20.0	25.0
1987	18.1	18.8	19.8	23.8	23.8	27.4	30.3	30.7	30.2	28.8	24.3	20.0	24.7
1988	18.3	20.4	21.1	23.2	25.3	27.7	30.5	30.4	29.5	27.0	23.4	18.3	24.6
1989	16.2	18.7	21.2	25.7	26.1	27.5	29.9	29.9	29.9	27.8	23.6	20.3	24.7
1990	17.7	17.8	21.0	24.5	27.2	30.0	30.6	30.7	30.1	27.3	23.3	18.1	24.9
1991	17.8	19.2	19.1	23.5	24.8	28.0	28.9	31.0	30.6	29.1	22.6	19.7	24.5
1992	16.5	18.3	19.7	23.8	26.7	28.6	30.1	30.5	30.7	29.0	23.0	18.0	24.6
1993	17.7	18.6	23.5	23.3	23.2	27.5	29.5	30.6	29.9	28.1	24.2	17.0	24.4
1994	20.2	19.5	21.2	20.3	25.1	28.0	31.0	31.2	31.5	27.5	24.0	19.7	24.9
1995	19.0	22.3	22.1	22.2	26.1	29.5	31.5	31.0	30.9	28.8	24.6	20.2	25.7
1996	20.5	20.2	21.8	25.0	27.4	28.3	30.7	30.9	28.5	26.9	24.3	19.9	25.4
1997	17.6	18.8	22.3	21.4	26.8	26.5	30.0	29.1	28.8	26.4	23.2	18.0	24.1
1998	18.2	17.7	18.1	18.7	20.9	24.5	28.9	29.9	30.2	27.9	22.8	17.0	22.9
1999	16.5	16.2	16.8	18.1	21.3	25.7	26.2	29.0	28.0	25.6	20.7	17.2	21.8
2000	16.8	17.7	17.0	20.5	22.4	24.3	26.9	29.4	28.6	25.3	21.0	17.5	22.3
2001	16.3	16.7	16.9	18.5	22.1	23.9	26.4	23.8	28.0	24.6	23.0	17.0	21.4
2002	16.4	15.7	18.0	20.6	23.1	22.6	25.1	23.0	26.7	23.1	21.0	18.9	21.2
2003	18.2	17.8	18.8	20.2	21.3	23.2	22.5	25.0	26.1	24.3	21.3	17.5	21.4
2004	20.9	20.4	22.0	21.9	22.9	24.4	26.8	27.9	26.0	23.4	20.9	17.0	22.9
													23.9
EL ROSARIO													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1980	17.5	19.5	18.6	20.0	18.6	23.8	26.4	26.5	26.5	24.9	21.5	19.7	22.0
1981	19.5	19.2	17.8	20.2	19.2	20.9	25.3	27.8	27.2	24.2	21.6	20.9	22.0
1982	18.1	17.6	18.1	21.3	18.0	22.3	26.4	26.7	27.5	24.0	21.5	17.9	21.6
1983	17.6	17.7	18.2	18.1	20.1	22.3	27.8	27.3	27.0	22.1	19.4	18.5	21.3
1984	16.8	17.0	17.8	18.4	20.2	23.3	26.1	23.9	27.1	21.7	19.4	18.3	20.8
1985	16.2	16.8	18.8	18.0	19.4	20.3	25.3	27.0	25.9	23.6	21.2	18.6	20.9
1986	18.0	17.2	18.4	22.6	19.6	23.9	26.3	28.0	26.6	23.1	22.2	18.3	22.0
1987	16.7	16.6	17.0	18.8	19.5	20.1	25.6	28.4	27.8	26.8	21.1	19.3	21.5
1988	18.0	19.0	18.2	19.2	20.0	20.6	24.9	25.3	25.6	23.1	19.1	17.3	20.8
1989	15.0	17.5	17.6	18.7	18.8	19.8	25.3	26.2	27.8	25.4	21.0	18.2	20.9
1990	16.8	16.1	17.4	19.1	19.9	23.5	27.1	30.7	28.1	24.2	20.0	17.7	21.7
1991	18.2	19.6	18.4	19.6	18.1	20.0	22.8	26.8	27.2	25.8	20.6	17.2	21.2
1992	15.8	17.5	18.3	19.9	21.1	23.4	26.8	27.5	28.1	25.8	21.5	19.0	22.1
1993	18.5	17.0	18.7	19.2	19.6	21.2	23.8	27.1	25.4	25.0	21.9	20.0	21.5
1994	17.1	17.9	18.2	19.9	19.4	21.6	24.9	26.7	27.7	23.8	22.9	20.2	21.7
1995	17.8	19.7	21.6	20.8	19.5	21.9	21.1	24.2	21.2	24.4	22.4	20.1	21.2
1996	17.3	18.5	17.9	18.9	19.8	20.8	23.1	22.5	22.3	22.6	20.1	18.4	20.2
1997	13.1	15.0	16.1	15.8	16.9	23.0	19.8	25.9	25.4	23.5	21.3	19.3	19.6
1998	17.3	18.1	17.0	19.4	18.8	23.6	25.2	27.0	25.9	18.1	17.3	16.7	20.4
1999	17.1	16.8	16.7	16.5	17.9	23.3	22.5	26.4	25.6	20.8	19.3	18.0	20.1
2000	16.5	18.1	18.9	19.1	19.9	19.3	23.9	26.7	25.7	19.2	17.5	16.0	20.1
2001	16.4	16.6	18.1	18.8	18.9	23.1	24.3	25.7	26.1	23.8	19.1	17.4	20.7
2002	16.9	17.0	17.8	24.0	19.4	25.2	25.4	26.1	25.6	19.5	17.3	16.5	20.9
2003	16.5	16.6	18.7	19.0	18.5	24.2	26.0	26.8	26.0	19.5	18.9	16.9	20.6
2004	18.1	17.2	17.0	17.9	20.5	21.2	26.6	26.5	26.1	17.7	18.1	16.8	20.3

										48.5			21.0
EL TRIUNFO													
1980	17.0	18.3	18.6	21.3	21.5	25.9	26.6	27.8	26.4	24.5	20.1	15.6	22.0
1981	16.0	17.6	16.1	21.3	21.5	23.8	26.9	25.9	24.8	23.2	20.0	17.9	21.2
1982	17.2	17.7	18.1	21.0	20.0	24.8	24.7	25.3	25.4	20.6	18.7	17.0	20.9
1983	16.2	17.0	17.5	18.4	22.5	22.2	25.2	24.6	23.7	23.0	18.5	16.7	20.5
1984	16.7	16.2	18.4	19.6	23.9	24.0	23.1	23.6	23.5	20.6	19.5	18.2	20.6
1985	16.5	15.1	16.7	19.4	22.2	25.2	24.3	26.7	26.7	24.7	22.5	22.0	21.8
1986	23.0	23.4	24.9	28.9	27.7	29.1	23.7	25.1	23.8	20.4	18.6	16.4	23.7
1987	14.6	15.6	16.0	19.7	18.3	23.0	26.2	28.2	25.3	24.3	18.2	15.2	20.4
1988	14.9	16.8	16.2	18.6	20.3	23.7	26.6	26.5	26.4	22.2	17.2	16.3	20.5
1989	13.4	15.7	20.7	14.5	19.3	25.1	19.0	24.6	24.4	23.3	16.6	16.3	19.4
1990	14.0	15.4	19.1	16.5	18.7	21.1	21.5	25.7	22.4	22.7	16.9	16.3	19.2
1991	13.7	14.5	14.1	16.8	19.5	19.5	24.9	27.3	23.4	23.0	16.7	16.3	19.2
1993	16.2	17.2	19.5	16.7	19.1	20.3	23.2	26.5	22.9	22.9	16.8	16.3	19.8
1995	14.9	15.9	16.8	16.7	19.3	19.9	27.0	25.8	23.1	23.0	21.3	17.7	20.1
1996	17.4	18.6	19.4	20.4	24.0	26.1	27.0	26.0	24.0	24.0	20.2	16.6	22.0
1997	16.2	16.2	20.4	19.5	24.9	26.3	27.8	27.4	26.5	23.6	20.3	15.9	22.1
1998	17.0	17.4	18.5	19.3	24.4	26.2	27.6	28.3	26.5	25.0	20.1	17.6	22.3
1999	18.3	18.7	19.5	21.7	25.4	26.5	27.2	27.9	25.8	24.5	21.1	16.4	22.7
2000	17.9	19.8	19.6	22.3	22.4	26.0	27.0	26.9	25.4	22.7	17.4	18.2	22.1
2001	16.4	17.7	18.1	21.4	23.2	26.7	28.1	28.0	26.8	23.1	20.8	16.8	22.3
2002	17.0	17.9	18.9	21.6	25.0	25.6	27.3	27.0	26.4	23.1	20.5	17.0	22.3
2003	18.5	17.9	19.0	21.3	24.0	23.7	27.4	26.9	25.6	23.4	19.6	16.8	22.0
2004	15.3	15.8	19.2	19.5	22.6	25.9	27.2	27.0	24.7	21.9	18.4	17.8	21.3
LOS PLANES													
1980	17.6	19.4	20.4	21.2	23.3	29.6	30.2	30.6	29.4	26.4	21.4	18.2	24.0
1981	18.0	18.2	18.2	22.3	23.8	26.2	30.0	29.8	28.4	24.9	21.6	17.9	23.3
1982	16.5	16.4	18.7	21.9	23.2	26.6	29.8	30.7	29.5	24.8	21.8	17.9	23.1
1983	18.1	17.1	18.4	22.1	23.5	29.4	28.5	28.2	29.0	26.7	22.3	18.9	23.5
1984	17.7	17.1	19.7	21.5	25.4	27.7	28.3	29.7	28.5	24.9	20.9	18.0	23.3
1985	16.0	17.0	21.1	20.5	23.8	27.4	28.9	29.4	28.7	25.5	21.7	16.9	23.1
1986	16.9	18.0	20.7	23.8	25.0	26.5	28.7	29.2	28.5	24.9	22.0	18.2	23.5
1987	15.8	16.7	17.8	22.1	24.4	26.9	30.3	30.4	29.3	26.8	20.8	16.6	23.2
1988	15.2	16.7	18.2	20.9	22.6	28.2	28.4	28.7	30.2	25.8	21.0	16.2	22.7
1989	15.2	15.8	19.0	22.5	24.4	26.4	28.6	28.6	29.1	25.0	20.9	16.4	22.7
1990	15.2	14.9	20.1	21.7	23.5	26.7	29.0	28.6	29.6	25.4	21.0	16.3	22.7
1992	15.2	15.4	19.5	22.1	23.9	26.6	28.8	28.6	29.4	25.2	20.9	19.7	22.9
1993	18.1	17.3	20.0	24.5	23.7	29.5	29.8	28.6	29.5	25.3	20.9	18.0	23.8
1994	17.6	17.0	20.2	24.3	29.4	29.5	29.7	29.1	28.6	27.2	21.6	18.9	24.4
1997	17.8	16.6	19.9	21.2	24.9	27.2	25.0	27.3	21.1	21.1	20.8	19.3	21.8
1998	16.6	16.5	21.7	22.7	27.2	28.3	27.4	28.2	24.8	24.1	22.4	17.6	23.1
1999	15.9	16.0	19.0	21.0	23.6	29.6	27.7	26.8	28.3	26.9	21.6	18.5	22.9
2000	16.2	16.3	20.3	22.4	23.9	28.2	30.1	29.6	26.6	25.5	22.0	19.2	23.3
2001	16.5	16.3	18.0	20.6	26.7	28.5	31.0	31.4	29.7	25.1	22.5	17.3	23.6
2002	16.4	16.4	18.5	22.8	25.9	28.1	30.5	30.7	30.3	26.0	21.4	16.5	23.6
2003	16.4	19.4	19.4	22.5	25.3	28.1	31.2	30.4	29.0	26.1	22.6	16.9	23.9
2004	15.5	16.0	20.5	22.4	25.0	29.8	30.5	30.4	27.9	25.2	20.1	17.3	23.4
SAN ANTONIO													
1980	17.3	19.5	20.0	22.3	23.9	30.5	30.3	29.1	27.7	25.0	20.2	18.9	23.7
1981	17.3	18.8	18.6	23.2	23.8	26.9	28.7	28.6	27.0	23.9	20.8	18.5	23.0
1982	17.6	18.2	19.6	25.0	24.0	29.3	28.8	29.1	27.7	23.8	20.4	17.2	23.4
1983	17.2	17.6	18.6	20.0	25.0	28.3	29.1	27.0	27.0	25.5	20.4	17.9	22.8
1984	16.8	17.0	20.4	21.8	26.6	27.6	26.7	27.4	26.9	23.8	20.0	17.8	22.7
1985	15.4	16.6	19.5	21.7	25.3	28.5	28.4	28.2	27.1	24.3	20.5	17.3	22.7
1986	18.9	18.0	21.6	24.5	25.6	27.2	27.8	28.4	27.4	23.5	21.1	17.3	23.4
1987	16.1	16.7	17.9	22.4	23.0	27.9	30.1	28.5	28.2	26.2	21.1	16.8	22.9
1988	16.3	18.9	19.5	21.9	24.5	28.3	29.6	29.7	28.3	25.8	21.1	17.4	23.4
1989	14.7	18.3	20.4	25.7	23.7	28.1	29.8	27.6	27.2	24.9	19.9	16.7	23.1
1990	15.4	15.0	19.6	24.3	26.0	29.9	27.7	28.0	27.0	25.4	20.5	17.0	23.0
1991	15.4	17.3	17.7	22.8	23.8	27.4	28.9	29.4	26.8	24.6	19.5	16.7	22.5
1992	15.7	16.6	17.6	22.3	24.9	29.2	29.2	28.1	27.7	26.0	19.9	16.8	22.8
1993	17.4	16.6	19.1	23.0	24.1	29.5	28.1	28.7	25.5	24.8	19.7	16.7	22.8
1994	16.7	16.8	19.8	22.4	25.5	28.7	30.6	28.5	27.6	24.9	21.3	17.3	23.3
1995	17.0	19.7	19.8	20.8	24.3	28.6	30.0	28.5	27.1	24.6	22.3	17.7	23.4
1996	17.1	19.5	20.0	23.0	26.9	29.6	30.1	28.4	25.5	25.0	21.0	17.0	23.6
1997	16.1	16.5	20.6	20.7	27.6	28.7	29.7	28.8	27.8	25.2	21.0	16.5	23.3
1998	17.1	16.5	18.8	20.5	26.0	30.4	29.5	28.9	26.5	25.8	21.0	16.4	23.1
1999	16.5	17.8	19.3	22.1	26.3	28.1	28.7	29.6	28.0	26.1	21.6	16.3	23.4
2000	17.4	18.9	19.3	24.0	26.1	28.8	30.2	28.6	28.1	25.0	18.4	17.3	23.5
2001	15.7	17.6	18.5	21.9	26.3	29.3	29.9	30.3	28.7	24.3	21.3	16.6	23.4
2002	16.2	16.5	19.8	22.3	27.6	28.3	30.5	29.7	28.2	24.9	20.8	16.4	23.4
2003	17.5	17.8	19.1	22.7	26.2	27.8	29.4	28.3	26.3	24.9	20.4	16.4	23.1
2004	15.0	15.0	19.9	20.8	25.4	28.9	29.0	29.0	26.4	24.1	19.2	16.9	22.5
EL SARGENTO													
1982	17.8	18.4	19.5	24.3	23.5	26.2	29.2	29.9	30.0	25.5	22.5	19.0	23.8
1983	18.7	19.0	20.5	20.3	23.9	27.7	30.2	29.1	28.3	26.9	23.2	19.9	24.0
1984	18.8	18.4	19.5	21.0	24.5	27.4	27.8	28.7	28.1	24.7	21.3	18.9	23.3
1985	17.0	16.8	19.3	21.3	24.9	27.6	29.0	29.3	28.9	26.1	22.5	22.0	23.7

1986	23.7	21.6	24.4	27.5	29.6	30.1	28.5	29.5	26.6	24.7	22.9	19.0	25.7	
1987	17.3	17.5	18.1	21.1	27.3	26.8	26.6	26.4	29.3	27.3	25.7	23.5	24.0	
1988	17.7	18.7	19.6	21.2	26.4	26.5	26.7	26.5	28.0	26.0	22.6	19.7	24.1	
1989	15.7	18.2	19.5	22.5	23.9	26.3	29.0	28.9	29.2	26.8	22.9	19.3	23.3	
1990	17.7	16.3	19.0	21.8	25.3	29.0	29.2	29.4	28.9	26.4	22.8	19.5	23.8	
1991	16.9	17.9	18.7	21.6	23.8	26.1	27.8	29.2	29.1	26.6	22.9	18.4	23.3	
1992	19.8	18.8	19.3	22.1	24.7	26.3	27.6	29.0	28.3	26.3	22.6	19.6	23.7	
1993	17.9	18.1	20.0	22.5	23.5	26.7	28.9	29.5	28.2	26.6	22.5	20.3	23.7	
1994	19.0	17.7	19.9	22.3	24.3	26.7	29.4	30.1	30.0	26.8	22.9	19.5	24.0	
1995	17.1	19.8	19.9	20.8	22.9	23.4	27.7	28.5	28.6	26.7	23.5	19.5	23.2	
1996	18.0	19.1	19.7	22.7	25.0	27.2	29.6	29.3	26.7	25.8	22.6	18.7	23.7	
1997	17.6	17.3	20.6	20.2	25.2	27.9	30.6	30.6	29.5	26.8	23.8	19.7	24.2	
1998	20.0	19.1	19.9	20.5	25.4	27.5	33.4	33.5	31.7	30.5	23.8	18.2	25.4	
1999	17.4	18.1	18.5	19.9	22.9	26.9	27.9	28.8	27.6	26.2	22.1	18.1	22.9	
2000	17.5	18.2	19.2	21.2	23.6	26.2	28.6	29.5	28.2	25.7	20.5	17.9	23.0	
2001	17.1	17.7	18.3	20.5	24.0	26.0	28.4	28.9	29.5	25.3	23.2	18.3	23.1	
2002	17.2	17.7	18.1	22.6	25.0	25.9	27.6	29.5	29.1	25.6	22.3	19.3	23.3	
2003	18.9	18.9	18.3	21.1	23.4	25.6	28.6	29.6	26.7	26.0	22.7	17.3	23.1	
2004	16.5	16.6	20.1	20.6	24.1	27.0	29.0	29.5	27.8	24.7	20.8	18.4	22.9	
													23.7	
			LA MUELA											
1991	18.4	18.7	18.3	21.1	19.1	21.7	25.0	28.3	28.4	25.2	20.1	17.8	21.8	
1992	17.3	17.4	18.2	20.5	22.9	22.0	28.4	28.4	28.9	26.3	22.7	20.1	22.8	
1993	18.8	17.6	18.7	19.8	19.6	23.3	25.6	27.5	26.6	26.5	21.6	20.3	22.2	
1994	18.1	17.5	18.5	20.1	20.9	23.8	27.1	27.7	28.8	26.6	22.8	19.3	22.6	
1995	18.4	21.1	19.0	18.4	19.5	21.9	28.0	28.0	28.2	24.0	22.5	18.8	22.3	
1996	17.8	18.1	17.8	18.5	20.6	22.6	26.6	27.7	25.2	24.6	21.9	18.7	21.7	
1997	16.1	16.2	19.0	17.4	21.9	22.7	28.9	29.1	27.8	25.4	21.9	18.3	22.1	
1998	18.4	17.2	18.6	18.9	20.9	26.0	28.1	29.0	25.9	25.6	20.5	17.2	22.2	
1999	16.5	18.0	17.0	19.3	20.3	24.1	27.4	28.2	27.2	25.5	22.3	17.2	21.9	
2000	17.8	18.3	16.7	22.9	23.7	25.5	26.9	28.7	27.4	24.3	18.8	18.1	22.4	
2001	16.1	18.3	15.6	17.6	19.4	23.1	26.8	28.0	26.5	22.7	20.1	16.0	20.9	
2002	15.0	16.4	16.1	19.0	20.0	20.1	24.9	25.6	26.5	21.6	19.2	15.6	20.0	
2003	17.1	16.0	15.7	18.4	18.6	22.3	24.9	25.8	25.0	23.2	20.2	15.0	20.2	
2004	13.5	14.4	18.5	20.6	22.0	S/D	28.4	31.1	30.8	30.1	26.1	21.1	21.4	
													21.7	
			VALLE PERDIDO											
1991	15.3	16.7	16.4	20.4	19.9	24.3	25.6	27.4	26.1	23.4	18.6	16.0	20.8	
1992	15.0	15.9	17.1	19.5	21.9	25.4	27.6	26.8	26.8	24.3	19.7	17.8	21.5	
1993	17.2	16.0	18.1	20.1	20.3	25.3	25.8	26.7	25.0	23.9	19.5	17.8	21.3	
1994	16.4	17.0	18.4	19.9	22.2	25.4	27.8	26.8	26.7	23.7	20.7	17.5	21.9	
1995	15.1	19.7	18.8	18.6	21.4	24.7	27.8	27.5	26.7	23.4	22.1	17.2	21.9	
1996	16.7	18.0	20.3	22.3	23.1	26.2	27.8	27.1	24.5	23.6	20.5	16.8	22.2	
1997	14.9	15.4	19.2	17.9	23.4	25.4	28.0	27.5	26.4	24.1	20.2	16.1	21.5	
1998	16.1	15.5	17.2	18.3	22.8	27.2	27.7	27.0	24.8	24.5	19.5	15.5	21.3	
1999	14.5	17.3	17.1	19.3	21.8	25.0	26.3	27.3	26.0	24.6	20.9	16.2	21.3	
2000	17.0	18.0	17.8	21.1	21.4	25.7	27.2	26.8	26.0	23.0	17.8	16.3	21.5	
2001	14.6	16.8	15.3	19.7	21.9	25.6	27.1	27.5	26.1	22.2	19.3	15.0	20.9	
2002	15.1	16.7	17.3	20.9	24.1	24.5	26.9	26.6	26.4	22.0	19.6	15.2	21.3	
2003	17.5	17.5	17.9	20.0	23.1	23.2	26.9	27.1	25.3	23.2	20.0	16.2	21.5	
2004	14.5	14.7	18.9	18.8	22.0	25.2	27.0	26.9	24.8	22.3	19.0	16.5	20.9	
													21.4	



Datos interpolados de dos años anteriores