



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN HIDROCIENCIAS

**“OPCIONES DE MANEJO DEL ACUÍFERO DE GUADALUPE, B.C.,
PARA UN USO SUSTENTABLE DEL AGUA”**

GEORGINA JOSELYN FLORES ZAVALA

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRA EN CIENCIAS

**MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO
2012**

La presente tesis, titulada: **Opciones de Manejo del Acuífero de Guadalupe, B.C., para un Uso Sustentable del Agua**, realizada por la alumna: **Georgina Joselyn Flores Zavala**, bajo la dirección del consejo particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
HIDROCIENCIAS

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



DR. ARTURO GALVIS SPÍNOLA

DIRECTOR:



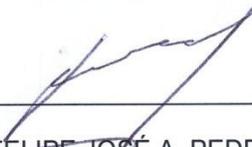
DR. ENRIQUE MEJÍA SAENZ

ASESOR:



M.C. ANA LAURA SANTOS HERNÁNDEZ

ASESOR:



M.C. FELIPE JOSÉ A. PEDRAZA OROPEZA

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Abril de 2012.

Opciones de Manejo del Acuífero de Guadalupe, B.C., para un Uso Sustentable del Agua

Flores Zavala Georgina Joselyn, M. C.
Colegio de Postgraduados, 2012

RESUMEN

El Valle de Guadalupe es la principal región vitivinícola del país, cuyo desarrollo se basa en el recurso hidráulico subterráneo. Sin embargo, en las últimas décadas se ha intensificado la explotación de este recurso para uso agrícola y urbano provocando el abatimiento de los niveles freáticos y poniendo en riesgo su existencia. El presente trabajo tuvo como objetivo simular en un plazo de 25 años (2010-2035) la extracción del acuífero de Guadalupe con un modelo hidrodinámico en dos situaciones: a) si el uso del agua continua como hasta ahora y b) con una reducción de la mitad de extracción actual del 50% los pozos presentes y el resto extrayendo la cantidad de agua actual. El modelo hidrodinámico matemático se baso principalmente en la formulación de un modelo conceptual de funcionamiento del acuífero interpretando conjuntamente y en forma cualitativa todas las variables principales que intervienen, éstas son: geometría general, características hidrodinámicas e hidrogeoquímicas, forma de recarga y descarga del acuífero y las condiciones climatológicas. Los resultados obtenidos fueron; en la primera simulación un abatimiento de 10 a 30 m y en la segunda niveles estáticos alrededor de 5 a 15 m, ambos resultados llevan consigo a largo o mediano plazo una afectación a la producción agrícola de la zona ya que los costos de bombeo aumentarán y problemas medioambientales como la salinización del suelo serán mayores, limitando la producción vitivinícola. Como el recurso hídrico del acuífero de Guadalupe es finito y depende del balance entre su recarga y extracción, la información técnica será básica para legislar una explotación racional.

Palabras Claves: acuífero, niveles freáticos, sobreexplotación, modelo hidrodinámico

Management Options Guadalupe Aquifer, B. C, for a Sustainable Water Use

Flores Zavala Georgina Joselyn, M. C.
Colegio de Postgraduados, 2012

ABSTRACT

Guadalupe Valley is the main wine region of the country, and its development is based on underground hydraulic resources. However, in recent decades the exploitation of this resource has been intensified for agricultural and urban use, causing an abatement of groundwater levels and threatening its existence. This study simulated a period of 25 years (2010-2035) of extraction from the aquifer of Guadalupe with a hydrodynamic model in two scenarios: a) if water use continues as today and b) reducing a half the extraction of 50% of existing wells and the other 50% pumping the same amount of water than in the present. The hydrodynamic model was based mainly on a mathematical formulation of a conceptual model of functioning of an aquifer that is the qualitative interpretation of all the main variables involved, these are: aquifer's general geometry, hydrodynamic and hydro geochemical characteristics, type of aquifer recharge and discharge, and weather conditions. The results were, in the first simulation an abatement of 10 to 30 m, and in the second static levels about 5 to 15 m. Both results produce, in long or medium term, affectation of agricultural production in the area because the costs of pumping will increase and environmental problems, such as soil salinization, will be greater, restraining the production of wine. Due to Guadalupe aquifer is a finite resource and it depends on the balance between the recharge and extraction of water, the basic technical information will be necessary to regulate a rational exploitation of the aquifer.

Key words: aquifer, groundwater levels, overexploitation, hydrodynamic model.

DEDICATORIA

Agradezco a Dios por esta vida que me ha dado, por las lecciones de existencia que me han ayudado a superarme.

A mis Padres Ernestina y Jorge porque en todos los momentos de mi vida han estado ahí para apoyarme, los AMO.

A mi hermana Mónica por todo su apoyo y consejos, muchas Gracias hermanita, mi sobrina es una luz muy grande en mi vida.

A mis hermanos y Cuñado Beto, Jorge, Jesús y Arturo por su cariño.

A ti Anwar por todo tu apoyo y amor. Gracias.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de la Ciencia y la Tecnología y al Colegio de Postgraduados, que han participado en el financiamiento de mi posgrado.

Al Dr. Enrique Mejía Saenz, por todo el apoyo y la confianza que me ha brindado, GRACIAS.

Al Dr. Arturo Galvis Spínola por su enorme apoyo, correcciones y paciencia en la realización de esta investigación.

A la M. C. Ana Laura Santos Hernández y al M. C. Felipe José A. Pedraza Oropeza por todo su apoyo.

Al Dr. Agustín Rodríguez González mi amigo por todo su apoyo y confianza, Gracias:

A todos mis amigos de la oficina por su valioso afecto y momentos agradables que hemos pasado juntos.

CONTENIDO

1. INTRODUCCION	1
2. HIPOTESIS	4
3. OBJETIVOS	5
4. REVISION DE LITERATURA	6
4.2. Entorno Ecológico	10
4.3. Entorno Político	12
4.4. Entorno Económico	17
4.5. Entorno Tecnológico	19
4.5.1. Uso Urbano	22
4.5.2. Recarga y Descarga del Acuífero	26
4.6. Entorno Social	31
4.7. Climatología	32
4.7.1. Cuenca del Arroyo Guadalupe	32
4.7.2. Condiciones Climatológicas en la Zona del Acuífero Guadalupe	33
4.7.3. Evaporación Media Anual en el Área de Influencia del Acuífero Guadalupe	34
4.8. Hidrología Superficial	34
4.9. Marco Geológico Regional	37
4.10. Fisiografía	39
4.11. Geomorfología	41
4.12. Estratigrafía	45
4.13. Hidrogeología	48
4.14. Medios por Donde Circula el Agua Subterránea	50
5. MATERIALES Y METODOS	52
5.1. Comportamiento del Flujo Subterráneo en el Acuífero Guadalupe	53
5.1.1. Registradores Continuos de Nivel y Temperatura	54
5.1.2. Piezometría Regional del Acuífero	57
5.2. Comportamiento de Aguas Superficiales con Aguas Subterráneas	58
5.3. Aprovechamiento del Agua	60
5.3.1. Volúmenes de extracción y características de los aprovechamientos	60
5.4. Modelo Conceptual de Funcionamiento de los Acuíferos	61
5.5. Balances Hídricos	67

5.5.1.	Balance Hidrometeorológico	67
5.6.	Acuífero Guadalupe	70
6.	RESULTADOS	82
6.1.	Comportamiento del Flujo Subterráneo en el Acuífero de Guadalupe	82
6.1.1.	Registadores Continuos de Nivel y Temperatura	82
6.1.2.	Piezometría Regional del Acuífero	88
6.2.	Comportamiento de Aguas Superficiales con Aguas Subterráneas	91
6.3.	Aprovechamiento del Agua.....	101
6.3.1.	Volúmenes de extracción y características de los aprovechamientos	101
6.4.	Balance Hidricos	106
6.4.1.	Balance Hidrometeorológico	106
6.5.	Acuífero de Guadalupe	112
6.6.	Comportamiento del Acuífero Guadalupe en un Periodo de 25 Años.....	125
7.	CONCLUSIONES	130
8.	LITERATURA CITADA	131

CONTENIDO DE FIGURAS

FIGURA 1. UBICACIÓN DE LA CUENCA DE VALLE DE GUADALUPE.	3
FIGURA 2. CROQUIS DE LOCALIZACIÓN.....	6
FIGURA 3. PAISAJE REPRESENTATIVO DE LOS ECOSISTEMAS EN EL VALLE DE GUADALUPE	11
FIGURA 4 . PRECIPITACIÓN ANUAL EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DEL ACUÍFERO GUADALUPE (MM).	33
FIGURA 5. ESCURRIMIENTOS ANUALES AFORADOS EN LA CUENCA DEL ARROYO GUADALUPE..	37
FIGURA 6. MAPA TECTÓNICO DEL CINTURÓN CORDILLERANO.	38
FIGURA 7. ESQUEMA DE LA APERTURA DEL GOLFO DE CALIFORNIA.....	38
FIGURA 8. PROVINCIAS FISIGRÁFICAS RAISZ, 1964.....	39
FIGURA 9. MODELO DE ELEVACIÓN DEL TERRENO.	43
FIGURA 10. INTERPRETACIÓN DE LA IMAGEN DE SATÉLITE.	44
FIGURA 11. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO.	47
FIGURA 12 . SECCIONES GEOLÓGICAS EN LA ZONA DEL ACUÍFERO GUADALUPE.	48
FIGURA 13 . CURVAS DE IGUAL ELEVACIÓN DEL NIVEL ESTÁTICO EN 1973. ACUÍFERO GUADALUPE.	53
FIGURA 14 . LOCALIZACIÓN DE POZOS CON REGISTRADOR CONTINUO DEL NIVEL DEL AGUA.	56
FIGURA 15 . FOSAS CALAFIA Y EL PORVENIR.	65
FIGURA 16 . DISCRETIZACIÓN DEL ACUÍFERO GUADALUPE.....	73
FIGURA 17. SECCIÓN ESTE-OESTE FOSA CALAFIA RENGLÓN 66.....	74
FIGURA 18. SECCIÓN ESTE-OESTE FOSA EL PORVENIR RENGLÓN 78.....	74
FIGURA 19. SECCIÓN ESTE-OESTE RENGLÓN 69.....	74
FIGURA 20. SECCIÓN NORTE-SUR FOSA CALAFÍA COLUMNA 79.	75
FIGURA 21. SECCIÓN NORTE-SUR FOSA EL PORVENIR COLUMNA 48.....	75
FIGURA 22. LOCALIZACIÓN DE POZOS Y NORIAS ACTIVAS.....	78
FIGURA 23 . ZONAS NORTE (AZUL FUERTE) Y SUR (BLANCA) PARA BALANCES DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	80
FIGURA 24. LOCALIZACIÓN DE POZOS DE OBSERVACIÓN.....	81
FIGURA 25. HIDRÓGRAFO POZO 259.....	82
FIGURA 26. HIDRÓGRAFO POZO 259.....	83
FIGURA 27. HIDRÓGRAFO POZO 254 R.	83
FIGURA 28. HIDRÓGRAFO POZO 166.....	84
FIGURA 29. HIDRÓGRAFO POZO 167.....	84
FIGURA 30. HIDRÓGRAFO POZO 117.....	85
FIGURA 31. HIDRÓGRAFO POZO 130.....	85
FIGURA 32. HIDRÓGRAFO POZO 213.....	86

FIGURA 33. HIDRÓGRAFO POZO 122.....	86
FIGURA 34. HIDRÓGRAFO POZO 452.....	87
FIGURA 35. HIDRÓGRAFO DE POZOS PILOTO.	90
FIGURA 36. HIDRÓGRAFO DE POZOS PILOTO (SIN AÑO 1998).....	90
FIGURA 37. HIDRÓGRAFO DE POZOS PILOTO (2001-2009).	91
FIGURA 38. CURVAS DE IGUAL PROFUNDIDAD DEL NIVEL ESTÁTICO EN 1990.....	93
FIGURA 39. CURVAS DE IGUAL PROFUNDIDAD DEL NIVEL ESTÁTICO EN 2009.....	95
FIGURA 40. CURVAS DE IGUAL ELEVACIÓN DEL NIVEL ESTÁTICO EN 1990.	96
FIGURA 41. CURVAS DE IGUAL ELEVACIÓN DEL NIVEL ESTÁTICO EN 2009.	98
FIGURA 42. CURVAS DE IGUAL EVOLUCIÓN DEL NIVEL ESTÁTICO 1990-2009.....	99
FIGURA 43. CURVAS DE IGUAL EVOLUCIÓN DEL NIVEL ESTÁTICO 2001-2009.....	101
FIGURA 44. DISTRIBUCIÓN DE CONDUCTIVIDADES HIDRÁULICAS (M/DÍA).	112
FIGURA 45. DISTRIBUCIÓN DEL RENDIMIENTO ESPECÍFICO.....	113
FIGURA 46 . DISTRIBUCIÓN DE LA ACCIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN EN COLOR AZUL FUERTE, EN EL ACUÍFERO GUADALUPE.	115
FIGURA 47 . CURVAS DE IGUAL ELEVACIÓN DEL NIVEL ESTÁTICO 1990.	116
FIGURA 48. CURVAS DE IGUAL ELEVACIÓN DEL NIVEL ESTÁTICO 2009 CAPA 1.....	119
FIGURA 49. CURVAS DE IGUAL ELEVACIÓN DEL NIVEL ESTÁTICO 2009 CAPA 2.....	119
FIGURA 50. CURVAS DE IGUAL EVOLUCIÓN DEL NIVEL ESTÁTICO 1990- 2009 CAPA 1.	120
FIGURA 51. CURVAS DE IGUAL EVOLUCIÓN DEL NIVEL ESTÁTICO 1990-2009 CAPA 2.	120
FIGURA 52. CARGAS PIEZOMÉTRICAS EN EL ACUÍFERO OBSERVADAS VS CALCULADAS.	121
FIGURA 53 . PREDICCIÓN DE LA CONFIGURACIÓN DE LAS ELEVACIONES DEL NIVEL ESTÁTICO PARA EL AÑO 2035, INERCIAL CAPA 1.....	125
FIGURA 54. PREDICCIÓN DE LA CONFIGURACIÓN DE LAS ELEVACIONES DEL NIVEL ESTÁTICO PARA EL AÑO 2035, INERCIAL CAPA 2.....	126
FIGURA 55. PREDICCIÓN DE LA CONFIGURACIÓN DE LAS EVOLUCIONES DE LOS NIVELES ESTÁTICOS 1990-2035, INERCIAL CAPA 1.....	126
FIGURA 56. PREDICCIÓN DE LA CONFIGURACIÓN DE LAS EVOLUCIONES DE LOS NIVELES ESTÁTICOS 1990-2035, INERCIAL CAPA 2.....	127
FIGURA 57. PREDICCIÓN DE LA CONFIGURACIÓN DE LAS ELEVACIONES DEL NIVEL ESTÁTICO PARA EL AÑO 2035, CAPA 1.	128
FIGURA 58. PREDICCIÓN DE LA CONFIGURACIÓN DE LAS ELEVACIONES DEL NIVEL ESTÁTICO PARA EL AÑO 2035, CAPA 2.	128
FIGURA 59. PREDICCIÓN DE LA CONFIGURACIÓN DE LAS EVOLUCIONES DE LOS NIVELES ESTÁTICOS PARA EL PERÍODO 1990-2035 CAPA 1.....	129
FIGURA 60. PREDICCIÓN DE LA CONFIGURACIÓN DE LAS EVOLUCIONES DE LOS NIVELES ESTÁTICOS PARA EL PERÍODO 1990-2035 CAPA 2.....	129

CONTENIDO DE CUADROS

CUADRO 1. PRINCIPALES CASAS VITIVINÍCOLAS UBICADAS EN LA ZONA DEL VALLE DE GUADALUPE, BAJA CALIFORNIA. FUENTE: SEDECO, 2004 (INFORMACIÓN TOMADA DE SEDESOL, 2006).	8
CUADRO 2. POZOS CON MONITOREO CONTINUO	54
CUADRO 3. NÚMERO DE APROVECHAMIENTOS DE AGUA CENSADOS, ACUÍFERO GUADALUPE.	102
CUADRO 4. VOLÚMENES UTILIZADOS DE AGUA SUPERFICIAL.	103
CUADRO 5. VOLÚMENES UTILIZADOS DE AGUA SUBTERRÁNEA.	103
CUADRO 6. MEDIDAS ELÉCTRICAS EN LOS EQUIPOS DE BOMBEO.....	104
CUADRO 7. VOLÚMENES DE EXTRACCIÓN Y NIVELES DEL AGUA SUBTERRÁNEA MEDIDOS EN CAMPO.....	105
CUADRO 8 . BALANCE HÍDRICO DEL ACUÍFERO GUADALUPE.....	110
CUADRO 9 . CONDUCTIVIDADES HIDRÁULICAS EN EL MODELO “GUADC.VMF”.....	113
CUADRO 10. VALORES DE ALMACENAMIENTO ESPECÍFICO MODELO “GUADC.VMF”.	114
CUADRO 11. ZONAS DE RECARGA (M/DÍA).	117
CUADRO 12. BALANCE–ENTRADAS DE AGUA SUBTERRÁNEA AÑO 2009 RESPUESTA DE MODELO DE SIMULACIÓN “GUADC.VMF”.	122
CUADRO 13. BALANCE–SALIDAS DE AGUA SUBTERRÁNEA AÑO 2009 RESPUESTA DE MODELO DE SIMULACIÓN “GUADC.VMF”.	123
CUADRO 14. BALANCE DEL AÑO 2009 DE LA ZONA NORTE EN EL MODELO CALIBRADO “GUADC.VMF”.....	124
CUADRO 15. BALANCE DEL AÑO 2009 DE LA ZONA SUR EN EL MODELO CALIBRADO “GUADC.VMF”.....	124

1. INTRODUCCION

El Valle de Guadalupe ha sido uno de los principales productores vitivinícola del estado de Baja California, cuyo desarrollo se basa en el recurso hidráulico subterráneo. Sin embargo a partir de las últimas décadas se ha intensificado la explotación del acuífero con la perforación de nuevos aprovechamientos, provocando los consecuentes abatimientos de los niveles freáticos, como un indicio de sobreexplotación.

El acuífero de Valle de Guadalupe capta y almacena más de 25 millones de metros cúbicos anuales de agua, pero la extracción para la agricultura y para abastecer a la ciudad de Ensenada es superior a esa cantidad.

Las condiciones del marco físico que prevalecen en la región del Valle de Guadalupe son consecuencia de un ambiente árido constituido de ecosistemas frágiles, por esta razón, la sustentabilidad del Valle depende en gran medida de la forma en que se hace uso del agua y de las medidas que se toman para captarla en el acuífero.

La disponibilidad, del agua subterránea, según la norma establecida por la CONAGUA, en los cuatro acuíferos de la cuenca del Arroyo Guadalupe alcanza un déficit superior a los 30 hm³/año, lo que representa casi el 50% de la extracción total. Desde el punto de vista de aguas superficiales, la cuenca del Arroyo

Guadalupe, está integrada desde el nacimiento del arroyo Agua Caliente hasta su desembocadura al Océano Pacífico, con un área de 2,380.5 km². Dentro de esta cuenca se genera un escurrimiento por cuenca propia de 40.6 hm³/año, de la cual se aprovecha un volumen de 34.2 hm³/año y por otro lado, la disponibilidad de aguas superficial arroja un valor de 2.3 hm³/año.

Adicionalmente, las aguas del subsuelo de los acuíferos de Baja California, se declararon de interés público, decretando zonas de veda por tiempo indefinido para alumbramiento de aguas del subsuelo desde el 26 de febrero de 1962 en la zona del Arroyo Guadalupe, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 26 de marzo de 1962. Posteriormente el 22 de abril de 1965 se decretó la zona de veda para todo el estado de Baja California, derogando el Decreto anterior y publicado en el Diario Oficial de la Federación el 15 de mayo de 1965.

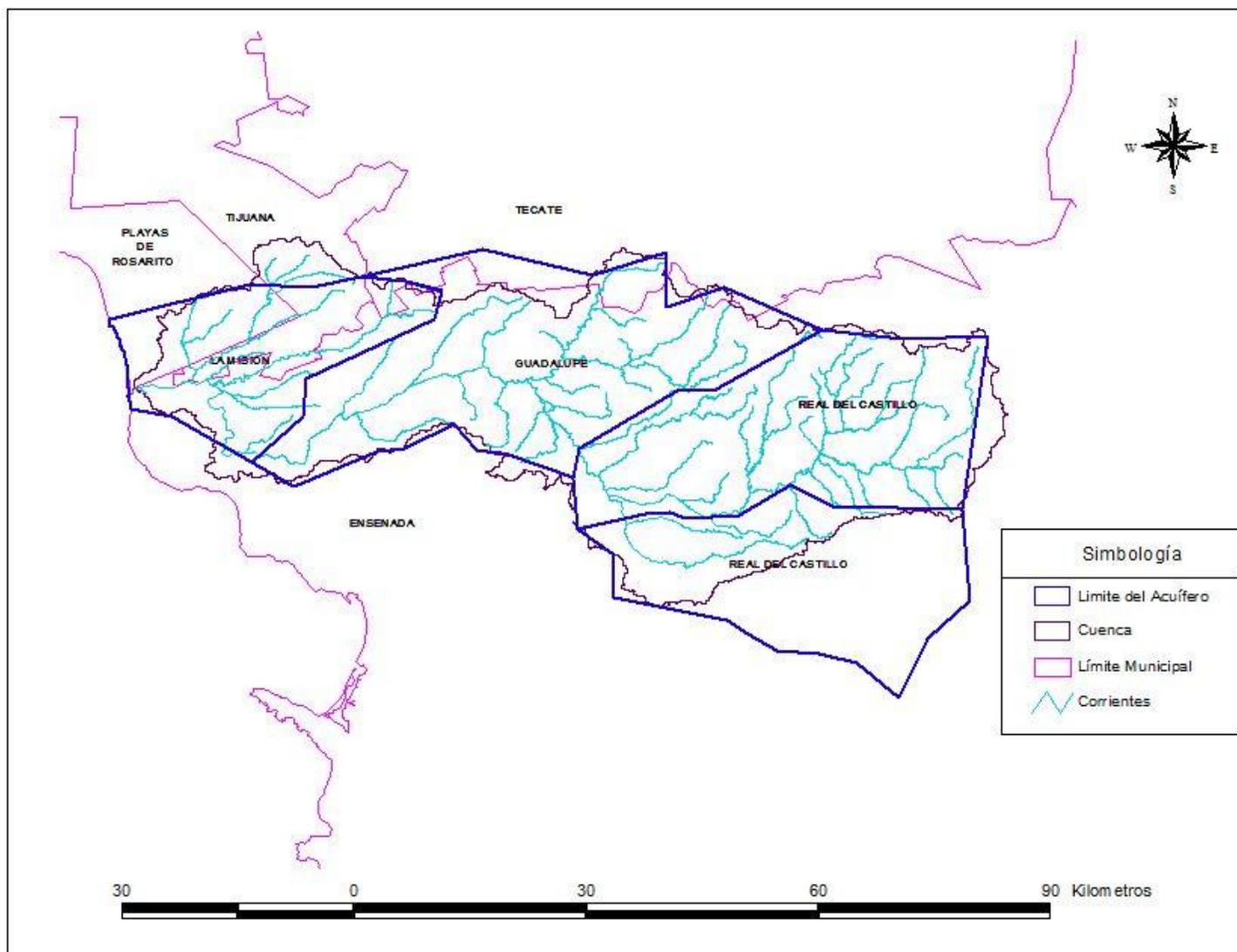


Figura 1. Ubicación de la Cuenca de Valle de Guadalupe.

2. HIPOTESIS

La disponibilidad del agua en el Valle de Guadalupe depende de la relación de la extracción y recarga hídrica de su acuífero, donde la competencia por el uso de este recurso provoca la sobreexplotación del mismo.

3. OBJETIVOS

El presente trabajo tuvo como objetivo a través del uso de un modelo hidrodinámico, simular en un plazo de 25 años (2010-2035) la extracción hídrica del acuífero de Guadalupe con base en dos situaciones: a) si continua el uso del agua como hasta ahora; b) de 50% los pozos actuales reducir su extracción a la mitad y el resto con un bombeo similar al actual.

4. REVISION DE LITERATURA

4.1. Antecedentes

El Acuífero del Valle de Guadalupe se localiza a 37 km de la ciudad de Ensenada, entre los paralelos $31^{\circ}58'$ y $32^{\circ}15'$ de latitud norte, y los meridianos $116^{\circ}04'$ y $116^{\circ}45'$ de longitud oeste; colindando al norte con el Acuífero de Las Palmas, al sur con el Acuífero de Ensenada, al este con los Acuíferos de Real Del Castillo y Ojos Negros, y al oeste con el Acuífero de La Misión, cuenta con una extensión territorial de 964.19 km^2 . En él se ubican las localidades de Francisco Zarco, Ejido El Porvenir y Ejido Ignacio Zaragoza.

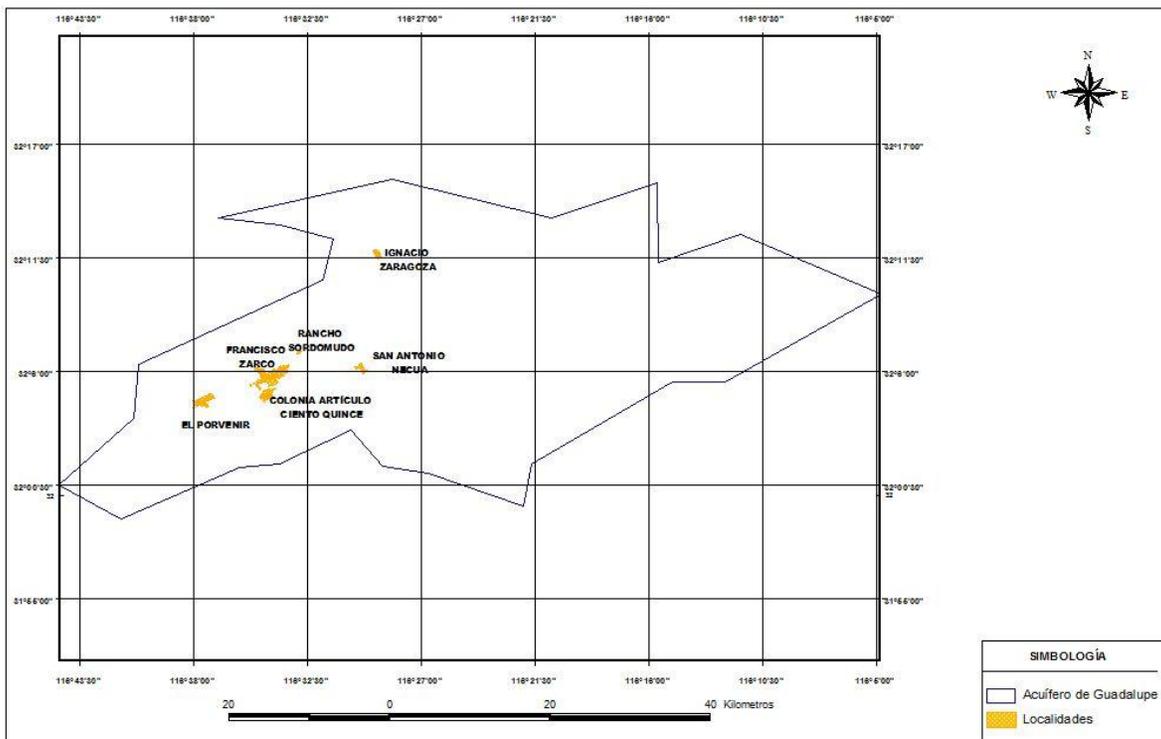


Figura 2. Croquis de localización

El Acuífero Valle de Guadalupe abarca una superficie de 96,419 hectáreas IMIP (2009) y los principales usos del suelo son el chaparral (76.1%), asentamientos humanos (10.5%) y agrícola (6.5%). Con menos superficie (6.9%) se encuentran bosques y otro tipo de vegetación.

Según SEDESOL (2006), la Región del Vino específicamente la superficie agrícola abarca 12,114 hectáreas, de las cuales 7,977 son de temporal y 4,137 de riego.

En el periodo 2003-2004 en cuanto a superficie sembrada y cosechada, la vid tuvo preponderancia con 2,028 y 1,178 ha respectivamente, seguida por el olivo con 980 y 143 ha, jitomate con 265.5 y 258.5 ha y alfalfa con 268 y 160 ha, por lo que son los cultivos más importantes de esta región, tanto por los ingresos económicos que representan como por la generación de empleo, aunque la producción vinícola es la actividad agroindustrial más significativa de la zona. Entre las empresas de este sector destaca la empresa Bodegas de Santo Tomás, S.A. de C.V., en los valles de San Antonio de las Minas y de Guadalupe, por ser la de mayor antigüedad en la Región del Vino.

En la década de los años sesenta Ensenada tenía diez mil habitantes y en lugar de carreteras sólo contaba con pistas de terracería. En el Valle de Guadalupe sólo existía la colonia rusa. Después se fundó Olivares Mexicanos y para 1964 se construyó la carretera, por lo que a partir de esa fecha empezó la evolución del Valle. En aquel tiempo sólo estaba LA Cetto, Casa Domecq y Vinos Terrasola, la

cual cerró quedando únicamente las dos primeras y unos productores pequeños caseros (Lammers, 2009). Según la CNN (2006), sólo cuatro compañías aportan 89% de la producción de vinos en B.C., mismos que fueron los primeros en establecerse en la región y dar un impulso empresarial, entre las que destacan la francesa Pernod Ricard (antes Casa Pedro Domecq) y L.A. Cetto con 77 años de presencia en la región y la de mayor superficie (1,000 hectáreas en Tecate y los tres valles principales), produciendo 600,000 cajas anuales. Otras bodegas con una producción media son Santo Tomás y Monte Xanic, que venden entre 75,000 y 50,000 cajas anuales, respectivamente (CNN, 2006). De acuerdo a la SEDESOL (2006), las casas vitivinícolas de la región se enlistan en la información que a continuación se presenta. (Cuadro 1).

Cuadro 1. Principales casas vitivinícolas ubicadas en la zona del Valle de Guadalupe, Baja California. Fuente: SEDECO, 2004 (información tomada de SEDESOL, 2006).

Razón Social	Nombre de Marca	Fundación
Bodegas de Santo Tomas, S. A. de C. V.	Santo Tomas	1888
Industrias Vinícolas Pedro Domecq, S. A. de C. V.	Domecq	1973
Productos de Uva, S. A. de C. V.	L. A. Cetto	1975
Cavas Valmar, S. de R. L. de C. V.	Cavas Valmar	1983
Bodegas de Guadalupe, S. A. de C. V.	Vinos Bibayoff	1986
Monte Xanic, S. de R. L. de C. V.	Monte Xanic	1988
Viña de Liceaga, S. de R. L. de C. V.	Viña de Licega	1991
Chateau Camou, S. A. de C. V.	Chateau Camou	1994
Agrocultivos Casa de Piedra, S. A. de C. V.	Casa de Piedra	1994
Mogor-Badán	Mogor Badán	1998
Adobe Guadalupe, S. de R. L. de C. V.	Adobe Guadalupe	2002
Vinisterra, S. A. de C. V.	Vinisterra	1999
Vinícola Tres Valles, S. A. de C. V.	Vinicola Tres Valles	
Vinícola Pijoan	Vinicola Pijoan	2000
Vides y Vinos Californianos, S. P. R. de R. L.	Vides y Vinos Californianos	
Chimul Vinos Albarolo, S. de R. L.	Chimul Vinos Albaolo	
Barón Balché, S. de R. L.	Baron Blache	

Baja California tiene la gran limitación de los recursos hídricos para el riego y por las condiciones del marco físico se obtiene un bajo rendimiento, donde se llega a producir alrededor de 5 toneladas de uva por hectárea, en oposición de las 15 o más que pueden lograr, por ejemplo, algunas bodegas de Chile. La escasa producción se atribuye a la falta de agua, la cual es el elemento principal.

La calidad del vino está fuertemente influenciada por la calidad de la materia prima utilizada durante el proceso de vinificación. Los factores que afectan el desarrollo de la baya son variados, pudiendo mencionarse entre otros, el lugar de implantación del viñedo con todo lo que ello conlleva, como tipo de suelo y el efecto del mismo sobre la disponibilidad hídrica y nutricional; clima de la zona y su efecto térmico y lumínico, que tendrá una gran influencia no solo en procesos como la inducción y diferenciación floral, sino que además durante toda la etapa de desarrollo de la baya, afectando el proceso fotosintético y las rutas de síntesis directa e indirectamente relacionadas con el mismo, como es la síntesis de azúcares y a partir de ellos de ácidos y metabolitos secundarios responsables del color, cuerpo, aroma, etc. Adicionalmente se verán afectados procesos de respiración metabolitos tales como ácidos y algunos compuestos aromáticos. El suelo, clima y los manejos agronómicos implementados, están íntimamente ligados también con el desarrollo morfológico del fruto, afectando su tamaño final, y por ende la relación superficie/volumen del mismo, lo que implica contar con una mayor o menor cantidad de hollejos y semillas en relación al tamaño de la baya, y por tanto con una mayor o menor concentración de aromas y antocianos,

localizados en los hollejos, taninos localizados en hollejos y principalmente en las semillas y por supuesto ácidos y azúcares presentes en las células de la pulpa (Peña Neira, 2005).

4.2. Entorno Ecológico

Los ecosistemas son consecuencia del tipo de suelo y clima que predominan en una determinada región, donde la actividad humana juega un papel fundamental ya sea para promover su conservación o deterioro. En el caso del estado de Baja California, el hombre los está vulnerando de tal forma que la desertificación de su territorio se acelera por la salinización de los terrenos, la sobreexplotación de los acuíferos y la pérdida de suelo (Gov. BC, 2007), exacerbándose por la falta de planeación en el uso del suelo en áreas conurbadas y agrícolas, el crecimiento continuo de asentamientos humanos irregulares con desarrollo desordenado y anárquico, la quema indiscriminada y sobreexplotación de la cubierta vegetal, la práctica de la ganadería de bajo nivel de tecnificación, bosques con regeneración natural casi nula y susceptibles a plagas y enfermedades, de entre otros aspectos. Esto mismo fue identificado por Kilpatrick et al. (1997), ya que la modificación del uso de la tierra y la eliminación de la vegetación natural ocasiona la erosión acelerada en el arroyo principal del Valle de Guadalupe. En los sitios donde se ha perdido vegetación y mantillo, el lecho se ha profundizado y el arroyo se llenó de arena, mientras que el impacto del pastoreo incrementa el proceso erosivo ya que las zonas donde se tiene este tipo de actividades sigue un patrón típico de degradación ambiental provocada por sobre pastoreo.

El Valle de Guadalupe es un entorno árido con problemas de escasez de agua y ecosistemas frágiles y, de acuerdo con Badán (CNN, 2006), el agua es uno de los problemas más graves que enfrenta la región porque existe una crisis de abastecimiento en el Valle de Guadalupe, a tal grado de que no hay suficientes recursos hídricos como para cultivar grandes extensiones.



Figura 3. Paisaje representativo de los ecosistemas en el Valle de Guadalupe

Lo anterior es atribuido a una extracción excesiva del acuífero, la cual según dicho investigador debería ser de 10 Mm³ y no superar los 25 Mm³; sin embargo, se extraen 30 Mm³ promedio. Según la información del área climatológica de CONAGUA, durante 1997 la presa de Ensenada bajó su nivel de 17 Mm³ a 8.5 Mm³. Entre febrero y mayo de 1998, que fue un año atípico con abundantes lluvias (495.6 mm), la presa alcanzó su nivel máximo almacenando 133.9 Mm³. Después

de este año, a la fecha, vuelve a disminuir el nivel hasta llegar al que tiene ahora. Las aguas superficiales en la región son escasas y su distribución en el tiempo es irregular, se registran largos periodos sin escurrimientos y lapsos cortos con escurrimientos que difícilmente se pueden aprovechar. Los ríos y arroyos tienen una gran pendiente y corta longitud, de tal manera que el agua que fluye por estos cuerpos de agua desembocan rápidamente al mar (García Ochoa, 2008).

Una parte fundamental de la solución dependerá de dejar de abastecer a la ciudad de Ensenada con agua del acuífero ubicado en el Valle de Guadalupe y se detenga la minería de arena. La extracción masiva de arena de los lechos de los arroyos causa un daño ecológico importante, razón por la cual el gobierno de los Estados Unidos prohibió dicha práctica. Entonces, eso generó un mercado lucrativo en México el cual, aunque no es clandestino, la forma en que se ha tratado de regular no ha sido la correcta. Esto es, las personas que explotan los arroyos cuentan con los permisos para hacerlo, pero son concesiones ilegales o fueron otorgadas sin seguir los procedimientos establecidos (Lammers, 2009).

4.3. Entorno Político

Baja California afronta las consecuencias de un crecimiento socioeconómico que no compatibilizó el proceso general del desarrollo con la conservación de la calidad del ambiente y de los recursos naturales, a partir de ello se generó la problemática ambiental que presenta la entidad. Lo anterior es atribuible en parte a la falta de coordinación en la administración a distintos niveles de gobierno y de

planes de manejo apropiados, así como a la escasa o nula atención de las dependencias involucradas, por lo que de continuar esta situación de abandono es posible que el deterioro constante del patrimonio natural llegue en un futuro próximo a tener efectos irreversibles (Gob. BC, 2008).

En visión de los productores de vino de la región, la ecología de Baja California está permanentemente en riesgo por la falta de planificación (CNN, 2006), donde el enólogo Hugo D'Acosta sostiene que el control de la mancha urbana en Ensenada y el desarrollo de complejos habitacionales necesita una visión integral de largo plazo y reconoce que hay cierta intención del gobierno de ayudar, pero que las autoridades no saben cómo hacerlo y este es el caso de iniciativas como el Comité de Planeación del Desarrollo Municipal (COPLADEM), una entidad con participación de empresas, ciudadanos y gobierno creada a inicios de la presente década.

Otro caso es el de la Secretaría de Desarrollo Económico del estado que inició en septiembre de 2003 reuniones de trabajo con participantes potenciales de un cluster (cadena productiva) del vino en el Valle de Guadalupe, pero los esfuerzos fueron dispersos y no fructificaron a tal grado de que no hubo consensos para abordar de manera integral el impacto ambiental generado por el auge inmobiliario y los desarrollos industriales en la zona (CNN, 2006).

Según Lammers (2009), al cambiar funcionarios se modifican las tendencias y prioridades de las acciones, poniendo de manifiesto la falta de sensibilidad entre los gobernantes, porque hace falta un entorno gubernamental que apoye más a la producción del vino mexicano. Incluso asevera que cuando en la región haya más agua disponible, habrá más rendimiento y producción de vino, pero en todo caso se requiere que el entorno fiscal sea más amable, lo cual favorecería el hecho de poder ofrecer vinos accesibles y permitir entrar al vino mexicano en la cultura nacional. Con ello se esperaría enriquecer todo el proceso: al haber más vinos, más propuestas con mayor competencia y estilos.

Baja California ha sido una de las entidades con mayor dinamismo y progreso económico en México, pero de acuerdo a Sarmiento (2009) esto requiere de un esfuerzo concertado muy intenso. Dicho autor asevera que el clima de violencia que se vive actualmente con continuas balaceras, ejecuciones y secuestros, han ahuyentado a los turistas reduciendo la actividad económica en la región, por lo que dicha situación debe detenerse de inmediato y eliminar los obstáculos a la inversión productiva. La devaluación del peso puede generar nuevas inversiones, pero nada podrá funcionar si los bajacalifornianos no recuperan la tranquilidad.

Actualmente existe un equilibrio entre la demanda de agua y la disponibilidad del recurso para todo el estado (García Ochoa, 2008). No obstante lo anterior, la necesidad de abastecimiento de agua se incrementa constantemente porque tanto la población como las actividades productivas están creciendo aceleradamente, lo

que conlleva a un problema importante debido a que las condiciones climáticas de la región no lograrán satisfacer la demanda hídrica. Como las lluvias son escasas, no es factible almacenar suficiente agua y se dificulta la recarga de los acuíferos, por ello, las autoridades federales y estatales deben buscar nuevas fuentes de aprovechamiento como la desalación de agua de mar y la reutilización de aguas tratadas, que en los dos casos existen proyectos viables que en el corto plazo estarán funcionando en diferentes partes del estado. Aunado a lo anterior, se requiere hacer partícipe a la población y fomentar una nueva cultura del agua, concientizando a la ciudadanía de la importancia de valorar el uso y ahorro de los recursos hídricos.

De acuerdo con el C.P. Óscar Escobedo Carignan, Secretario de Turismo del Estado de Baja California, la Región del Vino en Ensenada es una de las ocho zonas propicias para la elaboración del vino en México y es la más apropiada para la producción de la uva, donde se elabora 90% del vino que se produce en el país y aporta 11 millones de dólares entre IEPS y el IVA, así como siete mil empleos. Por ello, FONATUR elaboró un Programa Sectorial de Desarrollo Urbano Turístico de los valles vitivinícolas de la zona norte de Ensenada, para fomentar el desarrollo ordenado y sustentable de la actividad agrícola y turística del Valle de Guadalupe, estableciendo estrategias y acciones a corto, mediano y largo plazo, para convertirlas en un elemento detonador regional. Entre los resultados del citado Programa se ha considerado como actividades prioritarias la planeación y orientación de los recursos hidráulicos, promover el ordenamiento del acuífero, hacer eficiente la extracción del agua y el tratamiento para su reutilización, adquirir

reservas territoriales y llevar a cabo un programa de ordenamiento territorial en la región del vino (Monterrosas Figueiras, 2009). FONATUR asevera que la extracción intensiva de arena de los cauces y arroyos daña severamente la capa protectora del acuífero, por lo que propone se evite esta actividad (Monterrosas Figueiras, 2009).

En versión del Lic. José Guadalupe Osuna Millán, Gobernador del Estado de Baja California, la producción de vino se ha consolidado como una industria y agricultura en expansión, que se caracteriza por un horizonte de amplios alcances en su calidad y volúmenes, así como por la diversidad de sus mercados en el territorio nacional y en el extranjero. Actualmente se produce más del 90 por ciento de los vinos nacionales en los Valles de Guadalupe, Santo Tomás, Ojos Negros y San Antonio de las Minas, logrando reconocimientos internacionales. El vino y los procesos productivos vinculados directa e indirectamente a su elaboración abarcan diversas ramas económicas y de ahí su importancia para el desarrollo económico de la región. Más aún, esta actividad no sólo forma parte de hábitos productivos tradicionales en países como Chile, Sudáfrica, Australia o Argentina, sino que constituye un eje productivo que contribuye de manera decisiva a su crecimiento económico. Por ello, se pretende realizar algo similar en Baja California como entidad productora de vino, por los alcances excepcionales que se pueden lograr y de ahí el interés en que la política económica y fiscal promueva el fortalecimiento y reconocimiento de esta industria. En este sentido, las iniciativas que se proponen es estimular la industria vitivinícola a través de la revisión del

Impuesto Especial Sobre la Producción de Bienes y Servicios, para que fuese tratado este producto como bebida fermentada. Con ello se espera tener una industria del vino competitiva y fuerte, la cual promueva el desarrollo del turismo y de diversas actividades productivas en la región (Monterrosas Figueiras, 2009).

4.4. Entorno Económico

Desde el punto de vista económico, una de las motivaciones más importantes en el crecimiento y desarrollo del Valle de Guadalupe está centrada en crear la versión mexicana de las rutas del Napa Valley (Estados Unidos), de Mendoza (Argentina) o de los valles centrales de Chile, ya que actualmente se encuentran vinos de distinta calidad y precio. Según CNN (CNN noticias, 2006), en la zona hay 21 bodegas establecidas de manera formal y anualmente surgen seis nuevos proyectos vitivinícolas; sin embargo, la falta de infraestructura, de control ambiental y otros factores que determinan el precio del vino que allí se produce e inducen riesgos que pueden alterar negativamente sus planes de desarrollo.

De acuerdo con datos de la Secretaria de Desarrollo Económico (SEDESOL, 2006), en la Región del Vino se comercializan cerca de 8 millones de cajas de vino al año, de los cuales 99.05% provienen de tres empresas (Santo Tomás, L.A. Cetto y Casa Domecq), dos más contribuyen con el 0.8% de la producción (Monte Xanic y Chateau Camou) y el restante 0.15% es producido por las demás casas vitivinícolas de la región, promovidos por la organización de la escuela de oficios

ubicada en el ejido El Porvenir, donde se producen desde caldos artesanales hasta la exportación de vinos y elaboración por encargo de manera exclusiva. A pesar de las cifras anteriores, los proyectos vinícolas están en expansión como el de la Casa de Piedra, la cual espera abarcar casi la tercera parte de las hectáreas disponibles para la uva de vino del Valle de Guadalupe (CNN, 2006).

Las bodegas pequeñas generan alrededor de 1,000 cajas anuales cada una y los montos que deben enfrentar para colocar su producto fuera de Baja California hacen que esto sea una tarea muy complicada. Según Falcón (2009), el precio de los insumos y su importación encarece el proceso de producción y el apoyo gubernamental para mejorar la capacidad de exportación de las vinícolas pequeñas o de recién creación aún es insuficiente. Una alternativa es la unión entre los vinicultores pequeños para adquirir mayor fuerza y conseguir insumos en grupo como envases, corchos, tanques entre otros e incluso apoyos del mismo gobierno, no como subsidios de insumos sino más bien en infraestructura. Por otro lado, aunque las compras en mayor volumen disminuyen los costes, los aranceles de importación más el flete hasta el DF llega a ser el doble de lo que paga un productor de Napa Valley, haciendo prohibitivo salir del estado para muchas bodegas pequeñas. Según Lammers (2009), los vinos son caros porque los rendimientos son mucho más bajos que en otras zonas y el entorno fiscal es mucho más difícil que el de otras regiones. Las Casas vinícolas extranjeras que comercializan sus vinos en México también pagan impuestos, pero la diferencia está en que no tienen la carga de la administración del impuesto como ocurre con las Casas Nacionales, quienes tienen la obligación de llevar inventarios, hacer

reportes, conseguir marbetes, pagar impuestos de manera mensual, etc. Los impuestos deben ser cubiertos por todos (productos nacionales y extranjeros) pero lo verdaderamente oneroso es el costo administrativo.

Hacer vino es técnicamente accesible y de ahí que se esté promoviendo el crecimiento de esta agroindustria, pero la falta de infraestructura, los altos costos de producción, los impuestos y las barreras burocráticas han impedido que los productores pasen de un nivel artesanal y que la relación precio/calidad de sus productos sea superior a lo que debería ofertarse, con lo que se incrementa el riesgo de que no sean competitivos (CNN, 2006). Al entrar en vigor los tratados de libre comercio, se eliminaron los aranceles de los vinos importados, haciendo que la competencia sea más equitativa; aunque los productores nacionales consideran que están en desventaja por dumping; sin embargo, esto no se ha demostrado (Catadores, 2005). Más aún, los productores de vino (nacionales y extranjeros) deben pagar el IEPS (Impuesto Especial sobre Productos y Servicios) de 25% y el IVA del 15%. Como alternativa está la alianza entre empresas, universidades y Estado, la cual permite un desarrollo más adecuado en todos los sentidos: político-legal, transportes, insumos, investigación, capacitación, hasta proyectos de imagen del país con representaciones en el extranjero para desarrollar las ventas.

4.5. Entorno Tecnológico

La infraestructura hidráulica en la Región del Vino se encuentra básicamente en las obras de extracción de agua subterránea y en los acueductos Morelos y La

Misión-Ensenada, que van desde los acuíferos de Valle de Guadalupe y de La Misión, respectivamente, hasta la ciudad de Ensenada (SEDESOL, 2006). En el documento consultado de esta misma institución, se reporta que el acuífero del Valle de Guadalupe cuenta con una infraestructura para la extracción de aguas subterráneas de 870 aprovechamientos, de los cuales 191 son pozos, 677 norias y 2 manantiales. El Acueducto Morelos tiene una longitud de 35.88 km y una capacidad para conducir 1,000 lps de agua extraída en los pozos del acuífero del Valle de Guadalupe a los tanques Morelos y los que se localizan en Ensenada. De acuerdo con el Programa Estatal Hidráulico 2003-2007 (PEH) y el Programa Estatal Hidráulico 1995-2000 (PEH), el agua del acuífero de Guadalupe se emplea para uso agrícola (13 Mm³), público (6 Mm³) y doméstico (2 Mm³).

El problema del agua destaca entre los factores más importantes, donde se reconoce que su fuente más importante es la que se obtiene de los acuíferos subterráneos, la cual se encuentra al límite permitido y en algunos casos está sobreexplotada por su alta extracción (López Núñez, 2008). De hecho, existe una crisis de abastecimiento en el Valle de Guadalupe por la sobre explotación del acuífero, porque debería ser de 10 Mm³ y no superar los 25 Mm³. A pesar de ello, se extraen 30 Mm³ en promedio, por lo que gran parte de la solución dependerá de que Ensenada deje de abastecerse del acuífero que pertenece al Valle de Guadalupe (CNN, 2006). De acuerdo a (Badán, *et al.*, 2005), el acuífero capta y almacena más de 25 Mm³ anuales de agua, pero la extracción para la agricultura y para abastecer a la ciudad de Ensenada supera esa cantidad. Por ello, la dotación destinada a la ciudad debe impedirse, ya que existen alternativas viables que

solucionen su demanda hídrica como es la desalinización del agua de mar, lo cual permitiría restablecer el equilibrio del acuífero del Valle de Guadalupe.

En las zonas agrícolas del municipio de Ensenada, principalmente los valles de Guadalupe, Maneadero y San Quintín, el agua utilizada para riego agrícola proviene de la extracción de aguas subterráneas, provocando el abatimiento del manto acuífero por la sobreexplotación de dicho recurso (Gob. BC, 2007). Por ello, se propone la reutilización de las aguas residuales, proteger las áreas de recarga de los acuíferos y emplear tecnologías que permitan aumentar la disponibilidad de agua potable y disminuir la presión sobre los acuíferos. En este sentido, también se reconoce que la extracción y el aprovechamiento de los materiales pétreos de los cauces de los arroyos del Municipio se ha incrementado de manera importante en los últimos años, por lo que se considera necesario controlar su aprovechamiento con base en tres objetivos: a) mantener la disponibilidad del material pétreo; b) no afectar la recarga de los mantos acuíferos del Municipio; c) mantener el aporte terrígeno hacia las costas (López Núñez, 2008). Para llevar a cabo lo anterior se proponen como líneas de acción lo siguiente: a) gestionar e implementar un programa de manejo integral del agua en coordinación con la Comisión Nacional del Agua y CESPE; b) controlar el aprovechamiento de materiales pétreos en los arroyos del Municipio; c) aprovechar el agua tratada en obras de construcción, agricultura y riego de áreas verdes, recreativas y camellones; d) aumentar la capacidad y eficiencia de la infraestructura para la captura, extracción, generación, el traslado, suministro y ahorro de agua potable; e) establecer instrumentos legales y administrativos necesarios para mantener la

funcionalidad de los arroyos, áreas forestales y cañadas, como captadores de agua; f) crear mecanismos de vigilancia para un adecuado uso de los recursos naturales, en coordinación con los órdenes de gobierno estatal y federal, y con la sociedad; g) gestionar los instrumentos legales y administrativos necesarios para conservar, vigilar y restaurar los ambientes costeros y riparios (arroyos); h) hacer la gestión para decretar ambientes costeros y riparios (arroyos), como áreas de preservación ecológica; i) gestionar que se defina la Zona Federal Marítimo-Terrestre, y la de los cauces de los arroyos, en coordinación con otras instituciones de gobierno, asociaciones civiles, iniciativa privada, instituciones académicas y sociedad civil. El surgimiento de nuevas actividades, como la pujante industria vitivinícola del Valle de Guadalupe, ha servido para sacar adelante a un Estado que, a pesar de todas sus dificultades, tuvo por años una de las tasas de desempleo más bajas del País. Un exceso de explotación del acuífero en el Valle de Guadalupe está poniendo en riesgo la producción vitivinícola e incluso la provisión de agua de la ciudad de Ensenada (Sarmiento, 2009).

4.5.1. Uso Urbano

Debido a la evolución que ha tenido el Valle de Guadalupe, se torna atractivo para la especulación de la tierra; sin embargo, por la forma en que se están llevando a cabo los desarrollos habitacionales, estos suelen presentar un impacto negativo sobre el paisaje, los acuíferos y las tierras agrícolas, puesto que el Valle al ser un entorno árido, con escasez de agua y ecosistemas muy frágiles, es más vulnerable al deterioro. Por ello, es indispensable que el crecimiento sea armónico

con el entorno y que se lleve a cabo de manera sustentable, donde el elemento angular de los desarrollos debe centrarse en la vitivinicultura y los olivos (Lammers, 2009).

El acelerado crecimiento de la población en el estado, así como las actividades productivas, demandan cada día más agua y las características climatológicas de la región, impiden que se incremente su disponibilidad. Esto se debe a que las aguas superficiales en la región son escasas y su distribución en el tiempo es irregular, se registran largos periodos sin escurrimientos y cuando ocurren, se presentan en lapsos cortos que difícilmente se aprovechan. Los ríos y arroyos tienen una gran pendiente y corta longitud, de tal manera que el agua que fluye desemboca rápidamente al mar. Debido a que las lluvias son escasas, no se favorece su almacenamiento y dificulta la recarga de los acuíferos, por lo que la alternativa es buscar nuevas fuentes de aprovechamiento, como la desalación de agua de mar y/o la reutilización de aguas tratadas.

De acuerdo con García Ochoa (2008), CONAGUA tiene como una de sus funciones realizar estudios técnicos para determinar la disponibilidad de agua en los diferentes acuíferos. Una vez que se conoce la cantidad de agua que se puede aprovechar, se otorgan las concesiones a los usuarios, donde se estipula el volumen al que cada uno tiene derecho. Para conservar los cuerpos de agua subterránea y evitar la sobreexplotación, el total del volumen concesionado, no sobrepasa la recarga natural del acuífero. Entonces, lo que puede suceder es que los pozos se repongan, dentro de un mismo acuífero, con el permiso para extraer

la misma cantidad que marca la concesión. Por lo tanto, la única forma en que un usuario puede tener más agua de la que ya tiene concesionada, es comprando los derechos de agua a otro usuario. En general, la región está en situación de veda; no se dan nuevos permisos para extraer más agua de la que ya está concesionada. No obstante lo anterior, Badán, *et al.* (2005) aseguran que para establecer un plan para el manejo correcto del agua en el Valle de Guadalupe, requiere de una moratoria inicial y adecuación periódica de las concesiones de agua, en función de las disponibilidades y necesidades reales de cada actividad, concatenadas con un proceso de planeación urbana que asegure el mejor impacto social. Por su parte, el IMIP (2009) considera que la sobreexplotación del acuífero ha ocasionado que se abatan los niveles freáticos, atribuyéndolo a una sobreconcesión de los derechos de agua del acuífero, aunado a un conflicto por la distribución del agua entre concesionarios del agua (uso urbano y agrícola). A su vez, no se cuenta con infraestructura adecuada para la eficiente extracción, uso y tratamiento del agua. Insuficiente cobertura de las redes de agua potable y drenaje en poblados de la región. Falta de un instrumento rector para el uso eficiente del agua. En este sentido y con base en el estudio que realizó SECTUR en la Región del Vino, se requiere la planeación y orientación de los recursos hidráulicos; fortalecer cuotas para llevar a cabo un ordenamiento del acuífero; hacer eficiente la extracción del agua y el tratamiento para la reutilización del agua. A su vez, es necesario ordenar el crecimiento urbano y establecer un programa de ordenamiento territorial en la región del vino, normando los usos de suelo (Monterrosas Figueiras, 2009).

Los centros de población del valle todavía desechan sus aguas residuales sin tratamiento alguno al lecho de los arroyos y hasta en pozos abandonados luego de ser agotados; es muy importante promover la instalación de plantas de tratamiento para la reutilización del agua en frutales u otros cultivos que no pongan en peligro la salud y favorezcan la reinyección al acuífero. Los desarrollos habitacionales futuros deberán de contar con separación de aguas negras y grises y con instalaciones económicas de agua. Las aguas residuales deben dirigirse hacia áreas verdes y reforestación que propician la recarga de humedad atmosférica. Finalmente, sería recomendable establecer una relación entre el uso del agua y el impacto socioeconómico del producto agroindustrial final, para orientar el uso del agua a un mejor efecto. Una cuantificación precisa de estas medidas requiere de mayor modelación hidrológica del acuífero, pero es concebible que se pueda duplicar la eficiencia de recarga del acuífero, incrementando la disponibilidad de agua en por lo menos otros 10 Mm³ anuales, o más (Badán *et al.*, 2005).

El IMIP (2009) considera que hay un riesgo de pérdida del paisaje y funcionamiento de actividad rural (vitivinícola y olivarera) por la presión en el establecimiento de nuevos fraccionamientos, de usos industriales incompatibles en la zona sur de la región que se contraponen con el uso agrícola y se carece de normatividad de desarrollo urbano que ordene los usos del suelo, lo cual se afecta aún más por el crecimiento desordenado y falta de imagen en poblados, con asentamientos irregulares aislados y sin servicios. Existe gran preocupación y conciencia sobre la escasez del agua, tanto por su importancia para la población y

las actividades productivas de la Región, y ya que debido a la demanda de la ciudad se ha elevado tanto que limita la disponibilidad en los valles. Uso desordenado del suelo. Las Directrices de Desarrollo del Corredor San Antonio de las Minas y Valle de Guadalupe y el Programa de Ordenamiento Ecológico son avances sin completar (SEDESOL, 2006).

4.5.2. Recarga y Descarga del Acuífero

Las zonas semidesérticas con mantos acuíferos a 30 metros de profundidad, difícilmente pueden dar 25 ó 30 toneladas de uva por hectárea, como ocurre en la zona vinícola de Chile. Sin embargo, el clima y las condiciones del terreno en el Valle de Guadalupe son ideales para obtener vinos de calidad (CNN, 2006). De acuerdo con Lammers (2009), los rendimientos en Baja California son mucho más bajos que en otras zonas y como ejemplo está la cosecha 2008, la cual fue muy buena en calidad pero muy escasa en cantidad porque se tuvieron rendimientos muy bajos, lo que se atribuye a las condiciones ambientales durante la floración.

La zonificación de los *terroirs* vitícolas es vista como un tipo de zonificación agroecológica de planeación y ordenamiento, donde se emplea para la protección del producto (Tonietto, 2005). Este mismo autor considera que en la zonificación se relacionan los factores ambientales y su interacción con los factores humanos donde el clima, el suelo, la variedad, las tecnologías agro-vitícolas y ecológicas son los componentes de un producto final, que en este caso es el vino. En concordancia con lo anterior y de acuerdo con la Asociación de Vinicultores de

Ensenada (AVE), la calidad de los vinos de Baja California es igual o mejor que los vinos de otras regiones del mundo, pero el costo de los insumos e importación encarece el proceso de producción, y el apoyo gubernamental para mejorar la capacidad de exportación de las vinícolas pequeñas o de recién creación aún es insuficiente (Falcón, 2009). Al respecto, se considera que el microclima mediterráneo de la zona y la maestría de los productores de vinos, han logrado producir unos de los mejores vinos del mundo, a la altura de los franceses (Diario El Mexicano, 2009) y que según la AVE, el auge del Valle ha motivado el interés en más inversionistas por la industria del vino en la Región y a pesar del racionamiento de la producción por la falta de agua, ya se vendió 80% de la zona de cultivo (Falcón, 2009).

La extracción intensiva de arena y materiales pétreos de los arroyos se debe a que en Estados Unidos se prohibió este tipo de operaciones dentro de su territorio por el daño ecológico que causa. Entonces eso generó un mercado lucrativo en México. Cabe señalar que no es clandestino, pero sí se encuentra desregulado y con concesiones ilegales u otorgadas sin que exista un estudio apropiado del impacto ambiental que ocasionan (Lammers, 2009). En este mismo sentido, la Secretaría de Turismo coincide en que debe evitarse la extracción masiva de arena de los cauces y arroyos, lo cual daña severamente la capa protectora del acuífero y establecer un programa de manejo de microcuencas (Monterrosas Figueiras, 2009). El IMIP (2009) asegura que existe un deterioro ambiental en la Región por la extracción excesiva de arena de los cauces de los arroyos, la cual

disminuye la capacidad de infiltración del acuífero, cuya problemática se incrementa por la falta de cultura de reutilización y reciclamiento de recursos naturales y de desechos sólidos. Badán, *et al.* (2005) consideran indispensable suspender la extracción de pétreos y arenas dentro de la cuenca del Valle de Guadalupe, en tanto no se recupere el equilibrio de su acuífero, ya que este tipo de actividades contribuye significativamente al abatimiento del acuífero y a la elevación de sus sales disueltas porque expone el nivel freático a la superficie. Lo anterior se sustenta con la cuantificación de la concentración de sales en el acuífero central del Valle de Guadalupe en las pozas de extracción de arena, donde se superan las 7,000 ppm incluso después de las lluvias abundantes de la temporada 2004-05. Por ello, sugieren que la extracción de arena debe limitarse a las pequeñas explotaciones artesanales para fines de construcción local. Más aún, estos mismos autores aseveran que los análisis hidroquímicos del acuífero de la Misión, donde también se presenta una extracción excesiva de pétreos, muestran un aumento de la salinidad por la exposición del nivel freático durante la temporada de lluvias. Cabe señalar que la alta concentración de sales solubles también puede ser debida por el uso inapropiado de materiales fertilizantes, como fue detectado por Espejel *et al.* (1999).

Los pozos para extraer agua subterránea no se pierden. La CONAGUA, tiene como una de sus funciones realizar estudios técnicos para determinar la disponibilidad de agua en los diferentes acuíferos. Una vez que se conoce la cantidad de agua que se puede aprovechar, se otorgan las concesiones a los usuarios, donde se estipula el volumen al que cada uno tiene derecho. Para

conservar los cuerpos de agua subterránea y evitar la sobreexplotación, el total del volumen concesionado no sobrepasa la recarga natural del acuífero. Entonces, lo que sucede es que los pozos se repongan dentro de un mismo acuífero, con el permiso para extraer la misma cantidad que marca la concesión. En ocasiones, el pozo deja de extraer el volumen de agua para el que fue diseñado por causas técnicas (azolves, por ejemplo) y será necesario sellarlo y moverlo pero para sacar la misma cantidad de agua y no más de la que está permitida. También hay casos donde el usuario cumple con la Ley de Aguas Nacionales y se les debe revocar la concesión. La única forma en que un usuario puede tener más agua de la que ya tiene concesionada, es comprando los derechos de agua a otro usuario. En general, la región está en situación de veda; no se dan nuevos permisos para extraer más agua de la que ya está concesionada (García Ochoa, 2008).

Las obras que incrementen la infiltración profunda e inhiban la evaporación, aunadas a otras acciones de conservación, como normas de riego eficiente, construcción de bordos de captación así como pozos de infiltración para recuperar un máximo de las escorrentías esporádicas que se presentan, especialmente cuando las lluvias son fuertes o superan la media anual, la protección del chaparral y ambientes riparios y, en ciertas actividades, la reutilización de aguas tratadas, podrían regenerar un acuífero saturado, donde una disponibilidad de 30 Mm³ reales sería suficiente para las necesidades de desarrollo del valle (Badán, *et al.*, 2005). En concordancia con lo anterior, SEDESOL (2006) diagnosticó que no existe un control adecuado del manejo de las aguas negras, el agua se emplea de manera indiscriminada y se sobreexplota el acuífero de Guadalupe, lo que ha

abatido el nivel de los mantos freáticos, exacerbado por la extracción irracional de la arena de los cauces de arroyo y sin que haya control en el paso del agua en arroyos. Además de lo anterior, señala que es necesario evitar la deforestación la cual se lleva a cabo para ampliar la frontera agrícola. Existe desconocimiento del potencial de la vegetación encinal y la reforestación, cuando se realiza, es inadecuada por no tomar en cuenta el tiempo requerido.

Kretzschmar (2007) comenta que el manejo integral de los recursos hídricos debe incluir la conservación, recuperación y restauración de los demás elementos del ambiente que propician la recarga natural del acuífero, tales como suelo y vegetación, particularmente en los cauces de los arroyos y en las zonas de mayor vulnerabilidad, algunas de ellas afectadas como resultado de la extracción de materiales pétreos. Para establecer un proyecto integral del uso sustentable del acuífero del Valle de Guadalupe, se requiere de la participación organizada y especializada del COTAS Valle de Guadalupe. Se está realizando un reglamento para normar el uso de las aguas subterráneas. Se requiere fortalecer el COTAS del Valle de Guadalupe a fin de reforzar y garantizar el cumplimiento de sus objetivos, así como las actividades y proyectos para el uso sustentable del acuífero del Valle de Guadalupe.

4.6. Entorno Social

Los desarrollos habitacionales tienen un impacto positivo sobre la sociedad cuando se trata de viviendas dignas, no simplemente especulativas. Por ello, si se llevan a cabo sin la debida planeación, regulación y control, repercuten de manera negativa sobre la sustentabilidad del entorno porque destruyen el paisaje, los acuíferos y las tierras agrícolas. La actividad vitivinícola ha revivido viñedos abandonados que ahora se están recuperando. El desarrollo del Valle lo hace atractivo para especuladores de bienes raíces, quienes no siempre promueven conjuntos acordes con el entorno.

Por ello se está luchando para proponer desarrollos que sean armoniosos y sustentables, cuyo elemento angular tiene que ser la vitivinicultura y los olivos (Lammers, 2009). El acelerado crecimiento de la población en el estado, así como las actividades productivas demandan cada día más agua y las características climatológicas de la región no permite almacenar suficiente agua lo que dificulta la recarga de los acuíferos. Esto obliga a las autoridades federales y estatales a encontrar nuevas fuentes de aprovechamiento como la desalación de agua de mar y/o la reutilización de aguas tratadas. (García Ochoa, 2008). La Presa Emilio López Zamora, es una presa construida para el control de avenidas y almacenamiento en la que se extraen 0.043 m^3 por segundo, para abastecer la demanda de uso público de Ensenada, el resto se extrae del agua subterránea de los valles de La Misión y Guadalupe (García Ochoa, 2008).

La uva puede convertir en Pueblos Mágicos a villas como El Porvenir, Francisco Zarco o San Antonio de las Minas, donde alrededor de 60 casas vitivinícolas de todos los tamaños trabajan en el remozamiento de sus banquetas, la restauración de sus calles principales y uniformar sus fachadas para obtener en 2010 el citado título que impulsaría su desarrollo económico y cultural (Excélsior, 2009).

4.7. Climatología

4.7.1. Cuenca del Arroyo Guadalupe

De conformidad con el sistema de clasificación de Köppen, modificado por Enriqueta García (1964–1968) adaptada a las condiciones climáticas de la República Mexicana, el clima se caracteriza en su mayor parte por ser de tipo BSk que corresponde a seco templado, en la parte oriental se presenta un clima del tipo Cs el cual es templado subhúmedo con lluvias en invierno, hasta llegar a un clima semifrío subhúmedo con lluvias en invierno. Esta distribución obedece básicamente a la topografía, que en las partes altas presenta menor temperatura y mayor precipitación, en la Sierra de Juárez.

4.7.2. Condiciones Climatológicas en la Zona del Acuífero Guadalupe

En cuanto al área de influencia donde se localiza el acuífero Guadalupe con los límites, el promedio anual de precipitación media es del orden de 316 mm, como también se aprecia en la Figura 4.

Aunque también presenta una temporada de altas precipitaciones durante el período de 1978 a 1983, de más del doble de la media, como se puede observar en la Figura siguiente.

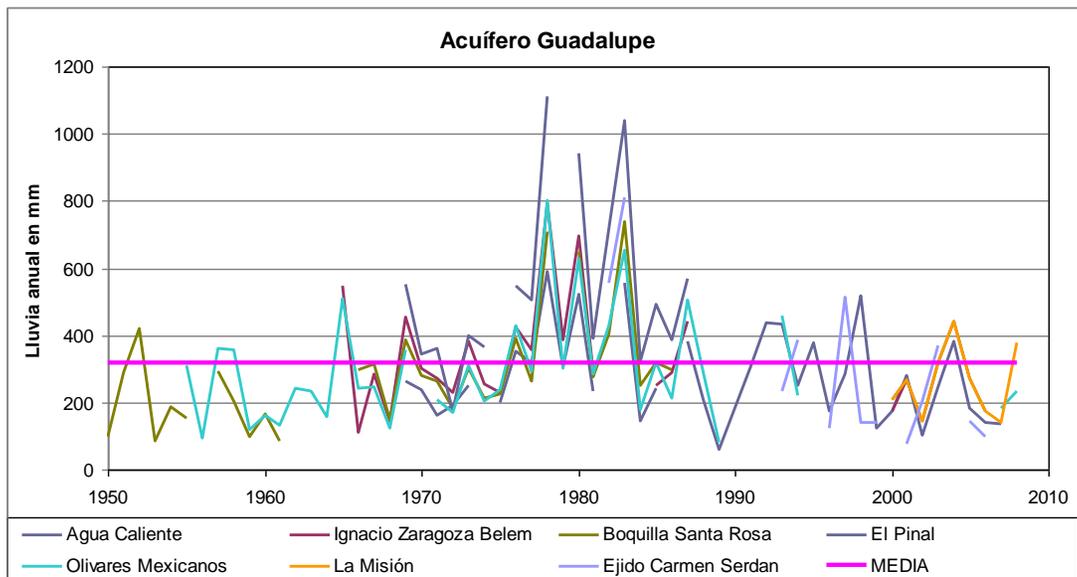


Figura 4 . Precipitación anual en el área de influencia del acuífero Guadalupe (mm).

4.7.3. Evaporación Media Anual en el Área de Influencia del Acuífero Guadalupe

La evaporación media en esta zona varía desde aproximadamente un valor promedio anual de 2,192 mm/año en la estación Agua Caliente hasta un valor promedio anual de 1,571.3 en la estación Olivares Mexicanos, cabe mencionar que esta estación sólo cuenta con información hasta el año de 1988, asimismo, al considerar la estación Boquilla Santa Rosa, que se localiza cerca de esta zona de estudio, la cual presenta una evaporación promedio anual de 1,382.6 mm, permite obtener un valor promedio de la evaporación potencial en la zona de estudio del orden de 1, 700 mm.

4.8. Hidrología Superficial

La cuenca del Arroyo Guadalupe se encuentra enclavada dentro de la Región Hidrológica No 1, denominada Baja California Noroeste (Ensenada); en el interior de la Cuenca Río Tijuana-Arroyo de Maneadero. La constituyen una serie de arroyos que bajan del flanco occidental de la Sierra de Juárez con elevaciones que alcanzan los 1,900 msnm, además de fuertes pendientes.

Dentro de esta cuenca se aprovecha un volumen de $34.2 \text{ hm}^3/\text{año}$, y por otro lado la disponibilidad de aguas superficial arroja un valor de $2.3 \text{ hm}^3/\text{año}$.

El volumen disponible que se señala en el párrafo anterior, comprende desde el nacimiento hasta su desembocadura en el Océano Pacífico. La cuenca hidrológica del Arroyo Guadalupe, se encuentra delimitada al Norte por la cuenca hidrológica Tecate-El Carrizo y Descanso-Los Medanos, al este por la cuenca hidrológica de la Laguna Salada, al sur por las cuencas hidrológicas Ensenada-El Gallo y San Carlos, y al oeste por el Océano Pacífico.

El Arroyo Guadalupe es una corriente con 115 km de recorrido a lo largo de su cauce principal y con una cuenca total hasta su desembocadura del orden de 2,380 km². Nace en la Sierra de Juárez originado por varios arroyos que bajan del sur al norte y por otros que corren de norte a sur, entre los cuales se pueden mencionar el de La República, El Talarcito, El Barbón y de Agua Dulce, los cuales se reúnen en un colector general que corre de este a oeste que adopta el nombre de uno de ellos, arroyo el Barbón; este recibe por la derecha por un punto llamado Real del Castillo el arroyo de Agua Caliente y después de la unión queda propiamente constituido el Arroyo Guadalupe, que en Real del Castillo recorre 20 km hacia el noroeste y luego cambia de dirección rumbo al SWW, pasa por la colonia de Guadalupe y el ejido El Porvenir y desemboca por último a 15 km al noroeste de Ensenada.

Una de las corrientes principales que cruza la parte alta es el arroyo El Barbón que nace en las estribaciones de la Sierra de Juárez, dentro de su cuenca se presentan las mayores precipitaciones lo que provoca escurrimientos superficiales, provenientes de los arroyos Jamatay, Las Bellotas y El Burro.

Se ha definido como una corriente intermitente a la que se le agregan además de las corrientes anteriores las de El Ranchito, Jacalitos, Agua Caliente y Agua Escondida.

En la Cuenca del Arroyo Guadalupe existen dos estaciones hidrométricas: Agua Caliente y Boquilla Santa Rosa. La primera se ubica en la parte alta de la cuenca, con un área drenada de 353 km² y la segunda un poco después de los límites administrativos del acuífero Guadalupe, el área hasta este punto es de 1,930 km².

En la Figura 5 se muestran los escurrimientos anuales medidos en ambas estaciones hidrométricas. El volumen anual es del orden de los 3 hm³/año, en ambas estaciones, independientemente de las áreas drenadas, aunque en los años de 1980 y 1983 ocurrieron avenidas extraordinarias aforadas en la estación Santa Rosa, superiores a los 200 hm³/año, época coincidente con lluvias también extraordinarias

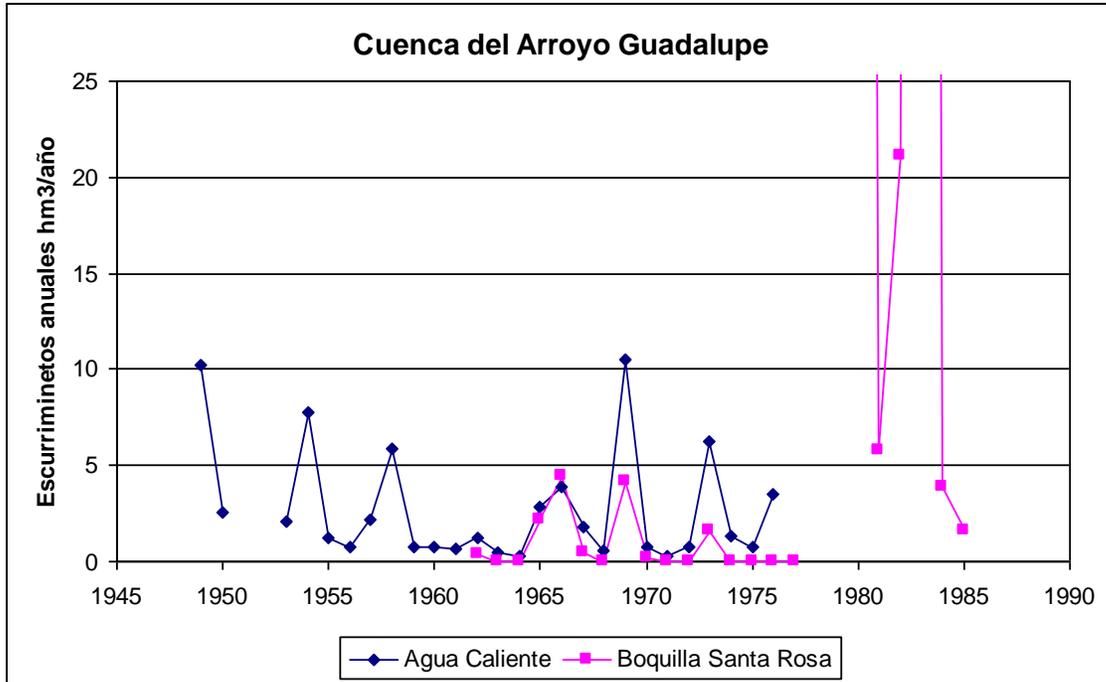


Figura 5. Esgurrimientos anuales aforados en la Cuenca del Arroyo Guadalupe.

4.9. Marco Geológico Regional

Los acuíferos de la cuenca del arroyo de Guadalupe, La Misión, Guadalupe, Real del Castillo y Ojos Negros, se localizan en la porción septentrional del estado de Baja California, en donde las rocas de este sector del estado se caracterizan por presentar un alto grado de complejidad geológico-estructural, debido a que durante su evolución desde el Mesozoico hasta el Reciente han estado sujetas a diferentes regímenes de deformación.

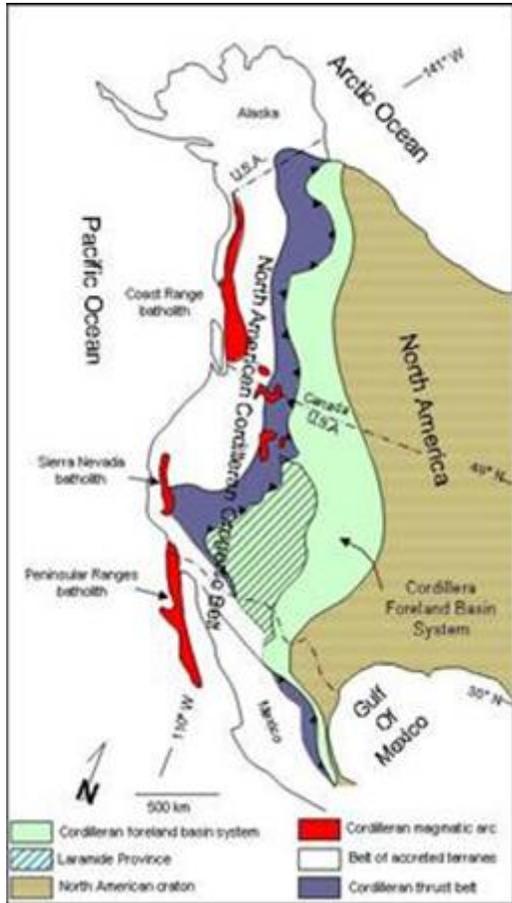


Figura 6. Mapa tectónico del Cinturón Cordillerano.

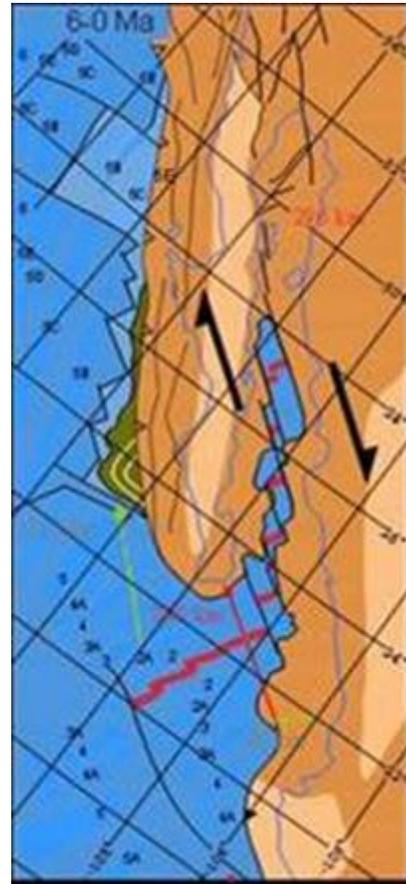


Figura 7. Esquema de la apertura del Golfo de California.

4.10. Fisiografía

De acuerdo con Raisz (1964), el área de estudio queda comprendida dentro de la provincia de Baja California (ver Figura 8), caracterizada por estar conformada principalmente por rocas de origen ígneo intrusivo, las cuales tienden a conformar sierras con desniveles contrastantes con respecto al nivel del mar.

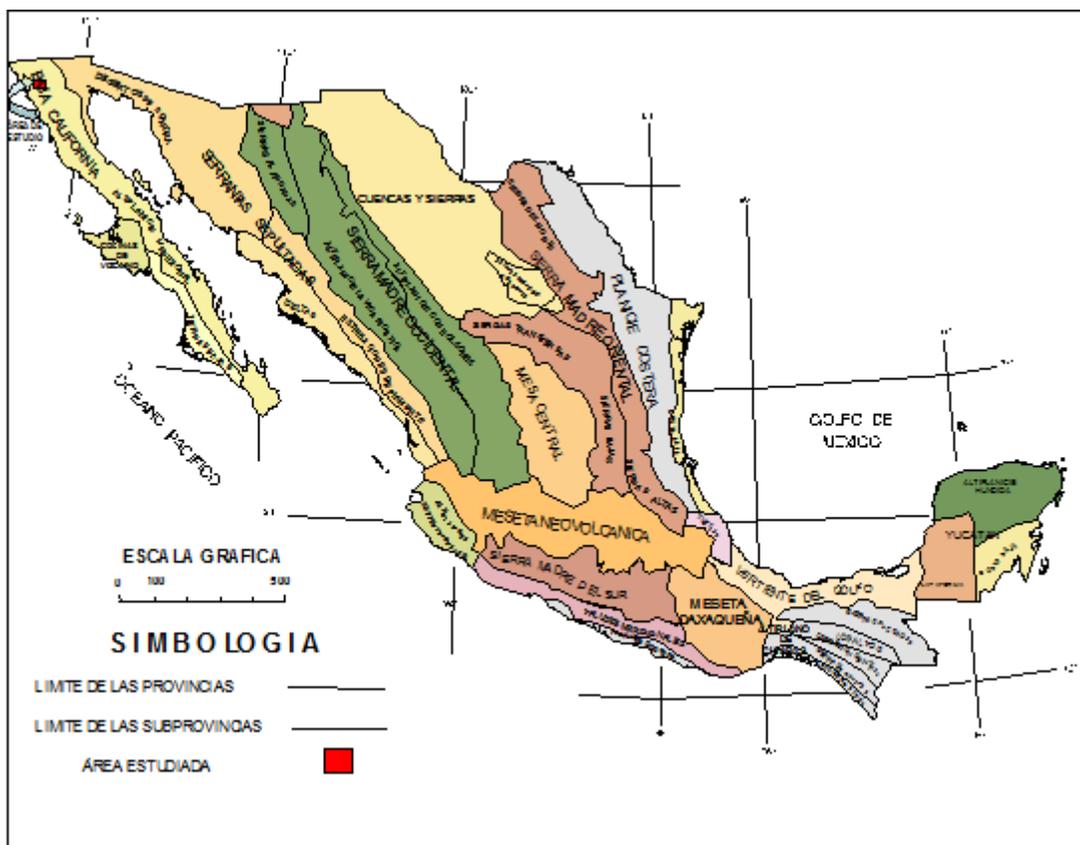


Figura 8. Provincias fisiográficas Raisz, 1964.

La cuenca del Arroyo Guadalupe forma parte de la Provincia Fisiográfica de Baja California, la que se divide en dos subprovincias: Sierra de Baja California Norte y

Sierra de la Giganta; ubicándose la zona de interés en la primera. De las sierras que bordean el valle, la que alcanza mayores elevaciones es la conocida Sierra Blanca, que se eleva hasta 1,800 msnm. La porción sureste de la cuenca generalmente presenta elevaciones entre los 500 y 700 msnm.

Estructuralmente la zona presenta un fallamiento principal con rumbo sureste-noroeste, dando motivo a la formación de bloques paralelos que intersectan diagonalmente el valle.

Regionalmente, las unidades geológicas comprenden: rocas metamórficas como pizarras y esquistos; rocas ígneas intrusivas ácidas, derrames y tobas riolíticas; conglomerados y sedimentos granulares aluviales.

En especial el Valle de Guadalupe se encuentra enclavado en la Provincia Fisiográfica de la Sierra Cristalina (Manuel Álvarez Jr.) ocupando una depresión topográfica de origen tectónico, la cual fue construida por el dislocamiento del basamento geológico representado por rocas graníticas. Posteriormente, por efectos de la erosión de las sierras circundantes la depresión fue rellenada con materiales granulares transportados por las corrientes que drenan el área.

Dentro de los límites del acuífero Guadalupe, al sur de la zona del valle, a partir del poblado Francisco Zarco, el basamento impermeable se localiza a menores profundidades con respecto a la porción norte, apreciándose por afloramientos de pequeños remanentes de rocas graníticas y el estrechamiento del valle en la

salida del Arroyo Guadalupe, el cual corresponde con una de las fosas tectónicas del acuífero, formadas a partir de la actividad de las fallas laterales, en donde el patrón de drenaje está controlado por el patrón de fallas y fracturas secundarias.

El patrón de drenaje es del tipo dendrítico, determinado por el fallamiento y el fracturamiento de las rocas que constituyen la cuenca hidrográfica.

4.11. Geomorfología

Las características geomorfológicas son rasgos del terreno que revisten importancia en la determinación de los parámetros que controlan el flujo de las aguas (tanto superficiales como subterráneas) en esta región; dentro de la zona estudiada se lograron diferenciar tres elementos geomorfológicos principales, A, B y C (Figura 9).

El bloque A se encuentra en el sector oriental del área estudiada y se relaciona con el sector de mayor relieve, correspondiendo con la zona de sierras, en éste bloque homogéneo de terreno las cotas mas bajas son del orden de los 1200 msnm, en tanto que su límite superior lo define la curva de 1900 msnm; se constituye tanto por rocas intrusivas de composición granítica, como rocas metamórficas. Debido a sus características petrofísicas, estos materiales son de baja permeabilidad, sin embargo en las zonas de fallamiento las rocas adquieren porosidad secundaria, lo cual reviste importancia debido a que se encuentran dentro de la zona de recarga de la región estudiada.

El bloque B se localiza en la parte central del área, se compone por cerros, lomeríos y valles que se encuentran comprendidos entre los niveles definidos por las curvas de 600 msnm y 1200 msnm. Los terrenos de cerros y lomeríos de este bloque, están compuestos por rocas graníticas, vulcanosedimentarias y metamórficas, son de baja permeabilidad, en tanto que la zona del valle está asociada con un graben o bajo estructural relleno por materiales granulares, que representa la zona de descarga de los potenciales flujos provenientes de la zona de sierras del bloque A.

Finalmente el bloque C está ubicado en el sector occidental del área estudiada, se encuentra comprendido desde la línea de costa hasta la cota de 600 msnm, lo constituyen principalmente mesetas y valles, en menor proporción se tienen los lomeríos. Los materiales litológicos que se encuentran formando parte de este bloque de terreno, corresponden con rocas intrusivas, metamórficas y volcánicas, así como sedimentos granulares, las dos primeras son de baja permeabilidad, en tanto que las volcánicas presenta porosidad secundaria por fracturamiento, y los sedimentos debido a su baja compactación presentan una excelente porosidad intergranular, donde se ubica el acuífero Guadalupe.

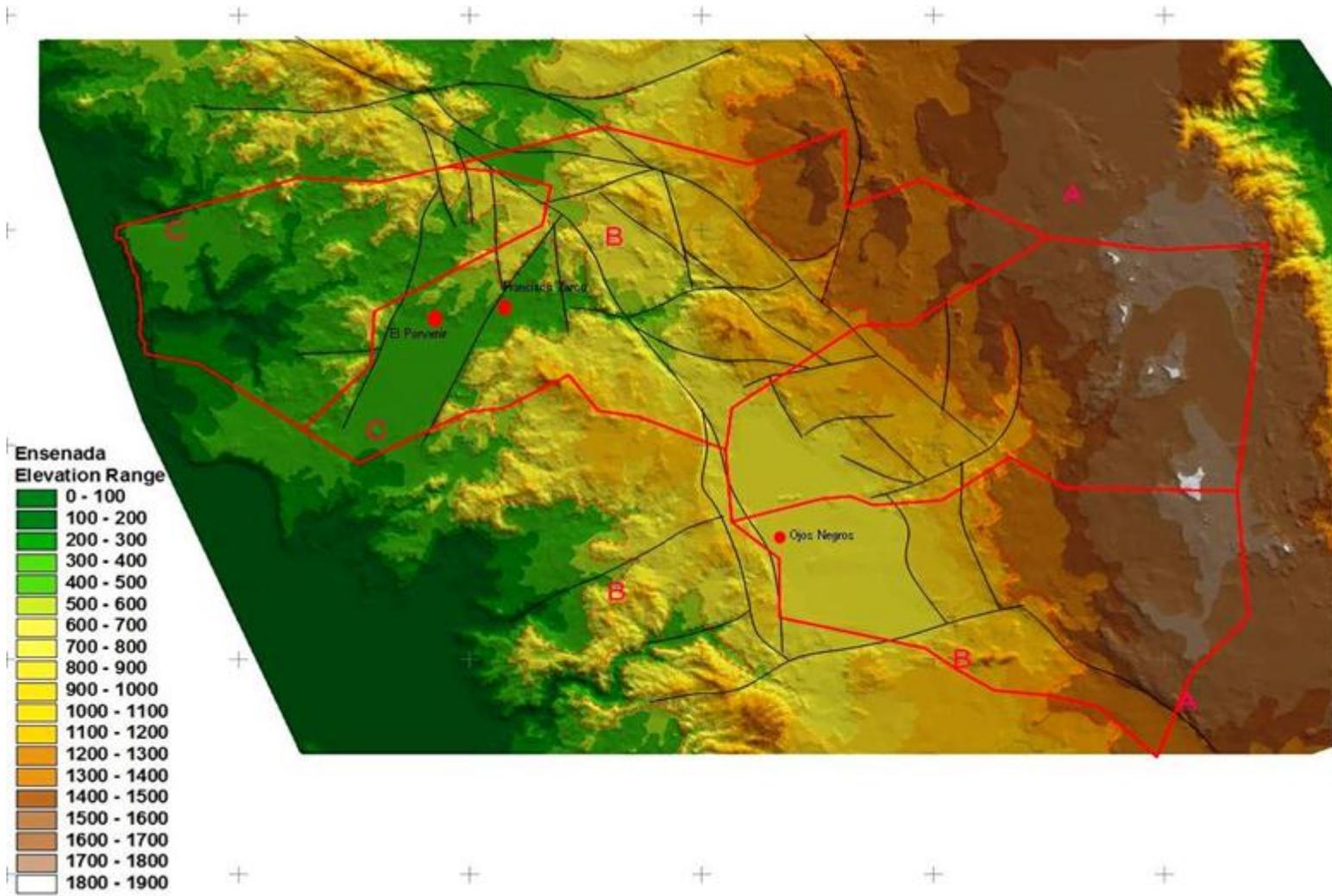


Figura 9. Modelo de elevación del terreno.

Por otra parte, en la interpretación de la imagen de satélite (Figura 10), se distinguieron las principales elementos morfoestructurales, asociados con depresiones tectónicas (cuencas), consideradas como resultado de una deformación transtensiva, originadas a partir de la dinámica de las fallas laterales derechas, consideradas de manera estimativa, como parte del sistema de fallas San Andrés, cuya tendencia es noroeste-sureste.

El patrón de lineamientos detectados, se relacionan con fallas y fracturas que de acuerdo a sus dimensiones influyen fuertemente en la trayectoria de los flujos subterráneos dado que se encuentran interconectadas. La orientación de las estructuras principales de carácter regional es noroeste-sureste, con desarrollo de lineamientos escalonados con tendencias preferenciales noreste-suroeste.



Figura 10. Interpretación de la imagen de satélite.

4.12. Estratigrafía

La información cartográfica de la zona estudiada, fue tomada de las cartas 1:250,000 Tijuana I11-11 y Ensenada H11-2, elaboradas por el Servicio Geológico Mexicano, a partir de dicha información se elaboró el plano geológico de la zona estudiada, apoyado con verificación de campo de las unidades litológicas que tienen una mayor extensión.

Las rocas más antiguas que afloran en el área pertenecen al Devónico y son rocas que presentan metamorfismo regional y de contacto, teniendo como protolito a una secuencia de calizas y areniscas; en niveles estratigráficos superiores se encuentra la unidad del Devónico-Carbonífero, la cual consiste de una secuencia metamorfizada de esquistos y mármol. El Mesozoico está representado por una secuencia flysh del Jurásico Medio-Triásico Superior (Formación Rancho Vallecitos), la cual presenta un metamorfismo regional de bajo grado y se encuentra bajo una serie volcánica del Cretácico Inferior-Jurásico Superior, la cual se compone de flujos de lava y brechas de composición andesítica, así como derrames de riocitas, dacitas y piroclásticos silicificados de la misma composición.

Las rocas de la Formación Rosario del Campaniano-Maestrichtiano, están representadas por intercalaciones de areniscas, limolitas y lentes conglomeráticos y se encuentran en la cima de la secuencia de rocas mesozoicas

Finalmente el emplazamiento de las rocas graníticas durante el Cretácico Inferior-Superior, conforman el batolito peninsular y se encuentran afectando a las rocas paleozoicas y mesozoicas de esta región.

El Terciario se encuentra representado únicamente por rocas miocénicas que consisten de flujos de lavas basálticas, intercalados con estratos de areniscas, lentes conglomeráticos y brechas arenosas, se encuentran cubriendo discordantemente a las rocas mesozoicas.

Finalmente en la cima de la columna estratigráfica se encuentra la secuencia detrítica del Cuaternario, formada por arenas con lentes conglomeráticos de ambientes fluviales y abanicos aluviales (Figura 11).

En cuanto a las secciones que muestran la estratigrafía de la zona donde se ubica el acuífero Guadalupe se indican en la Figura 12.

COLUMNA ESTRATIGRAFICA

SIMBOLOGÍA

CUATERNARIO

Qho Al Aluvi6n

Qpt Cgp-Ar Conglomerado Polim6ctico-Arenisca

TERCIARIO

NE6GENO

Tm B-Ar Basalto-Arenisca

CRETÁCICO

SUPERIOR

Kcm Lm-Ar Limolita-Arenisca

CRETÁCICO INFERIOR-JURÁSICO SUPERIOR

JsKi Rd-Da Riodacita-Dacita

JsKi A-BvA Andes6ta-Brecha Andes6tica

JURÁSICO MEDIO- TRIÁSICO SUPERIOR

TRsJm Ms Metasedimentaria

CARBONÍFERO-DEV6NICO

Pdc E-Ma Esquisto-Mármol

ORDOVÍCICO

Po C-Ma Cuarcita-Mármol

ROCAS ÍGNEAS INTRUSIVAS

Ks { Gd-Tn }
Granito
Granodiorita-Tonalita
Diorita

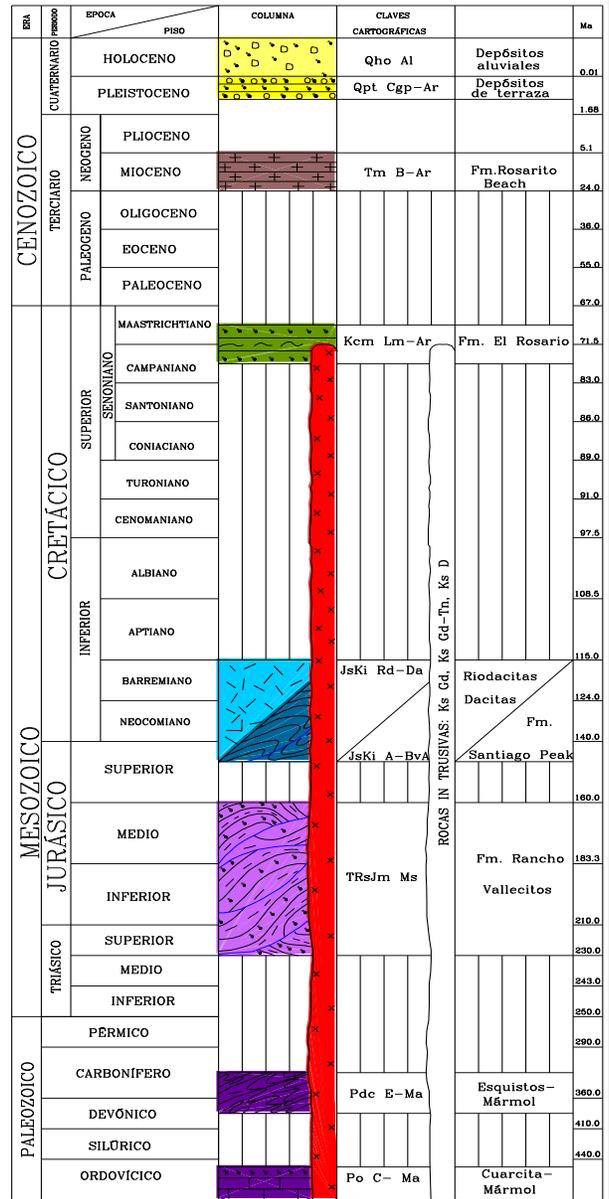


Figura 11. Columna estratigráfica del área de estudio.

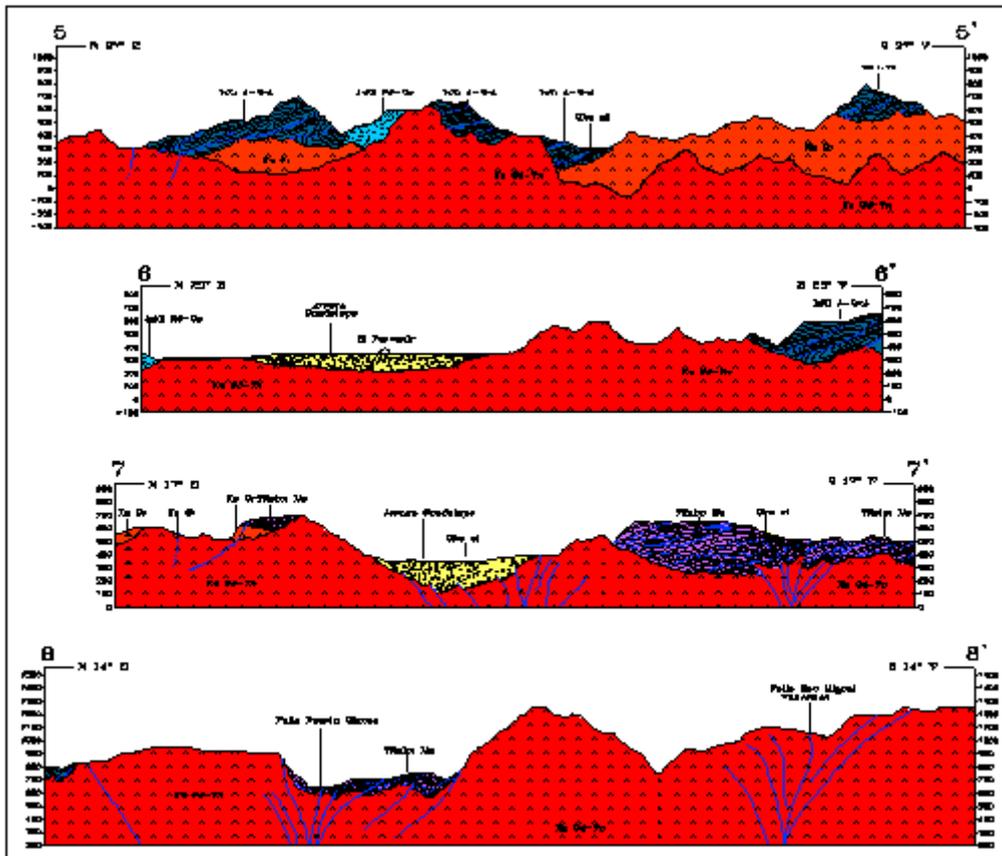


Figura 12 . Secciones geológicas en la zona del acuífero Guadalupe.

4.13. Hidrogeología

La clasificación de unidades hidrogeológicas se realizó a partir de las características: litológicas, texturales, grado de fallamiento y fracturamiento que llegan a presentar las rocas, de tal forma fueron clasificadas en 4 unidades hidrogeológicas, las cuales se describirán a continuación.

Unidad I (Acuífero Granular: Qhoal)

Está constituida por depósitos de clásticos de espesores que varían de cerca de 100 m y hasta más de 200 m, se encuentran localizados en las zonas de los valles que corresponden con cuencas tectónicas colmatadas y que son el producto de la

erosión de las rocas de las sierras y cerros circundantes, principalmente de composición granítica, en menor proporción están las secuencias metamórficas y volcánicas, cuyos materiales detríticos son acarreados por las corrientes fluviales y los arroyos provenientes de los abanicos aluviales.

Los espesores de esta unidad se han inferido a partir de la información indirecta (geofísica) obtenida en trabajos anteriores en donde varían desde unos cuantos metros en las márgenes de los cerros, hasta 100 y 200 m en el centro de la cuenca del acuífero Guadalupe. Hidrogeológicamente funciona como acuíferos libres, los que se encuentran en explotación actualmente.

Unidad II (Acuífero en rocas volcánicas del Terciario: TmB-Ar)

Está constituida por flujos de lava de composición basáltica, intercalados con estratos de areniscas, brechas volcánicas (embebidas en una matriz arenosa), tobas, lentes de conglomerados y depósitos lacustres, conjunto de materiales que constituyen un acuífero de baja potencialidad debido a que tienen una escasa superficie de recarga.

Unidad III (Rocas de baja permeabilidad: PoC-Ma, PdcE-Ma, TRsJmMS, JsKi A-BvA, Rd-Da)

Está formada por las rocas paleozoicas, Triásico-jurásicas y Jurásico-cretácicas, las cuales se caracterizan por presentar metamorfismo de contacto, regional y una marcada silicificación, confiriéndole una gran resistencia a las rocas; sin embargo, cuando se encuentra en zonas de falla, este comportamiento hidrogeológico cambia, debido a que los materiales afectados por la dinámica de la falla, provoca

la apertura de fracturas, de tal forma el comportamiento de la unidad cambia al de un acuífero de potencialidad moderada y de manera selectiva, ya que se requiere atravesar facturas para lograr productividad en los pozos.

Este comportamiento permeable se considera que es el que toman estos materiales en los corredores de las fallas San Miguel Vallecitos, Puerto Blanco y la que se encuentra en las inmediaciones de Francisco Zarco.

Unidad IV (Basamento: KsGr, Gd-Tn, D)

Está formada por rocas ígneas intrusivas masivas, bastante compactas, e impermeables, constituyen el basamento hidrogeológico. Pero se debe considerar que el patrón de fallas y fracturas asociadas con las fallas San Miguel Vallecitos y Puerto Blanco, propician flujos que circulan por este medio fracturado, comunicados hidráulicamente con el acuífero granular del valle, representando una alimentación constante a la reserva del acuífero.

4.14. Medios por Donde Circula el Agua Subterránea

Medio Poroso

Este medio esta conformado por la secuencia de sedimentos clásticos, compuestos principalmente por arenas de grano medio a grueso, interdigitadas tanto lateral como verticalmente con arenas gravillentas y lentes de conglomerados embebidos en una matriz arenosa, se encuentran medianamente compactados y llegan a desarrollar espesores tentativos que varían de 100 a más de 200 m .

Medio Fracturado

El medio fracturado se encuentra bien desarrollado a lo largo de la traza de las fallas laterales, zonas en donde se considera que estas estructuras frágiles adquieren un comportamiento hidráulico de barrera-conducto captando las trayectorias de los flujos subterráneos y desviándolos en un sentido paralelo a su traza, hasta descargar en las zonas de los valles, en donde posiblemente estén en comunicación hidráulica con el acuífero granular. Como ejemplo se tiene la falla Puerto Blanco en donde a lo largo de su traza se tienen zonas de pastizales indicando que se tienen flujos de agua subterránea circulando a lo largo de su traza.

5. MATERIALES Y METODOS

En el área delimitada por el acuífero Guadalupe, que forma parte de la cuenca superficial del mismo nombre, a través de la cual fluye el arroyo El Barbón, el cual cambia de nombre por el de Arroyo Guadalupe, se han realizado como se ha comentado anteriormente observaciones de los niveles estáticos del acuífero a través de pozos piloto distribuidos principalmente en el valle de esta zona, estas observaciones junto con las elevaciones de sus brocales han permitido conocer la dirección de los flujos subterráneos desde 1973.

En la figura 13 se observa que en las cercanías del poblado de Francisco Zarco, así como de la Fosa Calafia la altitud del nivel estático era de 355 msnm; cerca de 300 m; asimismo, se observa que el agua escurría subterráneamente en forma paralela al Arroyo Guadalupe, es decir, con sentido noreste-suroeste, para presentar poco después del poblado de El Porvenir e inmediaciones de la Fosa El Porvenir una altitud de 305 m.

De un estudio realizado en el año de 1977 "*Informe final Estudio Geohidrológico del Valle de Guadalupe, Edo. de B.C. 1977*" se indica que el acuífero presentaba un abatimiento del orden de 0.4 m/año. Donde se estimaba que la recarga total era de 18 hm³/año mientras que su extracción era de 21.0 hm³/año, lo que provocaba los 0.4 m/año, además indicaba que existía una salida de agua subterránea por flujo horizontal hacia el sureste del orden de 0.15 hm³/año, además las profundidades de los niveles estáticos oscilaban entre 1 y 30 m.

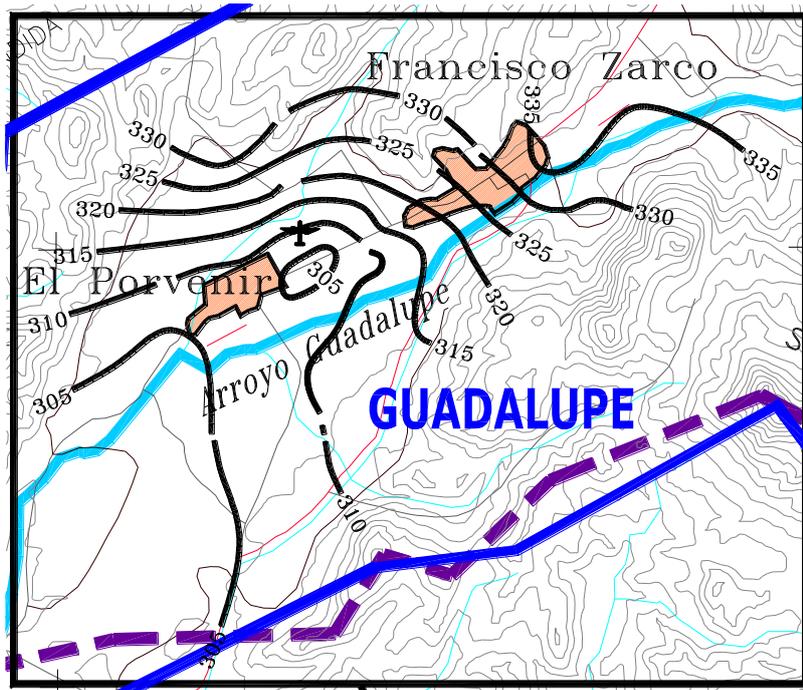


Figura 13 . Curvas de igual elevación del nivel estático en 1973. Acuífero Guadalupe.

5.1. . Comportamiento del Flujo Subterráneo en el Acuífero Guadalupe

De acuerdo con la información recopilada de este acuífero se dispone de datos piezométricos históricos desde el año 1972 pertenecientes a pozos piloto, además, se tienen seleccionados algunos pozos los cuales fueron instrumentados con registradores de nivel estático.

5.1.1. Registradores Continuos de Nivel y Temperatura

Se tienen instalados 10 registradores de nivel estático y temperatura en otros tantos pozos, su localización se muestra en la figura 14, se ubican dentro de la zona que contienen la mayoría de los aprovechamientos de aguas subterránea.

En el cuadro 2 se anotan los periodos de medición que para cada uno de los registradores, se puede observar que en algunos casos fueron interrumpidos en los periodos que se anotan en el cuadro mencionado.

Cuadro 2. Pozos con monitoreo continuo

Archivo	Período de Datos	Archivo	Período de Datos	Archivo	Período de Datos
P-259 abr 07	14-Abr-07	P-197-Mzo-07	15-Ene-07	P-254-Mzo-07	15-Ene-07
	27-Abr-07		20-Mar-07		20-Mar-07
P-CNA-259-jun07	27-Abr-07	P-197 abr 07	20-Mar-07	P-254-R abr 07	20-Mar-07
	28-Jun-07		27-Abr-07		27-Abr-07
P-CNA-259-20 nov 07	28-Jun-07	P 197-jun07	27-Abr-07	P254-R-jun07	27-Abr-07
	14-Nov-07		27-Jun-07		28-Jun-07
Faltan datos		P 197-20 nov07	27-Jun-07	P 254-R-20 nov07	28-Jun-07
P-259-Ago-08	12-Mar-08		13-Nov-07		14-Nov-07
	29-Jul-08	Faltan datos		P-167-Ago 08	01-Jul-08
Faltan datos		P-197-Ago-08	12-Mar-08		08-Jul-08
259 070709	02-Mar-09		29-Jul-08	Faltan datos	
	07-Jul-09	Faltan datos		CNA A 167 061009	03-Mar-09
P-166 abril-07	02-Abr-07	P 197 290709	02-Mar-09		06-Oct-09
	27-Abr-07		29-Jul-09	P117 190908	01-Ago-08
P 166-jun07	27-Abr-07	197 061009	29-Jul-09		19-Sep-08
	28-Jun-07		06-Oct-09	Faltan datos	

Archivo	Período de Datos
P-166-20- nov 07	28-Jun-07
	14-Nov-07
Faltan datos	
P-166-Ago-08	12-Mar-08
	29-Jul-08
Faltan datos	
CNA 166 061009	03-Mar-09
	06-Oct-09

Archivo	Período de Datos
130 070709	03-Mar-09
	07-Jul-09
P-CNA-213 20 nov07	07-Jul-07
	20-Nov-07
Faltan datos	
P-213-01-Ago-08	12-Mar-08
	27-Jul-08
Faltan datos	
CNA-A-213 06/10/09	03-Mar-09
	06-Oct-09

Archivo	Período de Datos
117 070709	02-Mar-09
	07-Jul-09
P-122-01-Ago-08	01-Jul-08
	01-Ago-08
Faltan datos	
P-122-061009	02-Mar-09
	06-Oct-09
P-452-20 nov07	01-Ago-07
	20-Nov-07
Faltan datos	
P 452 290709	02-Mar-09
	29-Jul-09
452 061009	29-Jul-09
	06-Oct-09

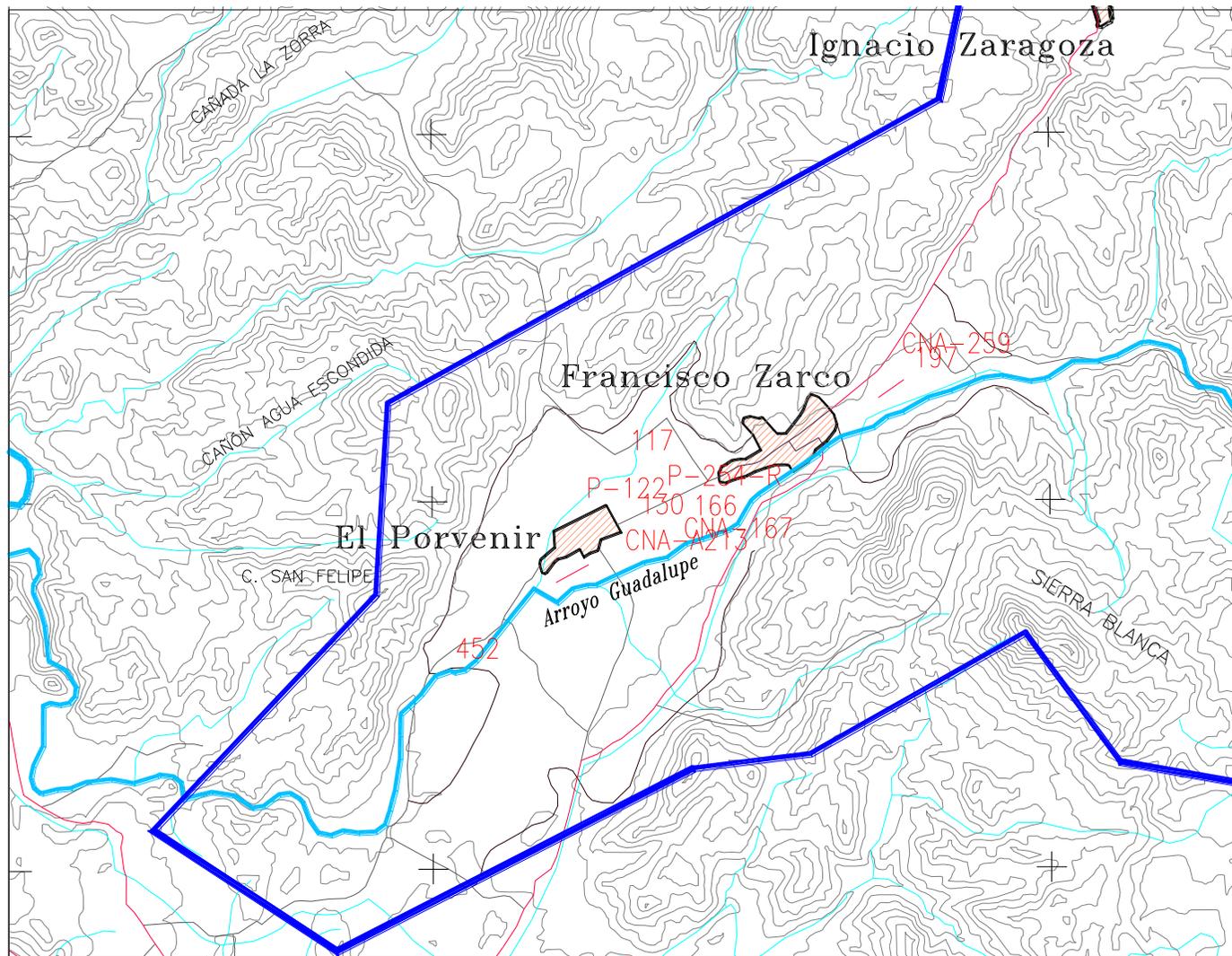


Figura 14 . Localización de pozos con registrador continuo del nivel del agua.

5.1.2. Piezometría Regional del Acuífero

Como se ha mencionado el acuífero Guadalupe ha sido observado en sus niveles del agua subterránea a través de bastante tiempo, existiendo información para diferentes años, reportada en diversos estudios; sin embargo, aunque se dispone de un número sustancial de lecturas piezométricas, no se tiene una identificación clara de los diferentes pozos, de tal manera que para muchos pozos no se puede dar un seguimiento confiable, por lo cual en el presente trabajo se utilizó básicamente aquella información obtenida del COTAS Acuífero Guadalupe, consistente en un listado que data desde el año 1972.

Como se puede observar en la información del COTAS, las lecturas no siempre tienen una continuidad ni están completas, en algunos años se carecen de ellas; sin embargo, esta lista es representativa de la evolución de las condiciones piezométricas del valle del acuífero Guadalupe, red que está conformada por aproximadamente 56 pozos piloto que incluyen a 10 pozos con registradores continuos de nivel y temperatura desde el año 2007.

Asimismo y con la finalidad de ampliar la red de observaciones, se contemplan las medidas en 56 aprovechamientos, contenidas en Historial Piezometría Guadalupe Completa y la piezometría proporcionada en Mexicali de donde se seleccionaron pozos que era factible integrarlos a la base de 56 pozos antes mencionados, por último, también para la elaboración de la configuración del año 2009 se utilizaron, datos de

pozos con lecturas de niveles estáticos obtenidos durante el censo de aprovechamientos subterráneos, realizado en este estudio.

Para la localización de los pozos que apoyan la piezometría, se utilizaron los datos históricos disponibles, en los mismos archivos, para el caso de que no se contara con este dato se emplearon las coordenadas obtenidas durante el censo de 2009 y en cuanto a las altitudes del brocal del pozo se empleó la información proporcionada por las fuentes mencionadas. Para el caso que por alguna razón no se tuviera la altitud, principalmente cuando no se pudo correlacionar el pozo piloto con el censo realizado en 2009, dicha altitud se obtuvo con apoyo al Google para tener una idea de la altitud del terreno. Antes de utilizar este medio, se obtuvieron algunas altitudes del terreno ya conocidas, las cuales resultaron aceptables, al respecto se puede considerar que los valores estimados con el Google pueden ser utilizados para una configuración de curvas de igual elevación del nivel estático, debido a que ofrece una buena aproximación del sentido del flujo subterráneo en aquellos lugares donde se requería tener información para efectos de iniciar los trabajos del conocimiento del comportamiento del flujo subterráneo, así como del modelo de simulación por realizar.

5.2. Comportamiento de Aguas Superficiales con Aguas Subterráneas

El Arroyo Guadalupe representa el colector superficial principal en la zona de estudio, conduce los volúmenes de escurrimiento directo provocado por las precipitaciones que ocurren principalmente en las épocas invernales y las avenidas extraordinarias cuando se presentan ciclones.

Otra componente del escurrimiento en el cauce de este Arroyo Guadalupe se debe a las descargas de los acuíferos circundantes, que deben de ser pequeñas dado que solo existen en las áreas donde los niveles freáticos son muy someros. Aunque estas descargas han ocurrido a través del tiempo, debido a derrames de los acuíferos ubicados en los valles, a últimas fechas tienden a disminuir aun más por efecto de la sobreexplotación del acuífero y el consecuente abatimiento de los niveles del agua subterránea.

Además de este flujo base mencionado, se genera otra componente, aunque también pequeña, debido al fracturamiento de las rocas ígneas que conducen escurrimientos debidos a las precipitaciones o aun a la humedad que se genera en las partes altas de las sierras locales, que provoca una recarga que genera pequeños escurrimientos y que puede observarse en el cauce del Arroyo Guadalupe.

Según los documentos de disponibilidad del agua subterránea publicados por la CNA, estas transferencias por efectos de flujo base o flujo subterráneo o descarga de los acuíferos al Arroyo Guadalupe, son del orden de menos de un millón de metros cúbicos anuales entre los cuatro acuíferos, lo que representa apenas el 3% del volumen producido por cuenca propia que es de 41 hm³/año. Por lo anterior se considera que prácticamente es irrelevante las salidas de agua subterránea por flujo base, por lo cual no se afecta en el caso de la simulación de los modelos hidrodinámicos de agua subterránea al no contemplar esta situación.

La estimación realizada por la Comisión Nacional del Agua del volumen generado por cuenca propia en el Arroyo Guadalupe alcanza el valor de 40.6 hm³/año, de los cuales se aprovechan 34.2 hm³/año y se tiene una disponibilidad, según norma, de 2.3 hm³/año.

5.3. Aprovechamiento del Agua

5.3.1. Volúmenes de extracción y características de los aprovechamientos

El inventario de los aprovechamientos de agua realizados durante el trabajo de campo se plasmó en un sistema de información geográfica. Para realizar estos trabajos se implementaron recorridos: en el primero se levantaron todas las obras e instalaciones, que con base en los levantamientos de campo y con ayuda de imágenes de satélite se delimitaron todos los predios agrícolas.

Un segundo recorrido consistió en obtener todo lo relacionado con los aprovechamientos del agua, midiendo sus niveles del agua estáticos y dinámicos cuando fue posible, así como sus aforos respectivos con la finalidad de obtener los volúmenes de extracción, además se midieron las características eléctricas de los equipos de bombeo, lo que permitió calcular las eficiencias electromecánicas de los equipos de bombeo y la relación consumo de energía- extracción del agua.

5.4. Modelo Conceptual de Funcionamiento de los Acuíferos

Para determinar el funcionamiento de un acuífero es necesario identificar las propiedades hidráulicas de los materiales en donde ocurre el flujo subterráneo, especificar las condiciones de frontera, las recargas al acuífero y las extracciones por bombeo principalmente. Conocer el comportamiento de las condiciones iniciales y actuales del flujo de agua subterránea, análisis que se conoce como el nombre de modelo conceptual.

En general en un modelo conceptual de funcionamiento de un acuífero se incluye la forma y el modo de circulación del agua subterránea entre los materiales que constituye el acuífero. Así como identificar de donde proviene la recarga del acuífero en estudio.

Básicamente un modelo conceptual de funcionamiento de un acuífero es la interpretación conjunta de las características geológicas, geoquímicas e hidrodinámicas de una región, de manera que se pueda establecer en forma general su funcionamiento. Este modelo debe poder describir en forma cualitativa todos los elementos principales que intervienen como son:

- Geometría general del acuífero
- Características hidrodinámicas
- Hidrogeoquímica del acuífero
- Condiciones climatológicas

- Forma de recarga del acuífero
- Forma de descarga del acuífero
- Condiciones de funcionamiento antes y después del inicio de la explotación.

Otro punto de vista del modelo conceptual de funcionamiento es aquel que se puede definir como una representación gráfica de los sistemas de flujo subterráneo dentro de la zona de estudio analizada, construida con la finalidad de simplificar y organizar la información hidrogeológica disponible y aún la hidrológica en su conjunto.

Para el caso que nos ocupa es necesario tomar en cuenta toda la información referente al acuífero Guadalupe a fin de integrarla para formular el modelo conceptual de funcionamiento el mismo. Esta formulación será la base principal para la elaboración del modelo matemático de simulación hidrodinámica.

La integración de la información generada por diferentes disciplinas, entre las que se destacan la geomorfología, geología, hidrogeología e hidrogeoquímica, además del análisis de las manifestaciones superficiales del agua subterránea, señalan que en general los acuíferos antes mencionados son de tipo libre heterogéneo, en donde el agua subterránea se desplaza principalmente en un medio poroso constituido por material clástico de granulometría variada y también el agua subterránea circula por materiales volcánicos fracturados.

Funcionamiento

El acuífero Guadalupe es el más importante de la zona por su área como por la extracción del agua subterránea, además del valor de a producción agrícola.

La alimentación se debe principalmente a la infiltración de una parte del agua que se precipita en el área delimitada por el acuífero, para posteriormente el agua precipitada circule por rocas ígneas intrusivas, permitiendo su infiltración cuando se encuentran fracturadas, además de que en general tienen comunicación a través de las diversas fracturas que conforman este medio. Esta alimentación ocurre en las partes altas y también en las zonas constituidas por formaciones granulares. Se debe considerar que el patrón de fallas y fracturas asociadas con las fallas San Miguel Vallecitos y Puerto Blanco representan flujos potenciales que están circulando por este medio fracturado.

Desde el punto de vista geológico en la región está construida en su gran mayoría por rocas ígneas intrusivas, solo a lo largo del Arroyo Guadalupe se tienen depósitos granulares, además en el subsuelo, existen dos grandes fosas; la Fosa de Calafia que es de forma triangular a modo de un embudo cerrado en el fondo de la misma, esta fosa en general esta rellena superficialmente con suelos constituidos por boleos, gravas, gravillas, arena gruesa y arena, materiales granulares permeables no clasificados, con lentes digitados de arcillas y gravas, con posibles bloques mayores de roca.

Una fosa más es la denominada Fosa El Porvenir, situada al suroeste del valle, tiene una forma geométrica concéntrica, semioval de mayor amplitud horizontal que la Fosa Calafia, pero con un basamento menos profundo, alcanzando una profundidad máxima

de 100 metros. El basamento de ambas fosas está constituido por rocas ígneas intrusivas. La Fosa El Provenir presenta las mismas características estratigráficas que la Fosa Calafia, pero con mayor cantidad de lentes arcillosos por efecto de depositación (Figura 15).

El Valle de Guadalupe y sus alrededores, se conforman por rocas de carácter intrusivo plutónico, corrientes ígneas extrusivas, rocas metamórficas y depósitos de aluvión.

Otro tipo de recarga que recibe el acuífero es la inducida por la aplicación del riego, tanto con aguas subterráneas como superficiales, ocasionada por los excedentes del riego que en parte recargan al acuífero.

La descarga más importante del acuífero es la debida al bombeo de agua subterránea a través de pozos y norias. Los volúmenes de agua son empleados principalmente para uso agrícola y para uso público urbano principalmente el que es importado hacia la ciudad de Ensenada.

También el acuífero descarga en forma natural a través de manantiales y de ojos de agua entre otros, sin embargo esta descargas son mucho menor que la realizada con los pozos y norias, esta extracción se realiza a profundidades muy variables, actualmente esta explotación es mayor que la recarga del acuífero, lo que ha provocado una disminución de su almacenamiento.

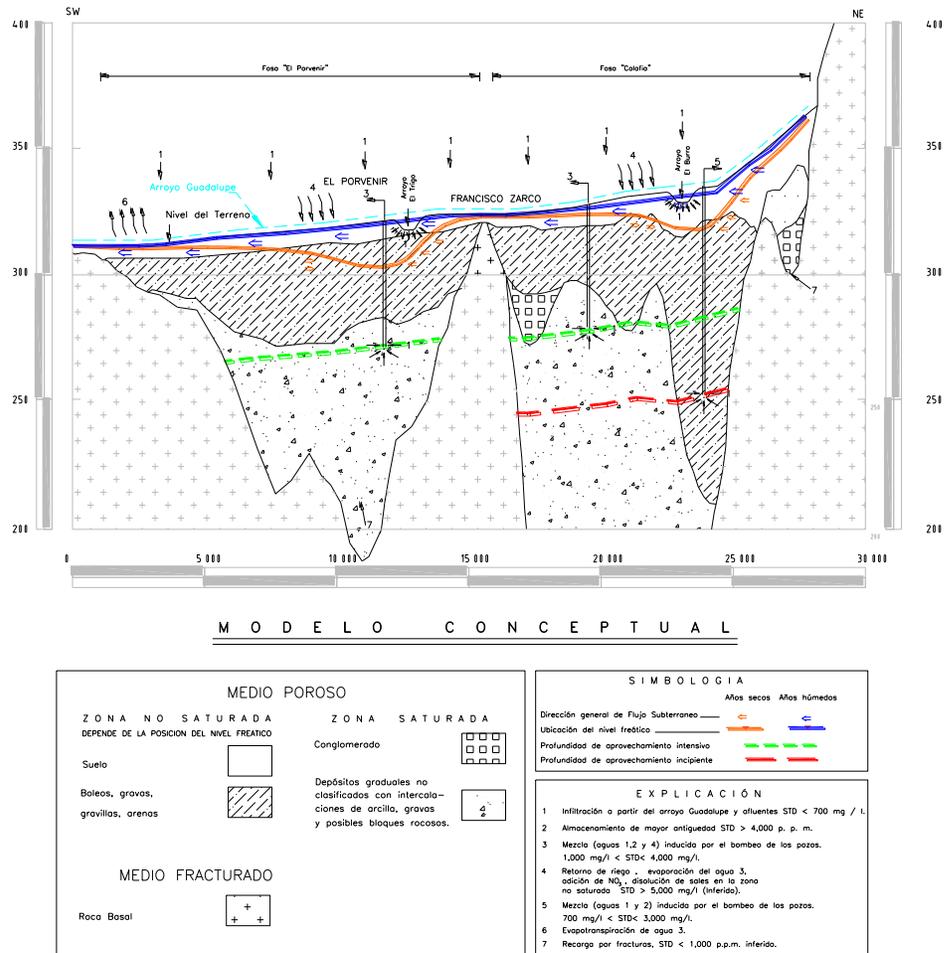


Figura 15 . Fosas Calafia y El Porvenir.

Las profundidades de los niveles estáticos en las inmediaciones del valle del acuífero Guadalupe varían actualmente desde los 5 y hasta los 50 metros, siendo los más someros los que se encuentran hacia la parte suroeste del valle y los más profundos en las inmediaciones de la Fosa Calafia.

En cuanto al flujo del agua subterránea, la tendencia general presenta una trayectoria con dirección de noreste a suroeste, prácticamente desde la cota 380 msnm en la parte

más alta y con una cota mínima de 285 msnm hacia la salida del valle que se ubica en la parte suroeste de la zona de estudio.

De acuerdo con el historial piezométrico se observa que el acuífero está siendo sobreexplotado, efecto que se ve claramente por la disminución de los niveles piezométricos, esta disminución se acentúa hacia la zona noreste del poblado de Francisco Zarco, aunque también existen algunos abatimientos locales en la zona sur de este poblado y en las cercanías del poblado El Porvenir, sin embargo los efectos de abatimiento son menores, e incluso en algunas zonas ubicadas hacia la parte extrema suroeste se han detectado recuperaciones de niveles estáticos, lo que hace que en esa zona el acuífero se encuentra más cercano a su equilibrio.

El acuífero, de acuerdo a diversos estudios ha sido clasificado como de tipo libre heterogéneo.

Conviene señalar que de acuerdo con la información que se dispone de calidad de agua subterránea el acuífero en general presenta tendencias de sobrepasar las normas de agua potable particularmente en lo que se refiere a sólidos totales disueltos.

5.5. Balances Hídricos

5.5.1. Balance Hidrometeorológico

Las partes fundamentales del ciclo hidrológico que tienen inherencia en el balance de agua subterránea son la precipitación, el escurrimiento, la infiltración y la evapotranspiración. Por lo que respecta al acuífero Guadalupe, la precipitación se presenta principalmente en invierno, tiene un valor medio anual del orden de 316 mm, teniendo una distribución espacial con valores que oscilan desde 270 mm hasta máximos de 500 mm, valor este último que corresponde a un área muy local donde se localiza la estación climatológica El Pinal. Asimismo con la información histórica de temperatura la media anual es del orden de 15.8°C, mientras que la evaporación potencial tiene un promedio anual de 2,192 mm.

Para determinar el orden de magnitud de la recarga por lluvia, a continuación se elabora un balance hidrometeorológico, de acuerdo con la formula que a continuación se expone:

$$\text{Precipitación} = \text{Escorrimento} + \text{Evaporación real} + \text{Infiltración} \quad 1$$

Por lo que respecta a los escurrimientos que se generan por lluvia, se pueden aplicar la metodología establecida en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000 y obtener el coeficiente de escurrimiento anual (C_e), el cual está en función del parámetro K, que depende del uso y tipo de suelo, para este caso es de 0.24, por ser un suelo que

considera cubierto de pastizal y para un tipo de suelo medianamente permeable (B) 50% a 75%.

De acuerdo con la norma, si $K > 0.15$, entonces se puede aplicar la ecuación 2.

$$C_e = K (P - 250) / 2000 + (K - 0.15) / 1.5 \quad 2$$

Donde

P = precipitación anual

La evaporación real, que se tiene en promedio en el área de estudio, de acuerdo con la fórmula de Coutagne, que es aplicable para el clima de esta zona y que se muestra a continuación:

$$ETR = P - c P^2 \quad 3$$

donde:

ETR = evaporación real en m

P = Precipitación anual en m

c = $1 / (0.8 + 0.14t)$

t = temperatura en °C

Para calcular el volumen que ocurre por flujo horizontal subterráneo es necesario aplicar la ecuación de la Ley de Darcy, con apoyo tanto a la configuración de curvas de igual elevación del nivel estático, así como a valores de transmisividad, obtenidos de pruebas de bombeo, sin embargo, para este caso particular, la piezometría que se dispone sólo presenta una zona reducida por donde sería factible conocer la entrada por flujo subterráneo,

Es importante recordar que tanto por la diferencia de altitudes del terreno entre el valle de Guadalupe, así como por el tipo de geología que existe en la región, prácticamente no existe una entrada de volumen de agua subterránea de proveniente de ese acuífero. Existen otras recargas que el acuífero recibe que son de tipo inducido originadas por las prácticas de riego, tanto con agua superficial como subterránea, en cuanto a las primeras por ser tan bajos los volúmenes de agua que se utilizan, no tienen influencia de importancias en la recarga, mientras que las utilizados para riego con agua subterránea que aunados al volumen empleado en otros usos, si se les puede aplicar un factor como valor representativo de este tipo de retornos

Una salida más de volúmenes de agua que se encuentran en el subsuelo del valle de Guadalupe, es a través de la evapotranspiración en áreas donde los niveles de agua subterránea son someros, esta área con profundidades del orden de hasta 10 m es de 78.3 km², en donde, si se aplica la recomendación para obtener el volumen de evapotranspirado de un acuífero, según la publicación de la CNA, Manual Para Evaluar Recursos Hidráulicos Subterráneos, se tiene que dicho volumen es igual al producto del área por la lamina promedio de la evaporación potencial, multiplicada por un factor que

representa al porcentaje de la evaporación en el evaporímetro, este factor se encuentra en función de la profundidad promedio del nivel estático en esa área.

Como parte del balance de aguas subterráneas es considerar el cambio de almacenamiento, que de acuerdo a las curvas de igual evolución del nivel estático para los periodos de 1990-2009 y de 2001-2009, es evidente que el acuífero sufre un minado de su almacenamiento. Aunque, existen zonas donde prácticamente el acuífero se encuentra todavía en equilibrio, particularmente hacia la parte suroeste del valle y en contraparte, hay áreas como la ubicada al norte de Francisco Zarco donde los abatimientos son bastante grandes.

5.6. Acuífero Guadalupe

Para conocer el funcionamiento del acuífero Guadalupe ante futuras extracciones de agua subterránea se determinó utilizar un modelo hidrodinámico, este modelo se basó en el código numérico denominado Visual Modflow ver. 4.1 el cual tiene aplicación en tres dimensiones, las ecuaciones que se resuelven son las de flujo de aguas subterráneas y conservación de masa, para simular el flujo de agua subterránea, estas ecuaciones se pueden consultar en la literatura de esta especialidad.

Diseño

El Modelo se alimentó con apoyo en lo establecido en el capítulo relativo al modelo conceptual de funcionamiento el cual indica los aspectos de condiciones del agua superficial incluyendo su climatología, principalmente de su precipitación que es parte fundamental de la recarga del acuífero, así como de la geología del subsuelo, características de permeabilidad de las rocas que la constituyen, tanto en las zonas donde se localizan las rocas ígneas como en las áreas donde se localizan dos fosas principales denominadas “Calafia” y “El Porvenir” donde se encuentra material granular así como el basamento inferior.

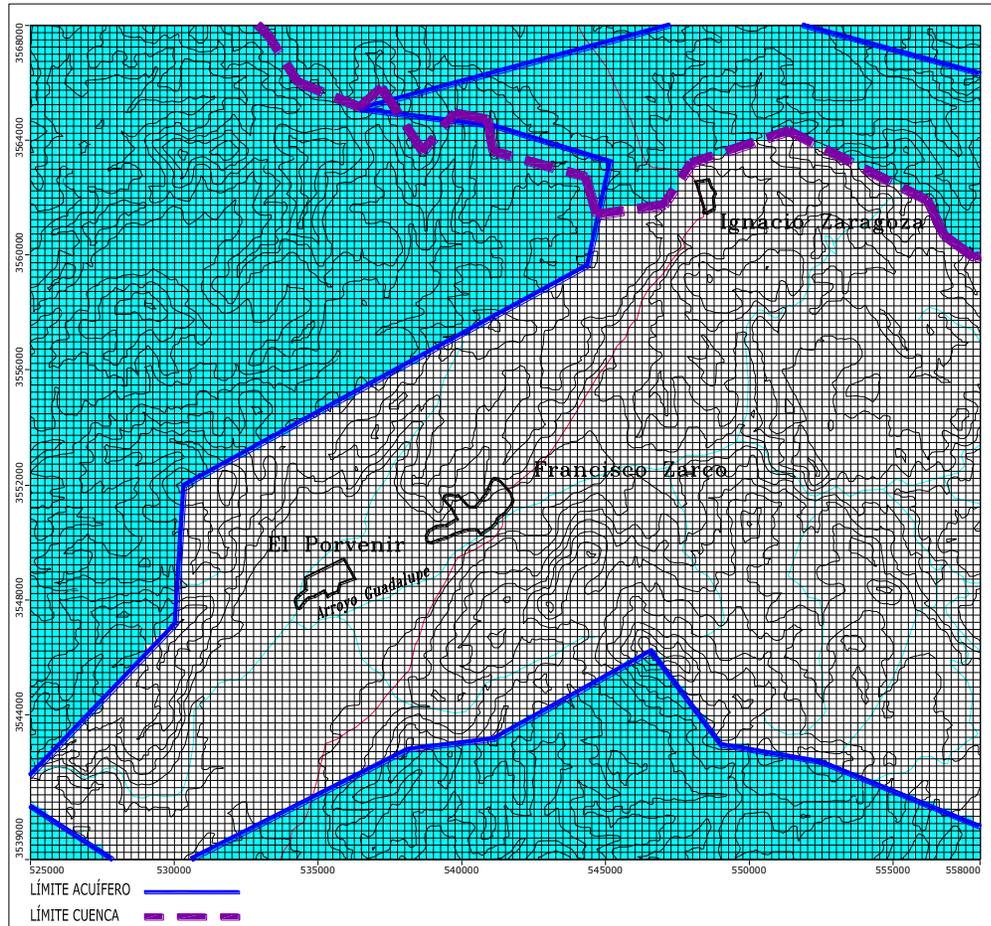
El modelo incluye recargas tanto por agua de lluvia como por recargas inducidas, por su parte las descargas principales obedecen a las extracciones de agua a través de pozos y norias. En forma menos acentuada se tiene una descarga en la zona sur por evapotranspiración debido a que los niveles del agua se encuentran someros. De acuerdo a la piezometría existente se tiene que el acuífero no presenta entradas de agua subterránea provenientes de acuíferos contiguos, asimismo, la salida de agua subterránea por flujo horizontal subterráneo es muy baja.

Por el tipo de acuífero y la dimensión del valle se consideró usar el modelo con celdas cuadradas de 250 m de longitud por lado, el modelo se denominó “Guadc.vmf” con límites UTM en $X_1= 525,000$, $Y_1= 3'539,000$, $X_2= 558, 000$ y $Y_2= 3'568,000$. En cuanto a su vertical la base se fijó alrededor de los 100 msnm. Para la formulación de la topografía del terreno se utilizó una base topográfica de INEGI consistente en aproximadamente 3,596 puntos con elevaciones msnm en coordenadas UTM.

En la figura 16 se puede observar en planta la discretización del acuífero Guadalupe de acuerdo al modelo "Guadc.vmf", en ella se puede observar las celdas activas e inactivas, estas últimas se encuentran en color azul.

En este modelo se establecieron 116 renglones y 132 columnas, cada una de ellas como se mencionó de 250 m de longitud, lo que hace un total de 15,312 celdas correspondientes a un área total de modelo de 957 km², sin embargo, no toda el área es del acuífero en estudio, sino que sólo una parte consistente en las áreas básicamente activas, las cuales corresponden a un total de 7,815 celdas activas que representan un área del orden de 488 Km², conviene mencionar que en una parte de la zona norte del acuífero se consideró inactiva por estar localizado el límite del acuífero en una cuenca superficial diferente a la denominada Guadalupe.

Asimismo, la parte este, ubicada después de la coordenada X= 558,000 no se incluyó en el modelo en forma geométrica dado que en esta área no existen aprovechamientos subterráneos, así como por ser sólo una zona de recarga por lluvia, la cual si fue considerada en la simulación de recargas que se presenta más adelante. También es de importancia manifestar que en esa área no se tiene ninguna piezometría que permita conocer las condiciones iniciales ni finales para una calibración del modelo.



*Las áreas en azul se encuentran inactivas

Figura 16 .Discretización del acuífero Guadalupe.

En su vertical el acuífero fue discretizado en 2 capas principales, en la primera se representa al acuífero granular debajo de la cual se localizan rocas ígneas, las rocas ígneas que rodean a la formación granular tienen permeabilidades secundaria debidas a las fracturas que se presentan.

En las figuras 17 a 21 se muestran secciones indicando las capas 1 y 2 con orientación este-oeste y norte-sur correspondientes a los renglones 66, 69 y 78 y a las columnas 48 y 79.

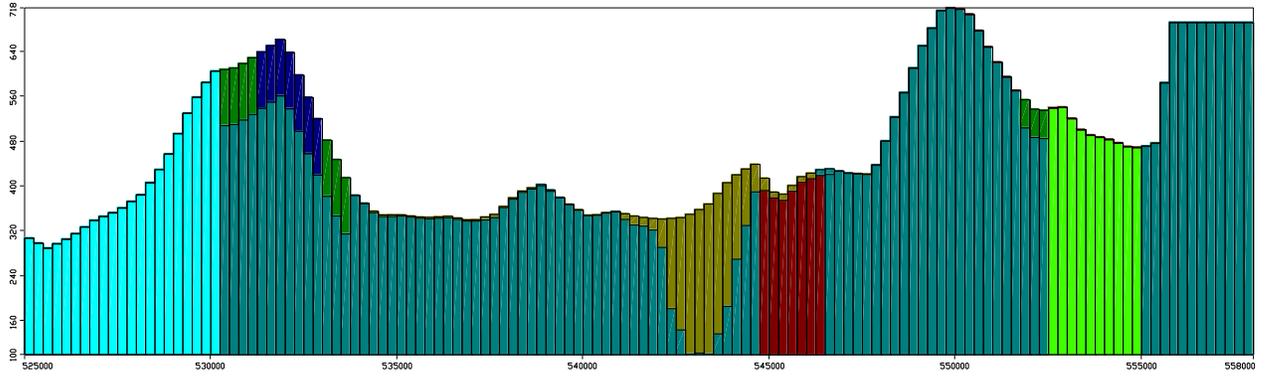


Figura 17. Sección este-oeste Fosa Calafia renglón 66.

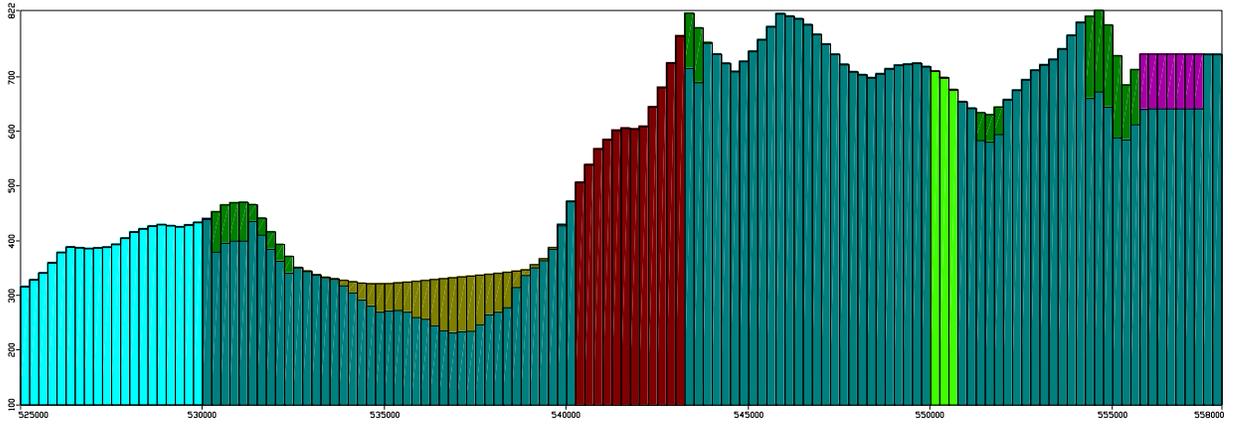


Figura 18. Sección este-oeste Fosa El Porvenir renglón 78.

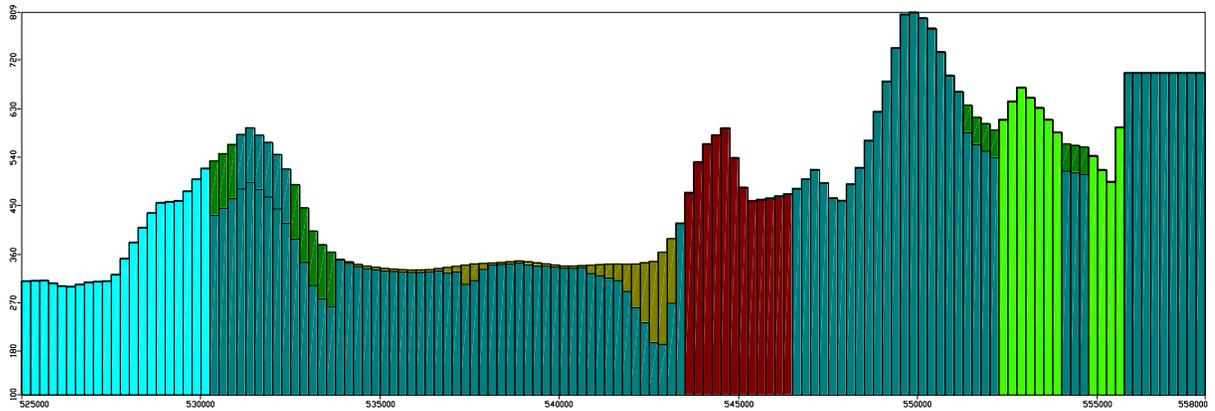


Figura 19. Sección este-oeste renglón 69.

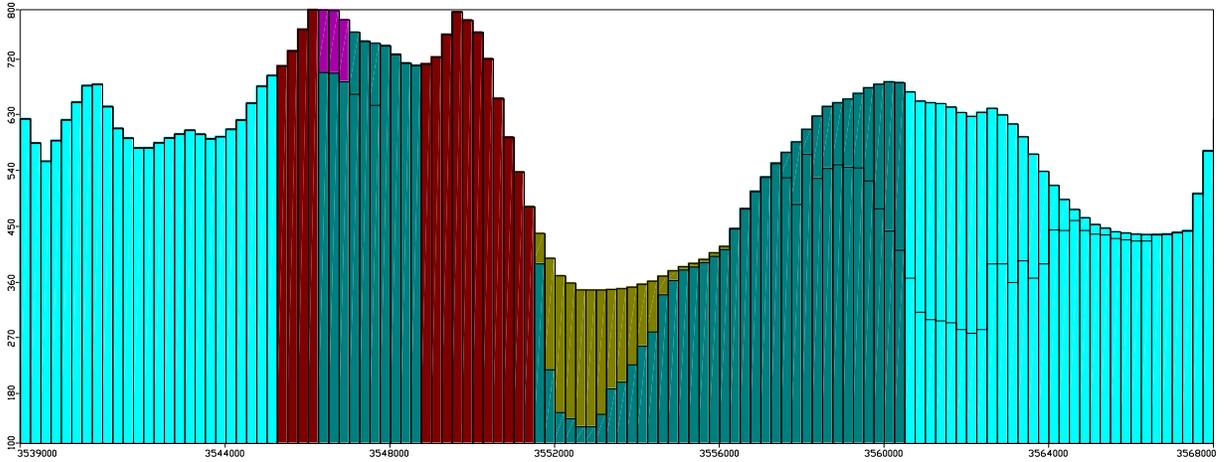


Figura 20. Sección norte-sur Fosa Calafía columna 79.

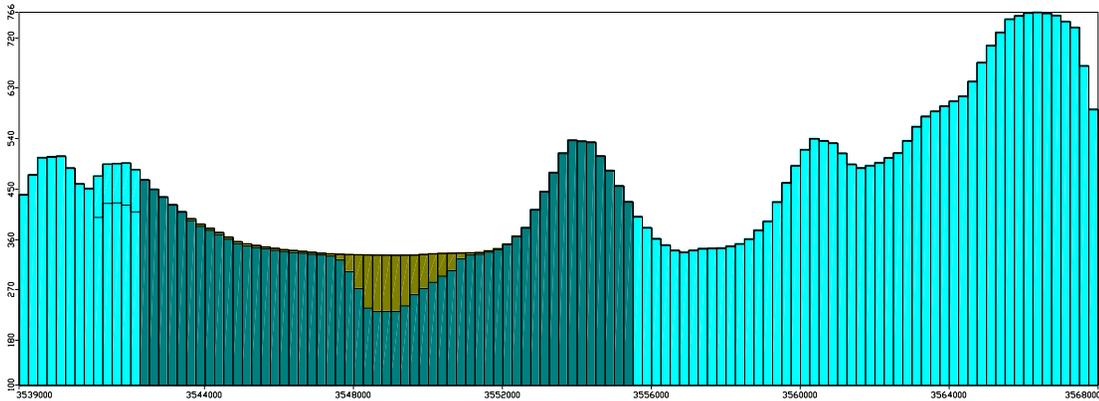


Figura 21. Sección norte-sur Fosa El Porvenir columna 48.

Las capas en color amarillo corresponden a las fosas de la capa 1 de material granular, existe también material de la capa 1 en colores diversos, pero fundamentalmente en estas secciones se está representando principalmente a las fosas denominadas “Calafia” y “El Porvenir” donde se localizan una gran mayoría de pozos. Las celdas de color Cyan son inactivas

Calibración

Las unidades de medida que se utilizaron en el proceso de este modelo se indican a continuación:

Longitud: metros

Tiempo: días

De acuerdo a lo anterior los valores de los parámetros de conductividad, recarga, bombeo y evapotranspiración fueron:

Conductividad hidráulica: m/día

Recarga: m/día

Bombeo: m³/día

Evapotranspiración: m/día

Bombeo

La calibración del modelo se realizó para el período 1990-2009, dado que para este período se tenía la mejor disponibilidad de piezometría, que incluye a pozos con sensores con registro continuo, la cual abarca un lapso de los últimos 20 años, además conviene destacar que durante este período, en la cuenca donde se localiza el acuífero Guadalupe, no se presentaron lluvias con las características que se tuvieron en el período 1978 a 1983 durante el cual alcanzaron valores de más del doble de la lluvia media anual, lo anterior es de fundamental, en virtud de que el acuífero se alimenta

principalmente de una parte del agua de lluvia que se precipita en el área donde se localiza.

Asimismo, es importante señalar que por no existir una información precisa sobre las extracciones de agua subterránea que se han realizado en los últimos 20 años se determinó, que las extracciones, aun cuando debieron variar de un año a otro, en promedio era aceptable que el bombeo fuera constante durante ese periodo, del orden de $20.5 \text{ hm}^3/\text{año}$, esta consideración no se aleja demasiado de algunos datos que se asientan en estudios hidrológicos anteriores.

Desde luego para simular los bombeos de los pozos que abastecen a la ciudad de Ensenada se consideraron datos de la CESPE, en este sentido cabe hacer mención que para uso público urbano ésta es mayor que la que se utiliza en la zona delimitada por el acuífero.

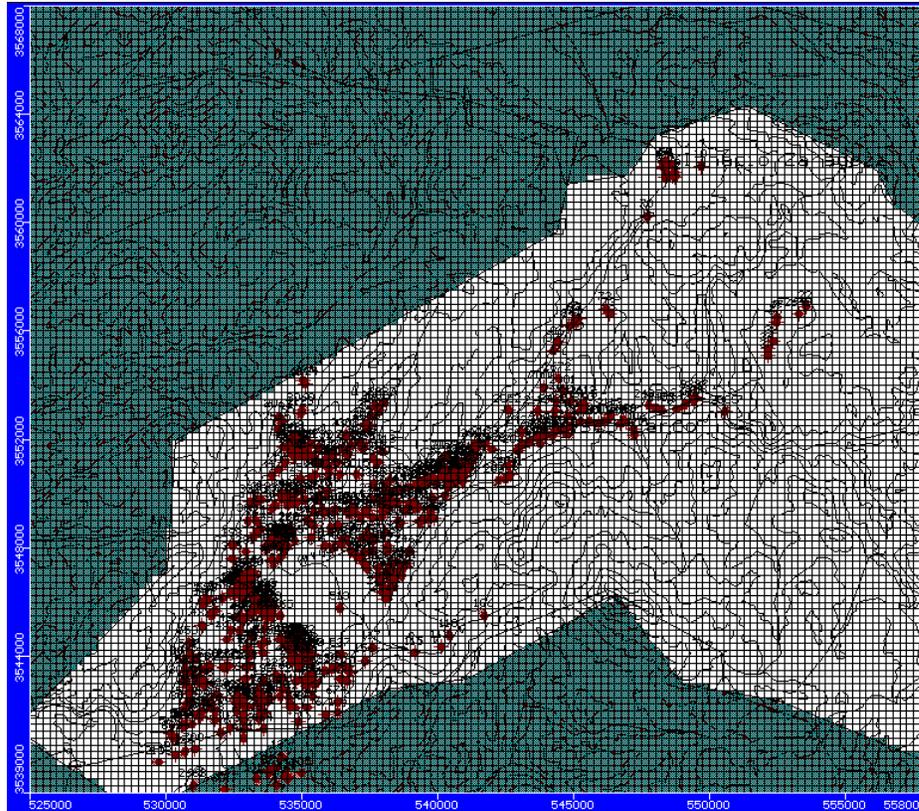


Figura 22. Localización de pozos y norias activas.

En la figura 22 se muestra la distribución de pozos y norias dentro del modelo de simulación del acuífero en estudio, como se observa la mayoría se encuentra en el área de valle, el total de aprovechamientos subterráneos activos consistentes en pozos y norias fue de 536.

Parámetros hidráulicos

En general los parámetros hidráulicos que interesan en el modelo son la conductividad hidráulica y el coeficiente de almacenamiento o rendimiento específico, de estos parámetros no se cuenta con información suficiente, sobretodo actualizada, por lo cual se aplicó el método de ensayo y error durante la calibración;

Recargas

Como se mencionó anteriormente en el capítulo del modelo conceptual de funcionamiento, el acuífero se alimenta principalmente de una parte del agua de lluvia que se precipita directamente sobre el área del acuífero Guadalupe, en este sentido para su valoración se consideró que el volumen de recarga tiene una relación con un valor de un coeficiente de infiltración por lluvia, además de esta recarga el acuífero recibe en forma paralela una recarga inducida principalmente por el riego que se realiza en el valle de esta región, también de una pequeña parte de agua inducida por las fugas de las instalaciones hidráulicas de abastecimiento de agua para uso público urbano de la propia área de estudio, es decir, no se consideran fugas de los sistemas de agua que conducen agua hacia la ciudad de Ensenada.

Para efectuar la calibración del modelo se partió del historial piezométrico disponible, se considero, que las condiciones de piezometría del año 1990 serían las condiciones iniciales con las cuales se elaboro el modelo, tanto por su confiabilidad, como por su antigüedad de 20 años, tiempo en el cual el bombeo pudo ser semejante en años posteriores al actual, así como por no presentar durante este último período, lluvias como las ocurridas durante los años 1978-1983, que como se comentó anteriormente, estas precipitaciones fueron casi del doble de la lluvia media anual, las cuales influyen en forma importante en la recarga del acuífero. El archivo de datos correspondientes al año 1990 se le asignó el nombre de Ci90.Txt, el cual se elaboró con base a los datos de niveles piezométricos, una vez determinado el archivo de condiciones iniciales se proceso con apoyo en el paquete de computo denominado Surfer ver. 7 para obtener el archivo Ci90.grd con el cual corre el modelo "Guadc.vmf".

Como complemento a los trabajos de simulación se utilizó la herramienta de zbud a fin de determinar balances de aguas subterráneas por zonas las cuales se dispusieron en dos partes la zona Norte donde se localizan aprovechamientos subterráneos agrícolas diversos que incluyen a los de CETTO, pozos del CESPE, industriales, domésticos, etc., así como la zona sur donde aun cuando existen aprovechamientos subterráneos que explotan al acuífero este no se encuentra tan explotado. En la figura 23 se muestran dichas zonas.

Asimismo en el modelo se incluyeron 49 pozos de observación para que sirvieran durante la calibración tal como se muestra en la figura 24.

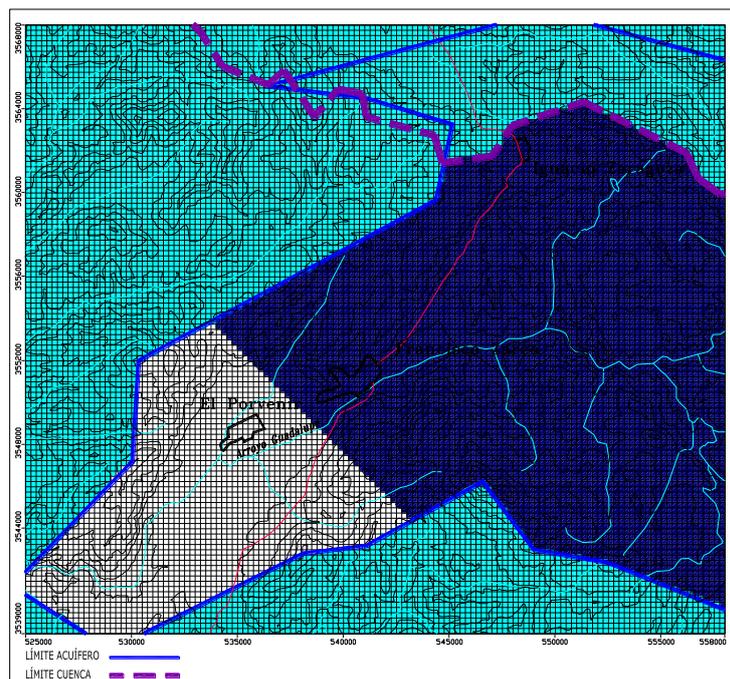


Figura 23 . Zonas norte (azul fuerte) y sur (blanca) para balances de aguas subterráneas .

6. RESULTADOS

6.1. Comportamiento del Flujo Subterráneo en el Acuífero de Guadalupe

6.1.1. Registradores Continuos de Nivel y Temperatura

De acuerdo con la información recopilada de este acuífero a continuación se presentan las condiciones de piezometría que se obtuvieron con el proceso de la información disponible del COTAS.

De los diez registradores, sólo dos presentan abatimientos importantes, ubicados al noreste del poblado de Francisco Zarco. Los demás han registrado abatimientos prácticamente nulos, como se puede observar en las figuras de la 25 a la 34.

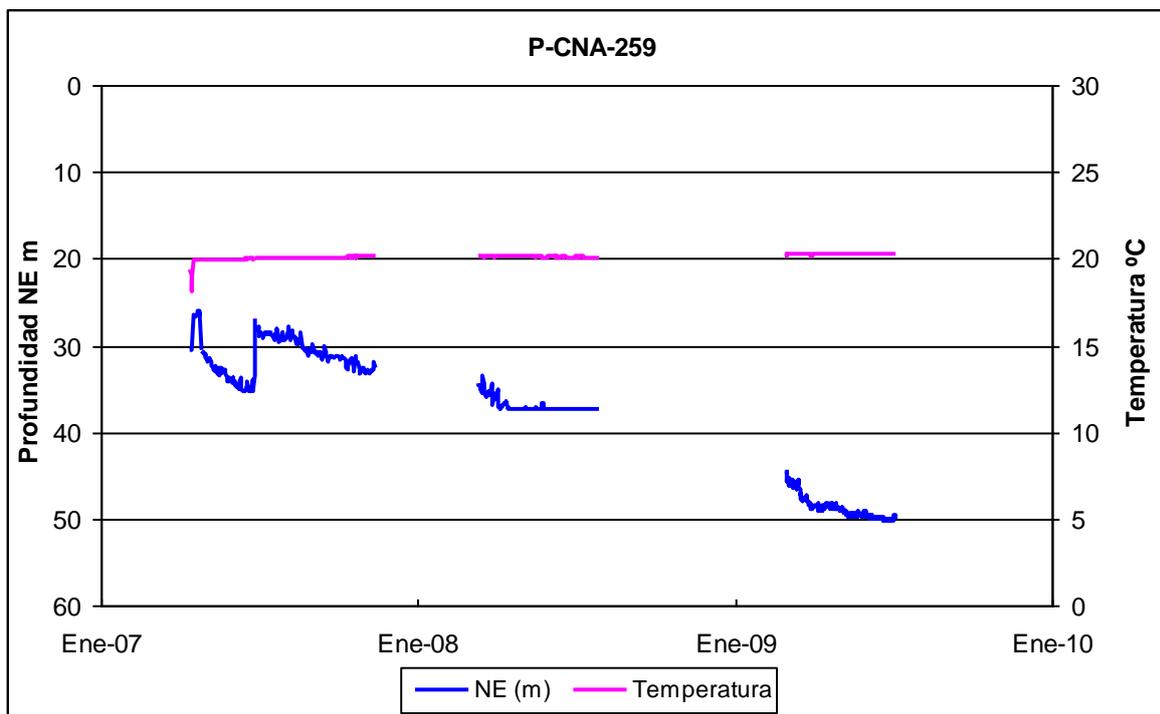


Figura 25. Hidrógrafo pozo 259.

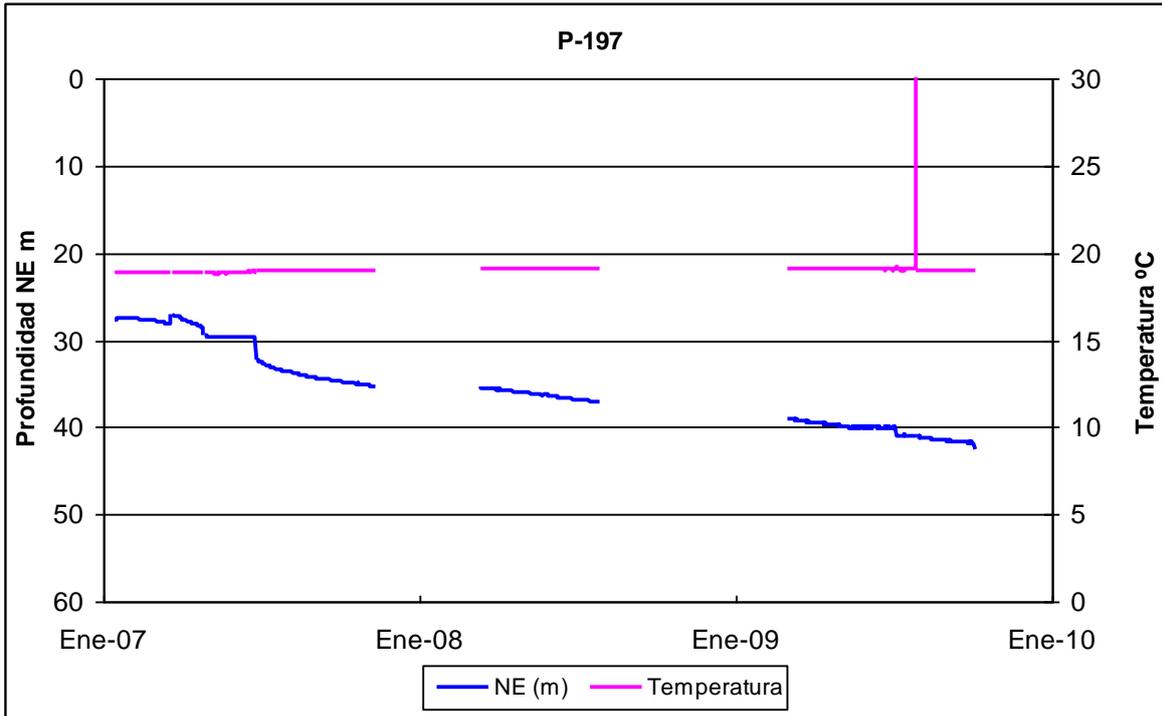


Figura 26. Hidrógrafo pozo 259.

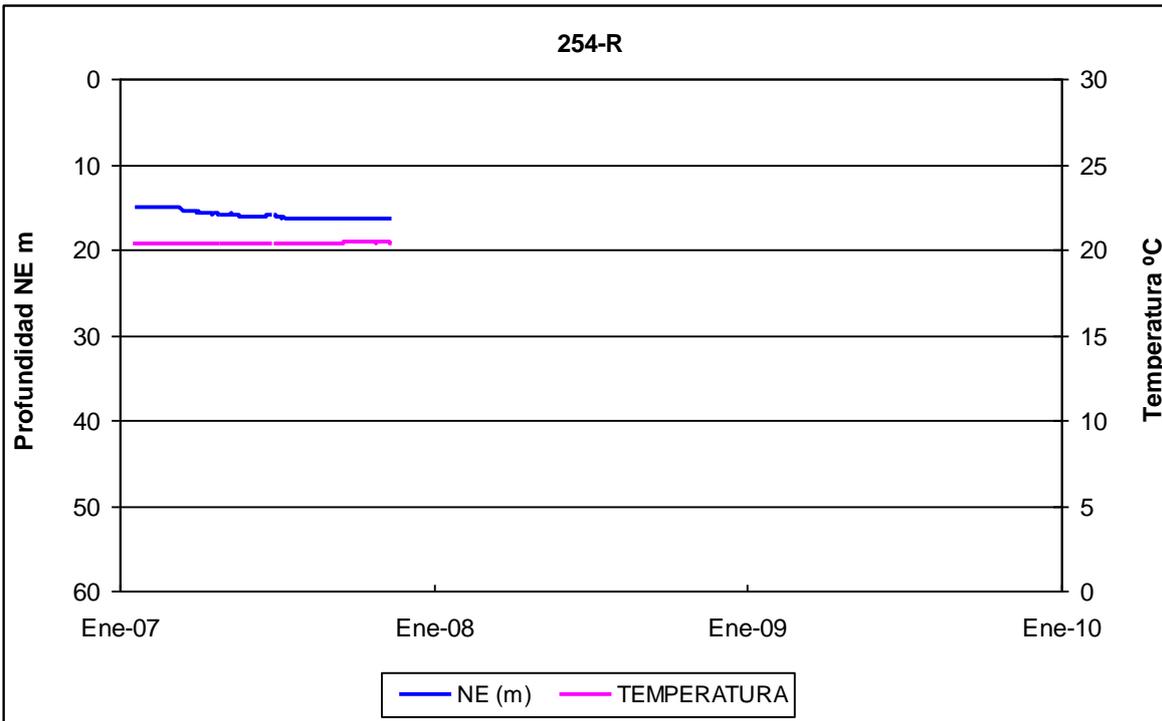


Figura 27. Hidrógrafo pozo 254 R.

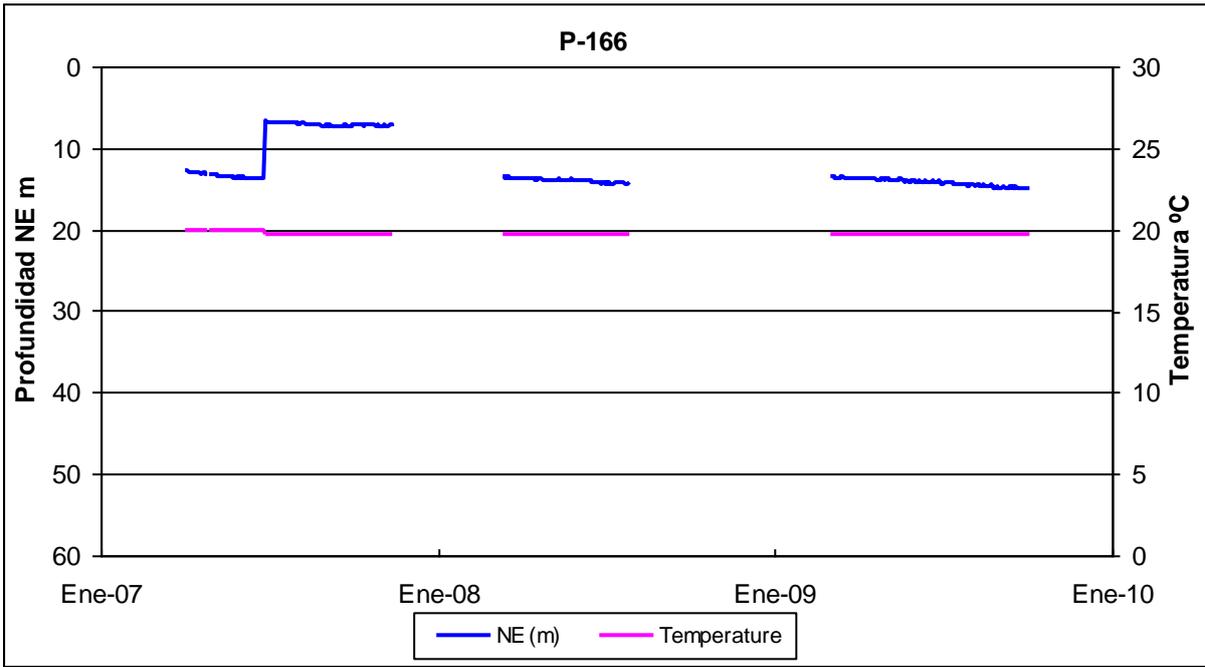


Figura 28. Hidrógrafo pozo 166.

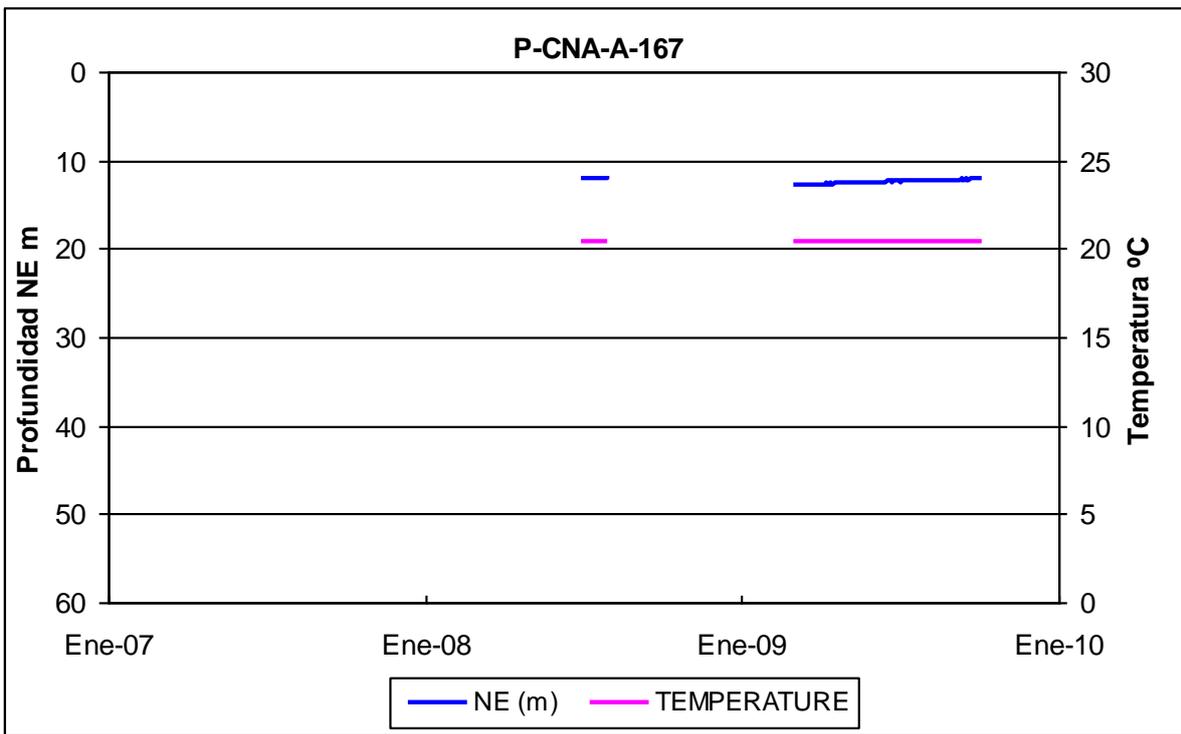


Figura 29. Hidrógrafo pozo 167.

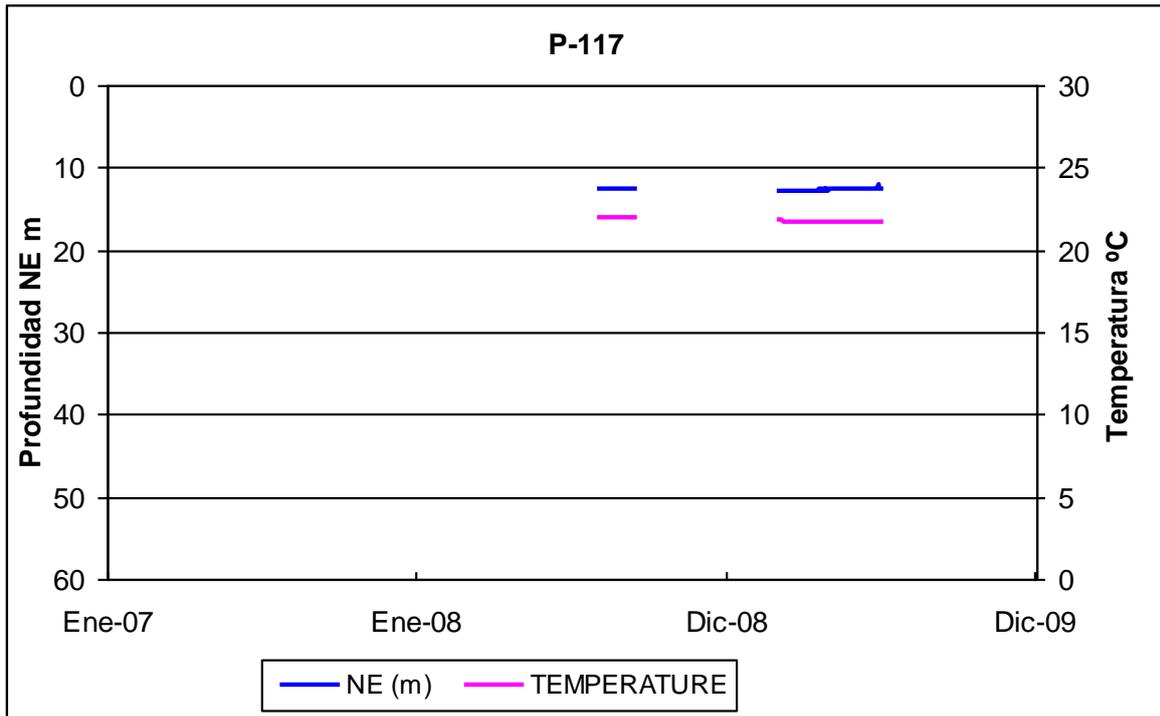


Figura 30. Hidrógrafo pozo 117.

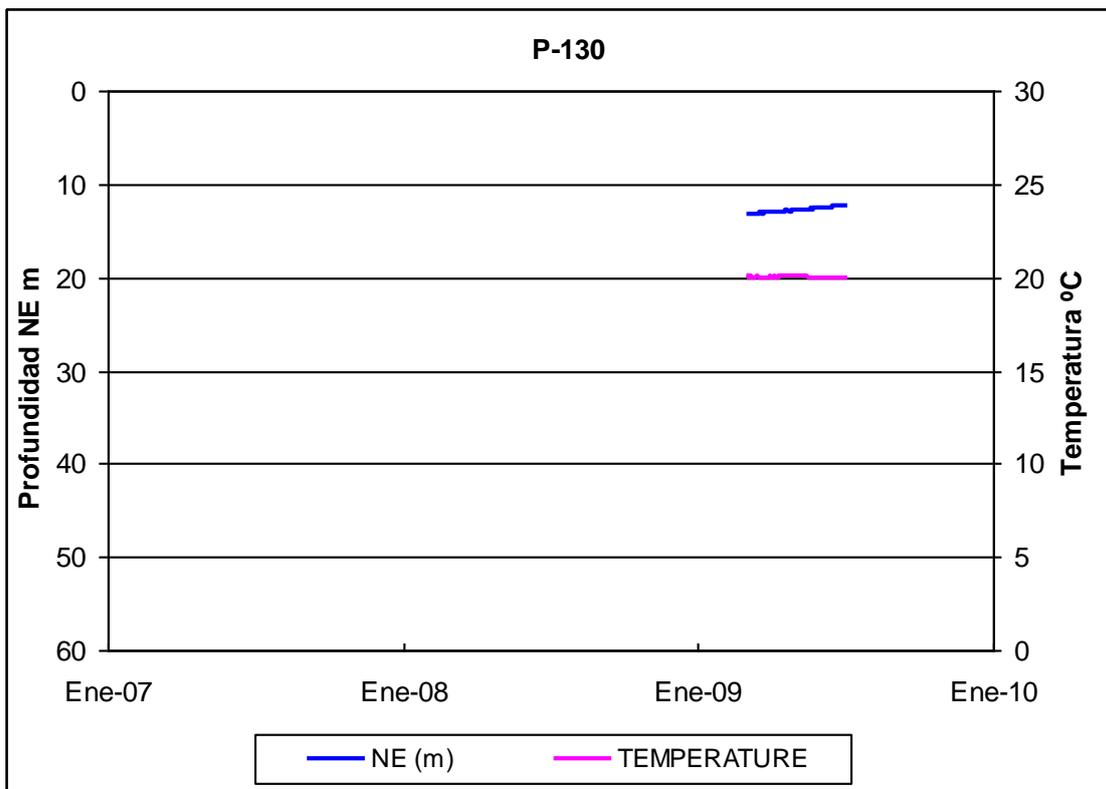


Figura 31. Hidrógrafo pozo 130.

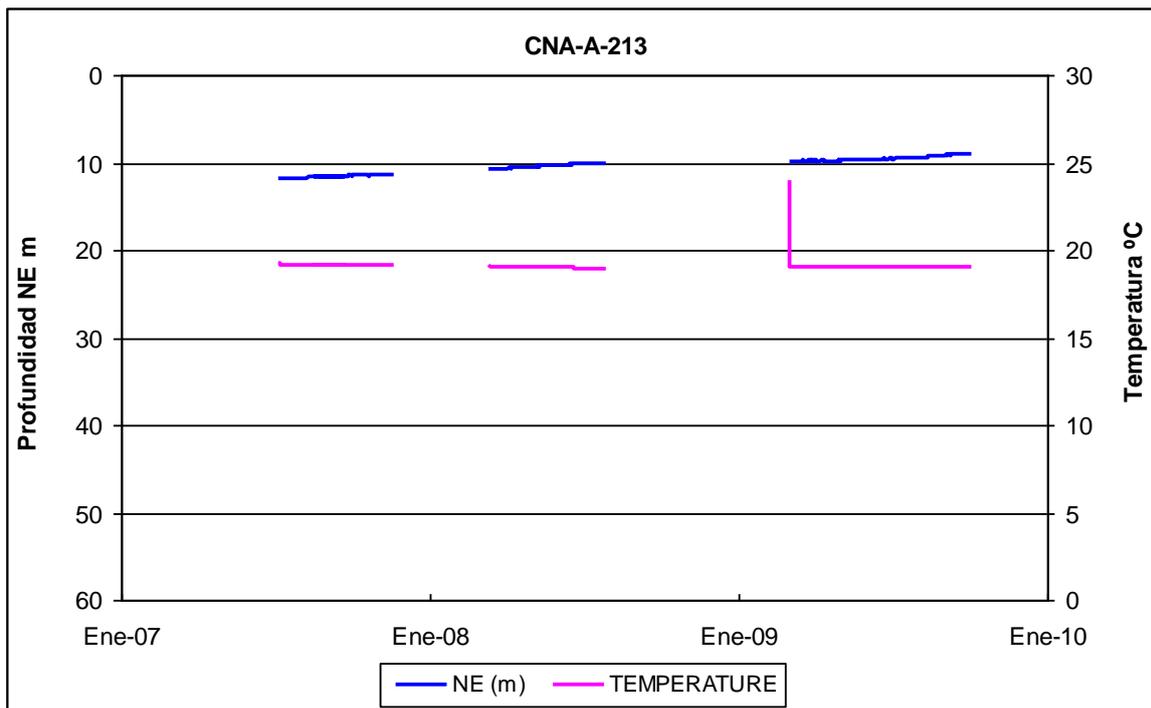


Figura 32. Hidrógrafo pozo 213.

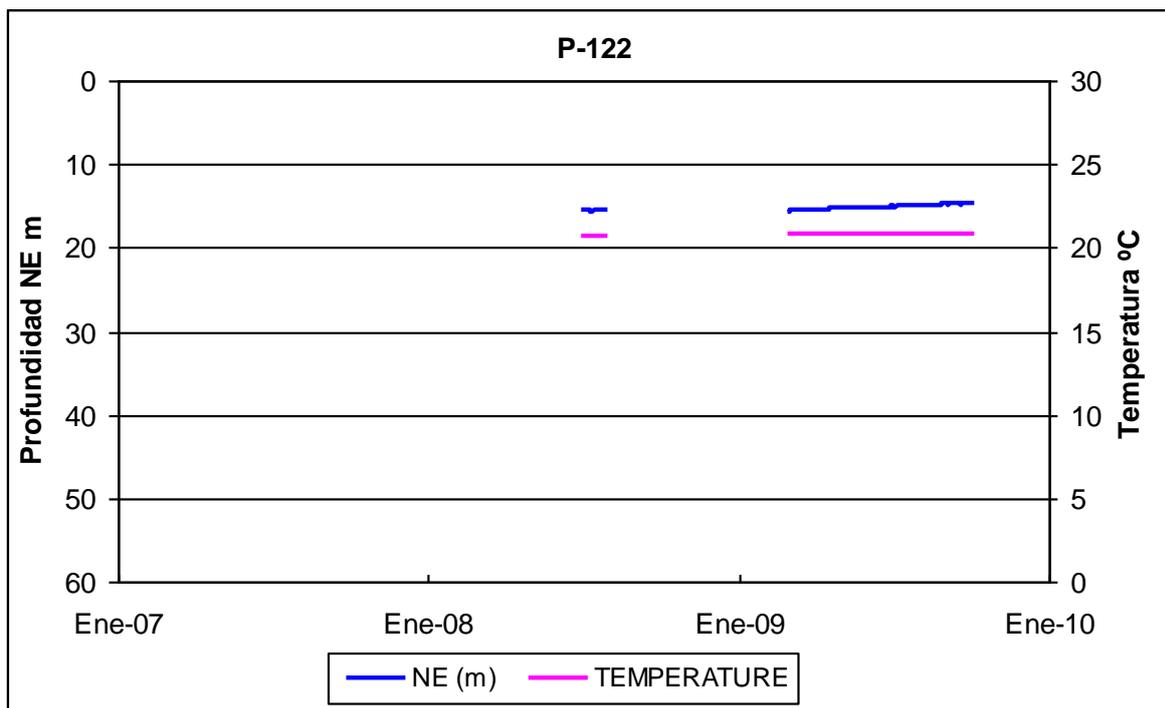


Figura 33. Hidrógrafo pozo 122.

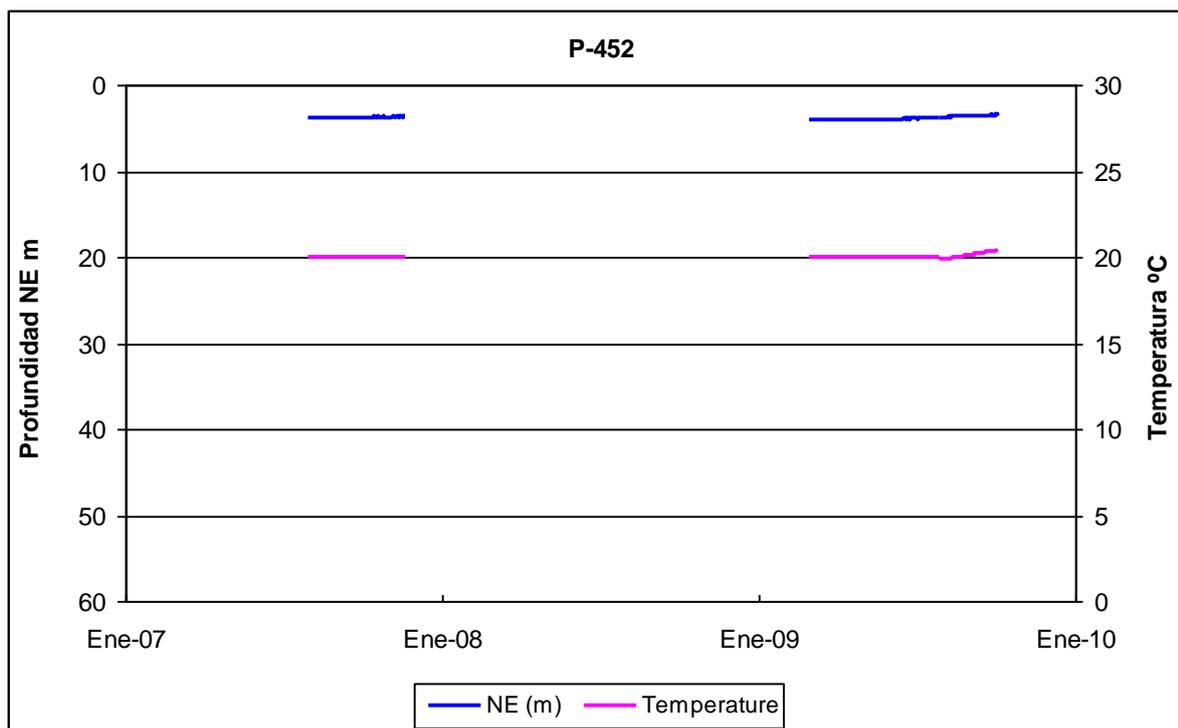


Figura 34. Hidrógrafo pozo 452.

Por lo que respecta a la temperatura del agua subterránea, varía entre los 18 °C y 21 °C y prácticamente uniforme en todo el acuífero donde se tienen instalados estos sensores predominando el valor del 20 °C. Por lo que respecta a la variación estacional, de ambos indicadores, nivel y temperatura, no se nota variación alguna (ver figuras de la 25 a la 34).

Sólo se dispone de dos sensores en la zona donde los abatimientos de los niveles estáticos en los últimos años se ha incrementado notablemente y ubicados muy cerca uno de otro, por lo cual para tener un conocimiento más preciso, sería conveniente disponer de un mayor número de registradores y repartidos uniformemente en esta área, por lo cual se requiere de mayor información para delimitar de mejor manera el área que está siendo afectada seriamente, por sobreexplotación del acuífero.

Para la zona noreste, la información entre principios del año 2007 y finales de 2009 muestra que el P-CNA-259 presenta un abatimiento promedio de 8.5 m/año, mientras que si se consideran los datos del P-197 para un periodo similar, el abatimiento es del orden de 5.0 m/año, entre ambos sensores se tendría un abatimiento del orden de 7.0 m/año el cual es muy fuerte. Ambos descensos de los niveles estáticos se pueden observar en las figuras 25 y 26.

Por lo que respecta a los pozos P-254-R y P-166, ubicados en las cercanías del sur del poblado de Francisco Zarco, también presentan abatimientos, aunque no tan fuertes como los mencionados anteriormente, del orden de 1.0 m/año. Mientras que los pozos con sensores localizados hacia el poblado de El Porvenir y sur del mismo, los abatimientos de los niveles de agua subterránea indican prácticamente un equilibrio, es decir, no presentan abatimientos, e incluso los sensores ubicados cerca de esa población así como en las faldas de la sierra Blanca, tampoco presentan abatimientos, con lo cual se puede inferir que hacia el sur del poblado de EL Porvenir los abatimientos son casi nulo o por lo menos muy bajos.

6.1.2. Piezometría Regional del Acuífero

De la investigación obtenidas en el COTAS, se realizó en primer lugar una revisión de toda la información piezométrica, a efecto de dar validez a la misma, posteriormente se elaboraron los hidrógrafos que se presentan en las figuras 35, 36 y 37.

Se observa que la figura 35 contiene los datos históricos desde el año de 1972 a la fecha, en esta figura se puede ver que entre 1972 y aproximadamente el año 1983 los niveles estáticos oscilaban con abatimientos y recuperaciones importantes, parte de esta situación se debió probablemente a las intensas lluvias que se presentaron entre 1978 y 1983, para posteriormente los niveles de agua subterránea comportarse más uniformemente e incluso con abatimientos más generalizados.

La figura 36 se elaboró sin incluir los datos del año 1998, que de acuerdo al análisis realizado previamente, presentan un comportamiento que no se define claramente, mientras que la figura 37 corresponde al período 2001-2009, donde se advierte que en los últimos años la velocidad de abatimiento de los niveles estáticos de algunos pozos se ha incrementado, asimismo, se observó que en la gran mayoría de los hidrógrafos, elaborados con datos desde 1972, llegan en muchos casos a tener una buena correlación con la época de lluvias.

Con base en esta depuración se seleccionó el año de 1990 como inicio para el periodo de tiempo de calibración del modelo de flujo y el año de 2009, final de la calibración, respectivamente.

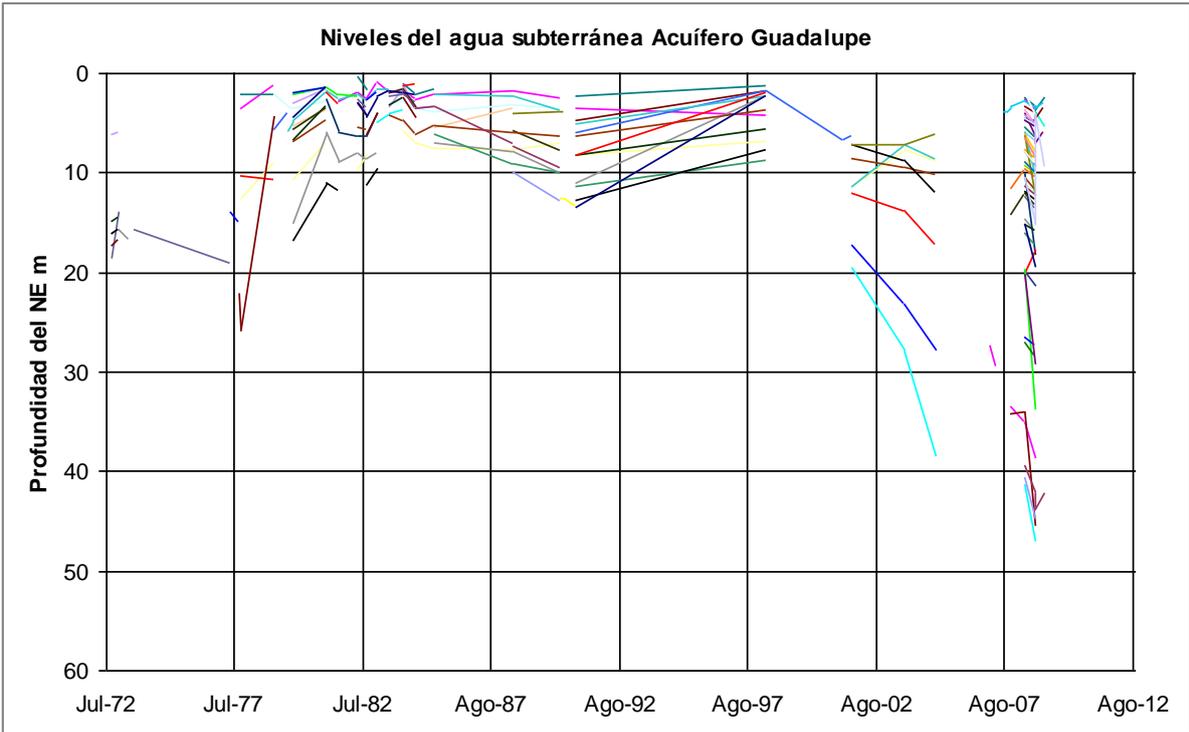


Figura 35. Hidrógrafo de pozos piloto.

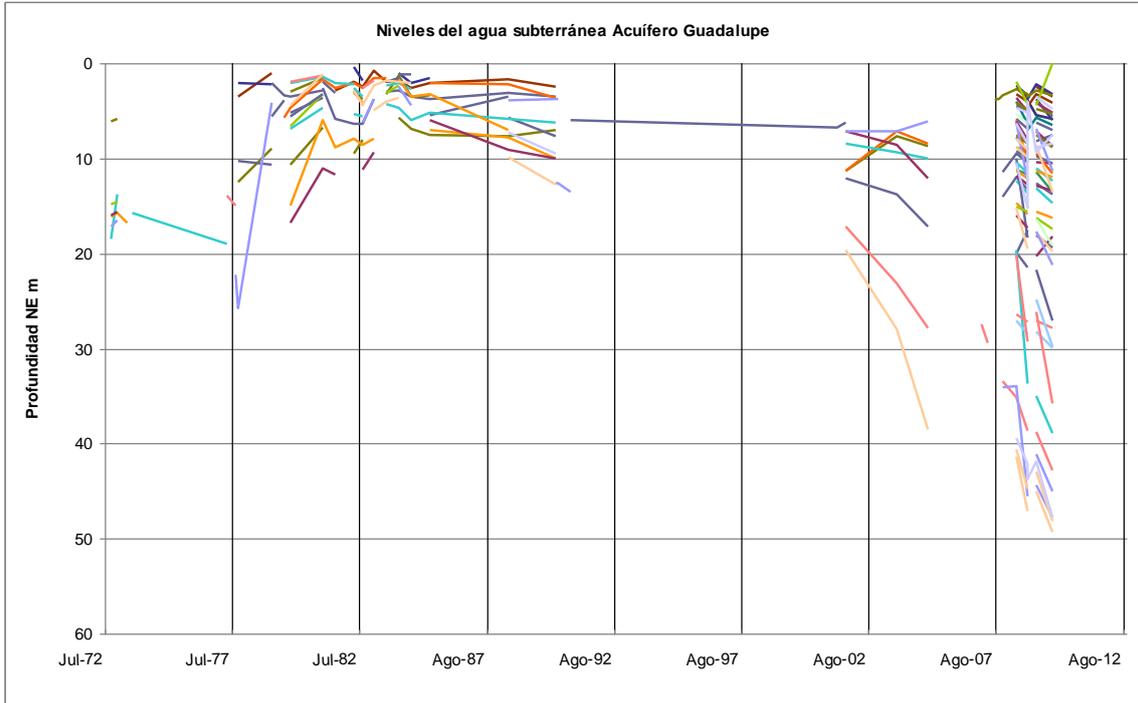


Figura 36. Hidrógrafo de pozos piloto (sin año 1998).

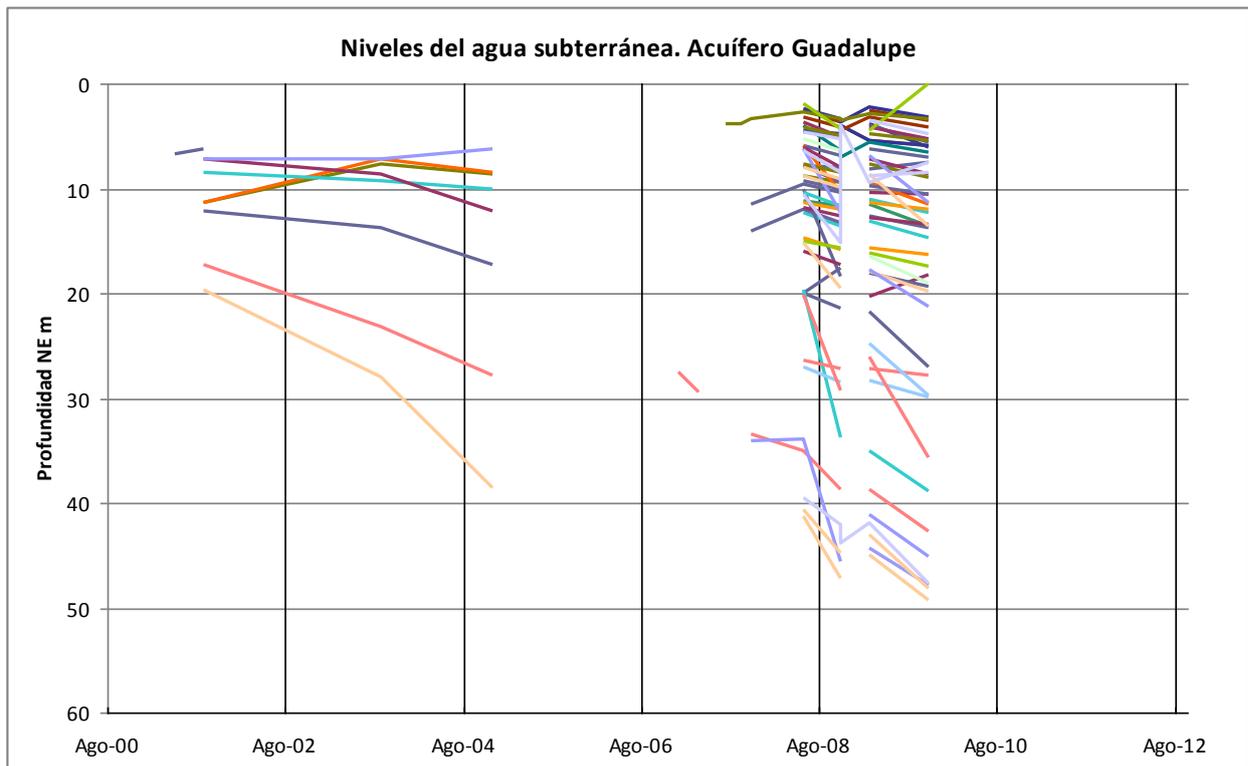


Figura 37. Hidrógrafo de pozos piloto (2001-2009).

6.2. Comportamiento de Aguas Superficiales con Aguas Subterráneas

Con base en los datos del año 1990 se elaboró la configuración de curvas de igual profundidad al nivel estático, debido a que ese año fue seleccionado como el punto inicial del modelo de simulación hidrodinámica, dicha situación obedece a circunstancias diversas, tales como información piezométrica más confiable, así como al mayor número de datos de valores de niveles estáticos distribuidos en la zona de estudio, además que posterior a este año no se presentó un evento de lluvias extraordinarias como las acaecidas durante el período 1978-1984, las cuales alteran de manera significativa el comportamiento del acuífero, tanto en forma casi inmediata como durante algunos años posteriores. Además, no es muy recomendable considerar estos volúmenes de lluvia en forma constante, para la estimación de las recargas, dado de que las lluvias que se presentaron durante el

período señalado, a las cuales está expuesta el medio natural, en general son esporádicas, según la información que se dispone de climatología, como se aprecia en el capítulo de climatología esta situación especial se presentó entre el año 1980 y 1990 por lo que su eventualidad en caso de suceder será favorable al acuífero, quedando por tanto, en caso de presentarse una lluvia similar, con recargas mayores al acuífero, pero sólo durante un corto plazo.

Además este periodo se eligió de 1990-2009 para que en ese lapso de 20 años fuera posible predecir el comportamiento para un lapso semejante de los próximos 20 a 30 años, de acuerdo a algunos especialistas sobre este tipo de simulaciones, en este sentido es posible que una vez establecido y calibrado el modelo en un futuro próximo se adecue con mayor información de tal manera que no se tenga que esperar del orden de otro 30 años para su recalibración y en ese sentido disponer cada vez de una herramienta que permita proponer opciones de manejo adecuado del acuífero en estudio.

En la figura 38 de curvas de igual profundidad al nivel estático del año 1990 se muestra que para esa época los valores de los niveles estáticos desde el poblado El Porvenir hacia el sur, los niveles oscilaban entre 3 y 5 m de profundidad, salvo algunas pequeñas excepciones, en esta área se encuentra la fosa El Porvenir, que es menos profunda que la denominada fosa Calafia, la cual se localiza al norte del poblado de Francisco Zarco. En la zona de la fosa El Porvenir los pozos así como norias presentan las profundidades de los niveles estáticos someros indicados anteriormente. De acuerdo a la figura 38 los niveles más profundos en esa área se encuentran cercanos al pie de las sierras.

En la zona de la Fosa Calafia las profundidades de los niveles estáticos para el año 1990 oscilaban entre 10 a 16 metros predominando valores de 14 a 15 m.

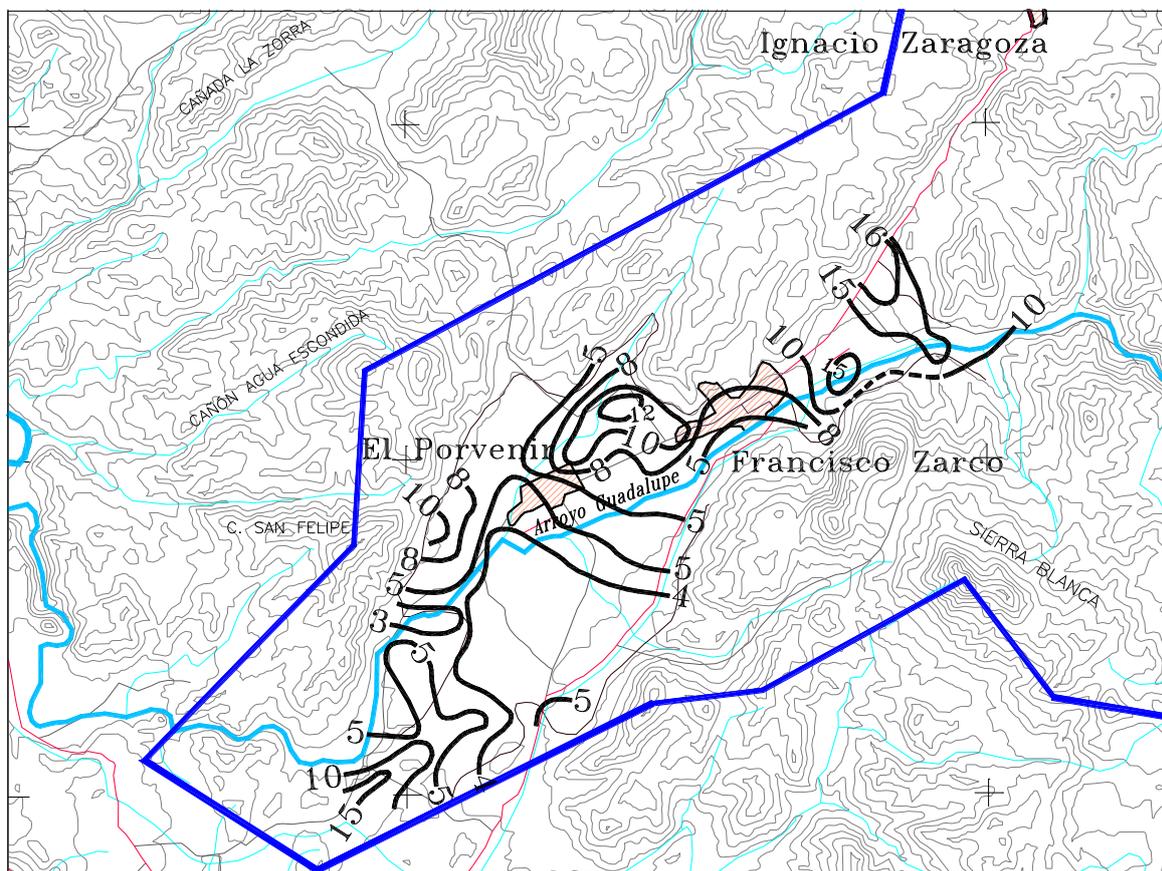


Figura 38. Curvas de igual profundidad del nivel estático en 1990.

Con el paso del tiempo la explotación del acuífero provocó que la profundidad de los niveles estáticos se incrementara como se puede observar en la figura 39 de curvas de igual profundidad del nivel estático del año 2009, donde se aprecia que en el área de valle ubicada desde el poblado de El Porvenir hacia la salida del Arroyo Guadalupe, donde se localiza el límite del acuífero Guadalupe oscilan de 5 a 12 m de profundidad, correspondiendo los valores de 12 metros al pie de las sierras Blanca que flanquean al valle. Valores de 4 a 6 m se encuentran en las cercanías del Arroyo Guadalupe y en la parte más al sur del límite del acuífero se

detectaron valores de poco más de 15 m, dichos valores se encuentran básicamente en las rocas ígneas intrusivas que delimitan al acuífero, es decir, están fuera del aluvión que presenta el estrato superior del valle. Por su parte en el poblado de Francisco Zarco las profundidades del nivel estático se encuentran alrededor de los 10 m, mientras que al norte de este poblado, comprendiendo la zona de la Fosa Calafia, las profundidades de los niveles estáticos se incrementa hasta alcanzar valores detectados de hasta 49 m existiendo una amplia área con valores del orden de 40 m a 45 m como se aprecia en la figura 39, hacia los alrededores del límite de la Fosa Calafia así como con las formaciones geológicas que los delimitan los niveles estáticos oscilan entre 20 a 30 m, valores menores se localizan en los extremos de esta área como también se puede observar en la figura 39.

Este incremento de la profundidad del nivel del agua alcanza valores de hasta de 20 metros, y aún más, en este periodo de 1990 a 2009.

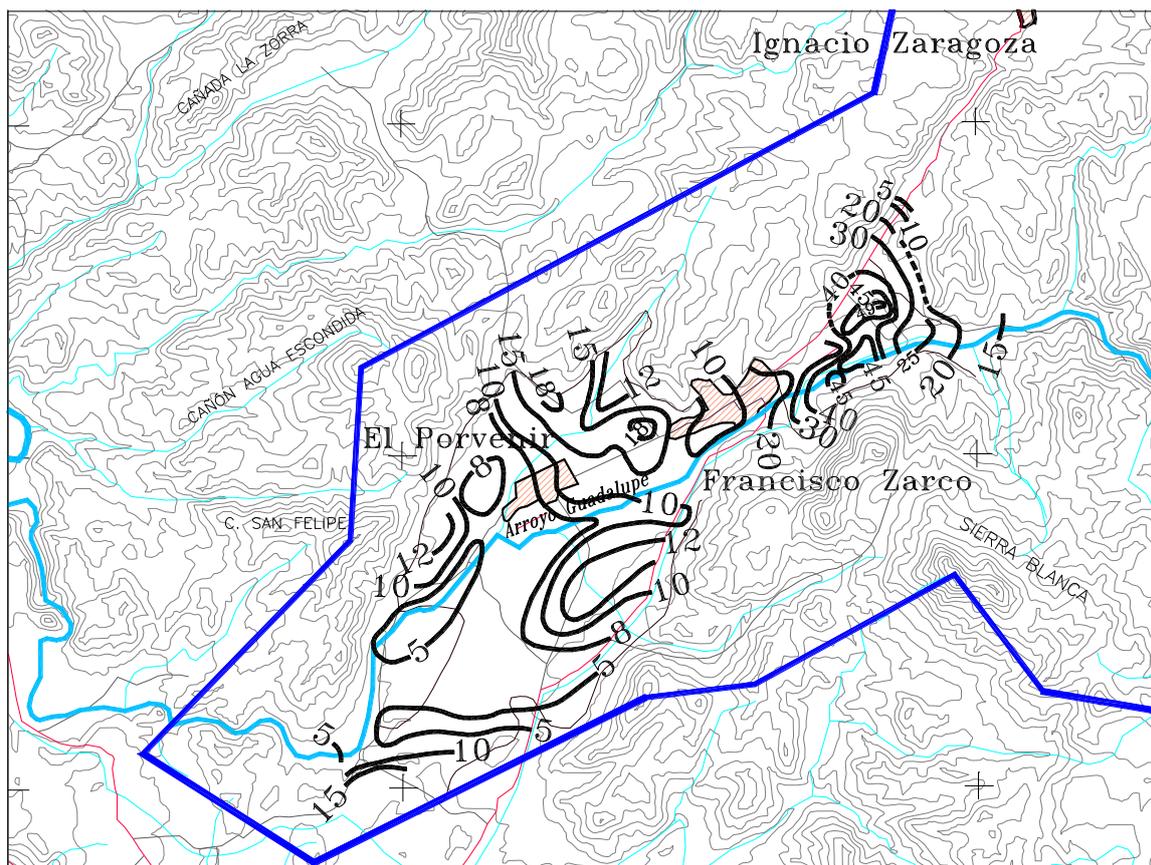


Figura 39. Curvas de igual profundidad del nivel estático en 2009.

Elevación del nivel estático en el acuífero Guadalupe

A fin de continuar con la determinación de las trayectorias del flujo subterráneo de las aguas subterráneas que contiene el acuífero Guadalupe, se elaboraron 2 configuraciones de curvas de igual elevación del nivel estático con base a la información piezométrica disponible y analizada. La primera configuración se realizó con información correspondiente al año 1990, que como se mencionó anteriormente será considerado como punto de partida en las condiciones iniciales que se establezcan en el modelo de simulación hidrodinámica. Para su elaboración además de utilizar preferentemente los datos de noviembre de 1990, se emplearon los valores de altitudes del terreno donde se localiza el pozo piloto, para el caso de que no se dispusiera de este dato. Se utilizó el obtenido durante el censo de 2009, de igual manera para el caso extremo de no contar con este valor,

de acuerdo con sus coordenadas se estimó su valor con apoyo al Google, como se manifestó anteriormente estas altitudes permiten tener una buena representación del flujo subterráneo tanto de este año como para la del año 2009 donde se utilizó un mayor número de pozos piloto.

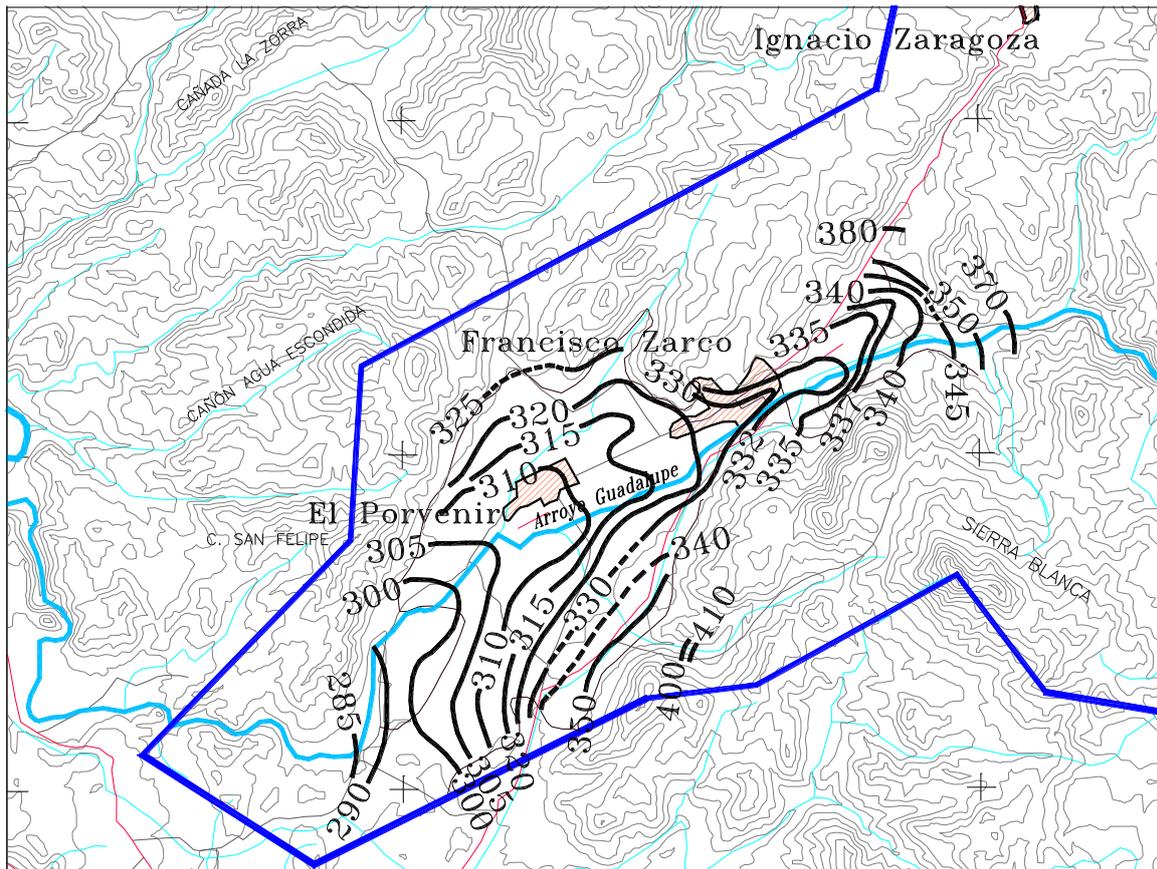


Figura 40. Curvas de igual elevación del nivel estático en 1990.

De acuerdo con la configuración del año 1990 que se presenta en la figura 40 se observa que en general los flujos subterráneos presentan desde su parte noreste una dirección con rumbo preferencial al suroeste, semejante a la trayectoria del Arroyo Guadalupe. En las partes más amplias del valle, el agua subterránea fluye hacia el centro de la misma para seguir un curso paralelo al arroyo citado. La cota más alta del nivel del agua subterránea para el año 1990 que se localiza al noreste de la Fosa Calafia presenta una altitud de 380 msnm, mientras que la cota más

baja, que se localiza a la salida del arroyo Guadalupe con el límite del acuífero fue de 285 msnm, lo que indica que en esta parte existe una pequeña salida de agua subterránea.

Al observar la figura 41 que presenta la configuración de curvas de igual elevación del nivel estático del año 2009, la cual fue elaborado principalmente con los datos de noviembre de ese año, se aprecia que en el área de la Fosa Calafia se han formado conos de abatimiento provocados por el exceso de extracción de agua subterránea, con altitudes del orden de 300 a 310 msnm, dado que en tanto en la parte noreste de esta fosa las altitudes más altas del nivel estático son del orden de 380 msnm así como de 360 m al este de esa Fosa, mientras que al sur de la Fosa Calafia, en las cercanías de la zona noreste del poblado de Francisco Zarco las altitudes son del orden de 320 e incluso 340 msnm. Hacia el sur de este poblado las altitudes descienden desde los 315 msnm hasta 285 y 260 msnm y a la salida del Arroyo Guadalupe en los límites del acuífero en estudio, donde sigue persistiendo la pequeña salida de agua subterránea.

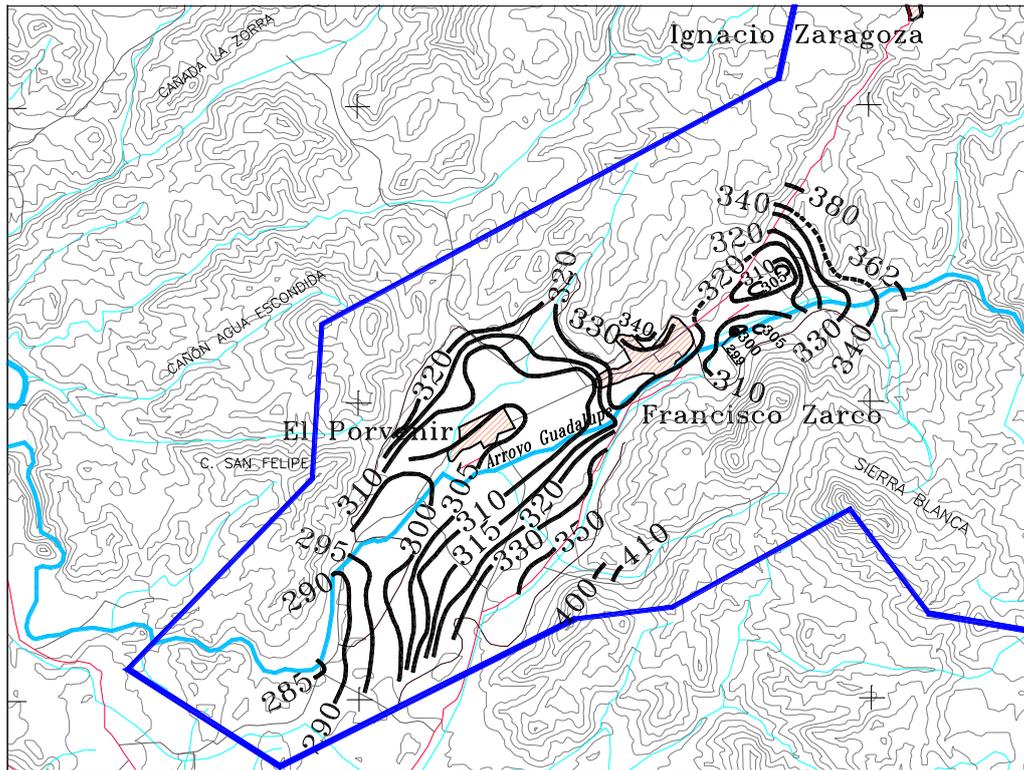


Figura 41. Curvas de igual elevación del nivel estático en 2009.

Al igual que para el año 1990 en las áreas amplias del valle donde se encuentra la Fosa El Porvenir delimitado por las sierras que la flanquean las aguas subterráneas siguen un curso con dirección hacia el Arroyo Guadalupe para luego fluir en forma paralela al mismo. Cabe señalar que en esta área de la Fosa El Porvenir no se han detectado la formación de conos de abatimiento, aun cuando como se verá más adelante existe una ligera disminución de los niveles estáticos en esta zona.

Conviene mencionar que al observar las configuraciones de los niveles estáticos se aprecia que debe existir una pequeña salida de agua subterránea por la parte suroeste del acuífero, cerca de la equipotencial 285 correspondiente al año 2009, la cual puede llegar a la zona delimitada administrativamente como acuífero La Misión, sin embargo, de acuerdo a la geología que se presenta en esa región, así

como la lejanía del área donde básicamente se encuentra en explotación dicho acuífero hace que por su baja cuantía no se considere como una recarga para el acuífero La Misión. De estudios efectuados con anterioridad además de señalar que los volúmenes de agua subterránea que salían eran del orden de 0.15 hm³/año, no necesariamente seguirían el curso del arroyo Guadalupe, sino que era posible que tuviera otra dirección.

Evolución del Nivel Estático

Para conocer la variación y velocidad de abatimiento de los niveles estáticos del acuífero Guadalupe del historial de los niveles estáticos de los pozos piloto se elaboraron como se mencionó anteriormente los hidrógrafos, asimismo, se elaboraron dos configuraciones con curvas de igual evolución del nivel estático una para el periodo 1990-2009 y otra para el periodo 2001-2009, figuras 42 y 43.

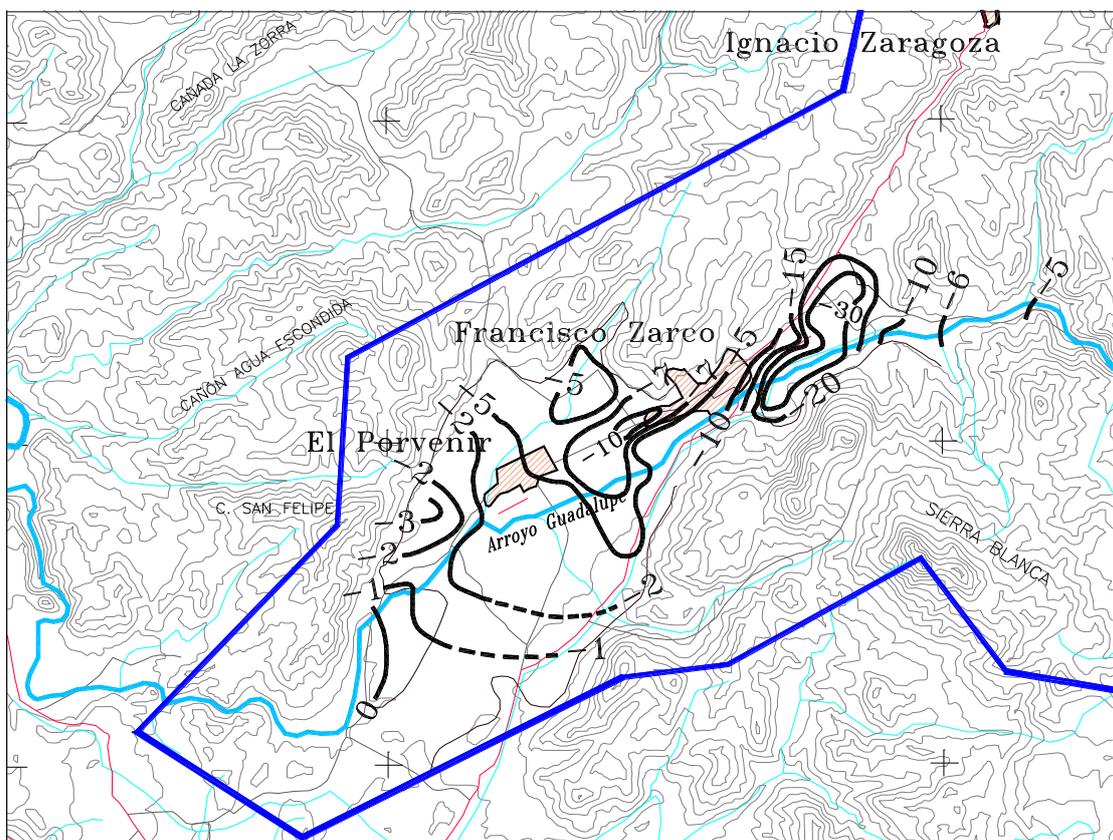


Figura 42. Curvas de igual evolución del nivel estático 1990-2009.

En los 20 años que abarca el periodo 1990-2009, en la figura 42 se muestran abatimientos importantes en la parte noreste del Valle de Guadalupe, con valores máximos superiores a los 20 m, lo que equivale a un poco más de un metro anual. Este abatimiento disminuye paulatinamente hacia el suroeste, donde los valores de abatimiento resultan prácticamente nulos, ya en los límites administrativos del acuífero.

Estos abatimientos se propagan hacia el extremo noreste, aún ya fuera de la concentración de la extracción en la zona de la Fosa Calafia, aspecto que refleja una sobreexplotación del acuífero importante en esta zona.

Además se formó la figura 43, que presenta la evolución para el periodo comprendido entre los años 2001-2009, de tal manera de explorar la idea de que fueran más pronunciados en el periodo 2001-2009.

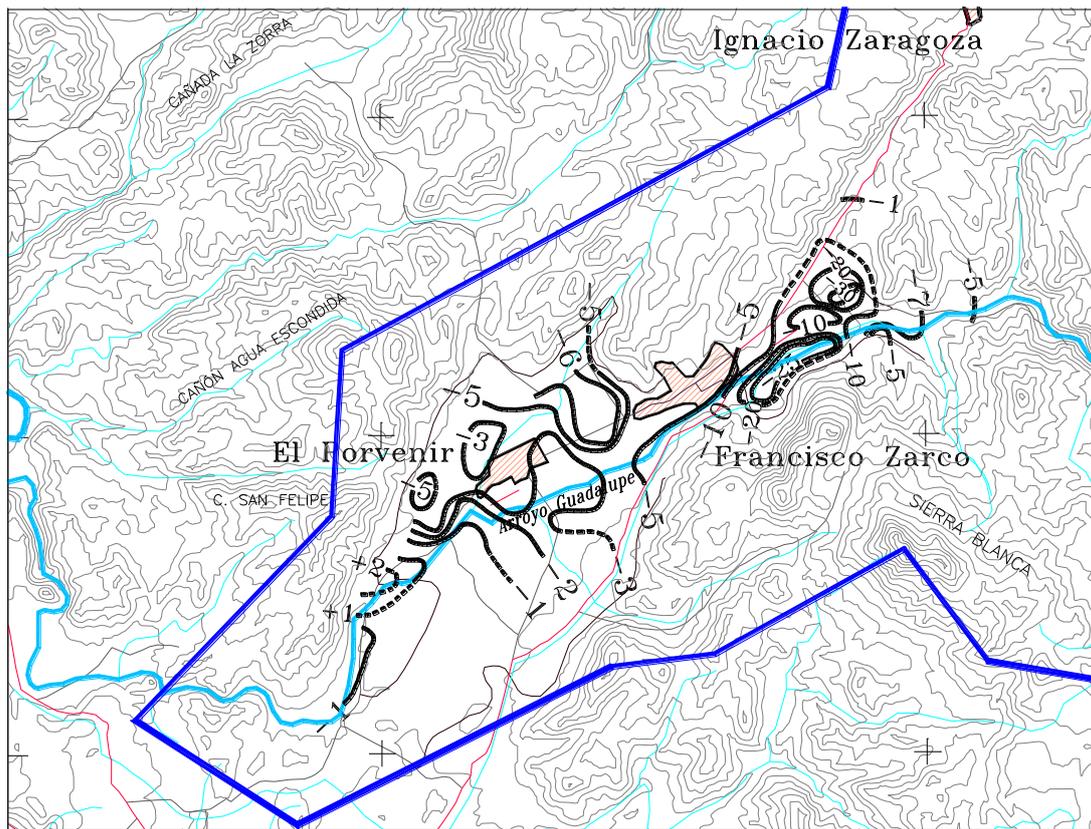


Figura 43. Curvas de igual evolución del nivel estático 2001-2009.

6.3. Aprovechamiento del Agua

6.3.1. Volúmenes de extracción y características de los aprovechamientos

El número de aprovechamientos del agua censados alcanzaron un total de 1,422, de los cuales 48 se clasificaron como de origen superficial y los restantes 1,374 de origen subterráneo. En el cuadro 3 se muestra un resumen de dicho censo.

Cuadro 3 .Número de aprovechamientos de agua censados, acuífero Guadalupe.

Subterráneas		Superficiales	
Tipo de obra	Cantidad	Tipo de obra	Cantidad
Aguaje	15	Bombeo de aguas residuales	1
Caja de captación	2	Bordo de tierra	17
Noria	982	Corriente intermitente	1
Ojo de agua	21	Jagüey	20
Pozo profundo	348	Lago	1
Manantial	6	Olla de agua	5
		Pila de agua	1
		Represa	1
		Represa de gavión	1
Suma	1,374	Suma	48

De agua superficial se utiliza actualmente un volumen del orden de 0.13 hm³/año, del cual la mayoría se dedica a la agricultura en el riego de vid y frutales.

En el cuadro 4 se incluyen unos aprovechamientos denominados inactivos temporales ya que en la primera visita contenían agua y en la segunda estaban secos. Los clasificados como inactivos, definitivamente no operan o no existen.

Cuadro 4. Volúmenes utilizados de agua superficial.

Superficiales		
Uso	Número de aprovechamientos	Volumen m ³ /año
Agrícola	3	113,393
Pecuario	5	14,345
Inactivos temporales	36	
Inactivos	4	
Total	48	127,737

Por lo que respecta a los aprovechamientos de agua subterránea, se censaron un total de 1,374, de los cuales la gran mayoría se utilizan en la agricultura, tanto en su número como en el volumen utilizado. Le sigue en importancia el uso público-urbano, en este caso del volumen total de extracción la mayor parte se exporta a la ciudad de Ensenada (6.6 hm³/año) y solo 0.52 hm³/año se utiliza dentro de los límites del acuífero Guadalupe para el servicio de sus pobladores, básicamente en las poblaciones de Francisco Zarco y El Porvenir. El volumen restante se reparte en usos de menor importancia (1.04 hm³/año), tal como se muestra en el cuadro 5.

Cuadro 5. Volúmenes utilizados de agua subterránea.

Subterráneos		
Uso	Número de aprovechamientos	Volumen hm ³ /año
Venta de agua	1	0.006
Sin uso	6	0.006
Recreativo	2	0.012
Público urbano	18	7.147

Subterráneos		
Uso	Número de aprovechamientos	Volumen hm ³ /año
Pecuario	12	0.037
Múltiple (agrícola e industrial)	79	0.467
Industrial	5	0.262
Doméstico	163	0.251
Agrícola	280	12.275
Inactivos temporales	167	0.000
Inactivos	641	0.000
Total	1,374	20.463

Durante los recorridos se midieron 492 aspectos eléctricos, de donde el factor de potencia medio resultó de 0.82, la eficiencia electromecánica media de los equipos de bombeo de 14.8%, bastante baja, aunque en muchos casos se trata de equipos de tipo centrífuga, lo que explica lo anterior. Finalmente en 490 equipos se obtuvo la función KWH versus volumen de extracción, cuadro 6.

Cuadro 6. Medidas eléctricas en los equipos de bombeo.

	Volt medido	Amperios medido	FP medido	KW medido	Eficiencia %	m ³ /kwh
Promedio	241.0	16.7	0.82	3.9	14.8	3.2
Máxima	497.0	163.0	1.00	50.6	98.2	12.2
Mínima	114.0	3.0	0.15	0.3	0.3	0.0
Cuenta	492	492	492	492	458	490

Finalmente y como parte de las estimaciones para la obtención de los volúmenes de extracción, se aforaron 541 equipos de bombeo, caudal que se complementó con los tiempos de bombeo que informaron los usuarios, con lo cual se llegó a un volumen de extracción de 20.5 hm³/año, cuadro 7.

Por su parte, durante el segundo recorrido se midió el nivel estático de agua en 791 aprovechamientos y 495 niveles dinámicos, lo anterior para auxiliar en la formación de los planos de redes de flujo presentados anteriormente.

Cuadro 7. Volúmenes de extracción y niveles del agua subterránea medidos en campo.

	Horas/día	Días/año	Caudal l/s	Volumen m ³ /año	Nivel estático m	Nivel dinámico m
Promedio	5.3	277	3.0	14,739	10.62	16.12
Máxima	24.0	365	40.0	1,520,138	71.42	78.67
Mínima	0.1	54	0.1	0	0.00	0.00
Cuenta	539	539	541	1,397	791	495
Total	-	-	-	20,590,712	-	-

Por otro lado, se menciona en el estudio de disponibilidad realizado en el año 2008, que *conforme con el gasto y uso en cada uno de los aprovechamientos del acuífero, se obtuvo que el volumen de extracción anual es de 24.55465 hm³/año en Junio-90, mientras que para los años de May-98, Mar-08 y Mar-09, se extrae un volumen de 20.180421 hm³/año, 34.692 hm³/año y 34.692 hm³/año, respectivamente.* Lo que refleja una inestabilidad económica en la zona.

6.4. Balance Hidrículos

6.4.1. Balance Hidrometeorológico

El área total de la zona donde se encuentra el acuífero es de 963.3 km², mientras que el área de valle es de 130.5 km² donde se tiene una lámina promedio de lluvia anual de 290 mm, en tanto que las partes altas que tienen un área de 832.8 km², la lámina promedio anual es de 320 mm, de acuerdo a lo anterior el volumen precipitado es de 304.3 hm³/año, valor que al dividirlo entre toda el área resulta una lamina media de 316 mm, este valor se obtuvo directamente de los promedios de lluvia de las estaciones climatológicas y sin considerar el periodo de lluvias extraordinarias que se presentaron en el periodo de los años 1978-1983.

Por lo que respecta a los escurrimientos que se generan por lluvia, se aplicó la metodología establecida en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, de acuerdo a la norma el valor de Ce es igual a 0.0679

La precipitación promedio anual es igual a 316 mm, se tiene por tanto que el coeficiente de escurrimiento de 0.0679, al multiplicarlo por el volumen precipitado de 304.3 hm³ da un volumen de escurrimiento total medio anual de 20.7 hm³.

La precipitación promedio es de 0.316 m y la temperatura promedio anual es de 15.8 °C, por lo que sustituyendo valores, en la ecuación 3, se obtiene que:

$$c = 1/(0.8+0.14t) = 1/(0.8+0.14*15.8) = 0.332, y$$

$$\text{ETR} = 0.2828 \text{ m}$$

La lámina de 0.282 m multiplicada por toda el área de estudio que es de 963.3 km², proporciona un volumen promedio anual evaporado de 272.4 hm³.

Sustituyendo los valores de volumen precipitado, volumen escurrido y el volumen de evaporación real obtenidos anteriormente en la ecuación (1) y despejamos a la infiltración, entonces se tiene para este término un valor de 11.2 hm³/año.

$$\text{Infiltración} = 304.3 - 20.7 - 272.4 = 11.2 \text{ hm}^3/\text{año}$$

Dividiendo el volumen infiltrado entre todo el volumen anual precipitado en el área de estudio, entonces se tiene un coeficiente de infiltración del orden de 0.037, valor con el cual se estima la recarga que se tiene en el acuífero por precipitación.

Balance de Aguas Subterráneas

Para el caso del acuífero Guadalupe donde el área de valle es de 130.5 km² con una precipitación promedio anual de 290 mm, se tendría aproximadamente un volumen precipitado de 37.9 hm³/año, que al multiplicarlo por el coeficiente de infiltración de 0.037 se obtiene un volumen de recarga por la infiltración de agua de lluvia en esa área de 1.4 hm³/año.

Ahora bien, para estimar en principio el volumen que se infiltra en las partes altas, el cual tiende a fluir hacia las partes bajas o valle, es posible que con el valor total

del volumen infiltrado y calculado anteriormente en $11.2 \text{ hm}^3/\text{año}$, menos $1.4 \text{ hm}^3/\text{año}$ se obtenga un volumen de aproximadamente $9.8 \text{ hm}^3/\text{año}$ que alimenten al acuífero en forma de flujo horizontal subterráneo, sin embargo, durante la calibración del modelo hidrodinámico del acuífero, este valor de recarga fue necesario valorarlo en $10.78 \text{ hm}^3/\text{año}$ para lograr la calibración, por lo cual fue este último valor el que se considera más representativo, conviene señalar que el propio modelo junto con el balance manual permite estimar de mejor manera los valores de varios parámetros.

Existen otras recargas que el acuífero recibe que son de tipo inducido originadas por las prácticas de riego, tanto con agua superficial como subterránea, si se les puede aplicar un factor de 0.07 como valor representativo de este tipo de retornos, resulta una recarga inducida por uso agrícola así como de otros usos y que no implica al público urbano que se envía a Ensenada es de $0.95 \text{ hm}^3/\text{año}$.

Básicamente la recarga inducida por uso público urbano que se tiene por fugas en los diversos sistemas de abastecimiento es muy baja, lo anterior por ser un volumen muy reducido empleado para este fin en la misma área de estudio; dado que el volumen de agua que se extrae del acuífero para uso público urbano de Ensenada no tiene acción en las recargas en este acuífero.

En este caso la lámina promedio anual de evaporación potencial es de $1,700 \text{ mm}$, por su parte el factor obtenido según el manual de la CNA es del orden de 0.01, por tanto el volumen evapotranspirado sería $(78.3 * 10^6 * 1.7 * 0.01 = 1.33 \text{ hm}^3/\text{año})$.

Sin embargo, durante la calibración del modelo este valor fue del orden de 0.67 hm^3 /año, que al comparar el factor antes mencionado daría del orden de 0.005, este valor se considera como más representativo, e incluso si se revisa la gráfica del manual antes indicado al considerar una profundidad media del nivel freático de 5 m el factor tendería a ser más bajo de 0.01, de acuerdo a lo anterior se considera para fines de balance el valor de 0.67 hm^3 /año como volumen evapotranspirado del acuífero.

Parte fundamental del balance de aguas subterráneas, es el conocimiento del volumen de extracción que se realiza a través de pozos y norias, según censo de 2009, se estimó en 18.8 hm^3 extraído por pozos y de 1.6 por norias hm^3 lo cual hace un total de 20.4 hm^3 /año. Por otra parte el acuífero tiene un volumen anual de descarga natural a través de manantiales y ojos de agua, del orden de 0.1 hm^3 , que como se puede ver es muy pequeño, por otra parte a manera de información la extracción de agua por bombeo en bordos de agua, jagüeyes, y ollas de agua entre las más importantes, resulto ser de 0.1 hm^3 , que también es demasiado bajo.

En el cuadro 8 se muestra un balance de aguas subterráneas del acuífero Guadalupe.

Cuadro 8 . Balance hídrico del acuífero Guadalupe.

BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS, ACUÍFERO GUADALUPE				
Área total del acuífero			km ²	963.3
RECARGA				
	Área de valle		km ²	130.5
	Coeficiente	I ₁		0.03698
	Precipitación		mm/año	290.0
Recarga natural por lluvia			hm ³ /año	1.40
Entradas horizontales partes altas			Eh	hm ³ /año
Total de recarga natural			hm ³ /año	12.17
	Público Urbano	I ₂		0.10
Retorno del uso Público Urbano			hm ³ /año	0.05
	Agrícola más otros	I ₃		0.07
Retorno de riego, agua subterránea			hm ³ /año	0.90
Retorno total				0.95
ENTRADAS TOTAL			hm ³ /año	13.12
DESCARGA				
Manantiales			hm ³ /año	0.10
Evapotranspiración			78.3 km ²	hm ³ /año
Salidas horizontales			hm ³ /año	0.10
Extracción total bruta			hm ³ /año	20.46
Agrícola			hm ³ /año	12.28
Público urbano Ensenada			hm ³ /año	6.63
Público urbano			hm ³ /año	0.52
Industrial			hm ³ /año	0.47
Otros			hm ³ /año	0.57
DESCARGA TOTAL			hm ³ /año	21.33
Minado			ΔA	hm ³ /año
Coeficiente de almacenamiento			S	0.09
Volumen drenado (m/año)			Vd	hm ³ /año
				91.35

BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS, ACUÍFERO GUADALUPE			
Área total del acuífero		km ²	963.3
Abatimiento m/año		m	0.70

De acuerdo con el cuadro anterior, la recarga total resulta de 13.12 hm³/año, compuesta de una recarga natural de 12.17 hm³/año más un inducida de 0.90 hm³/año. Por otro lado, la descarga del acuífero es de 21.33 hm³/año, integrada por una extracción bruta de 20.46 hm³/año, más una evaporación de 0.67 hm³/año, una salida horizontal de 0.10 hm³/año y 0.10 hm³/año de manantiales.

Como se verá más adelante, los resultados del modelo calibrado son Recarga total 13.13 hm³/año, evaporación 0.6 hm³/año, salidas por flujo subterránea 0 hm³/año, extracción bruta 18.6 hm³/año, descarga total 19.2 hm³/año y cambio del almacenamiento -6.07 hm³/año, valores muy semejantes al balance anterior.

De esta manera el minado del acuífero resulta de 8.2 hm³/año, valor que representa el volumen anual que sería necesario dejar de extraer para lograr un equilibrio o la sustentabilidad del recurso hídrico subterráneo.

Desde luego es necesario aclarar que se ha considerado una recarga natural para periodos de lluvia normales, sin tomar en cuenta el periodo de los años 1978 a 1983, donde la precipitación fue de hasta tres veces la normal, por lo que si se llega a presentar un periodo semejante la disponibilidad se incrementaría.

6.5. Acuífero de Guadalupe

En este sentido en las figuras 46 y 47 se muestran las conductividades hidráulicas y rendimientos específicos resultantes, utilizados en el modelo "Guadc.vmf", asimismo, en los cuadros 10 y 11 se muestran los valores empleados en este modelo.

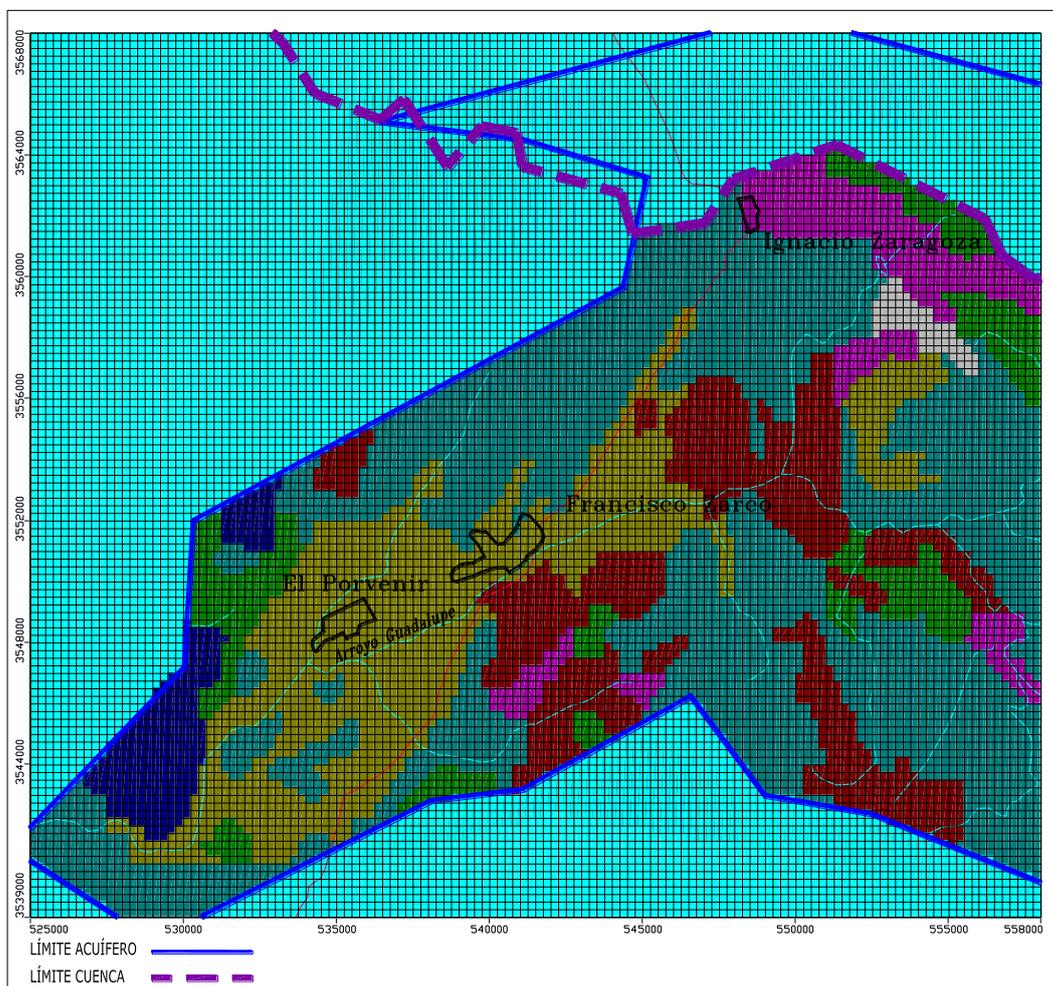


Figura 44. Distribución de conductividades hidráulicas (m/día).

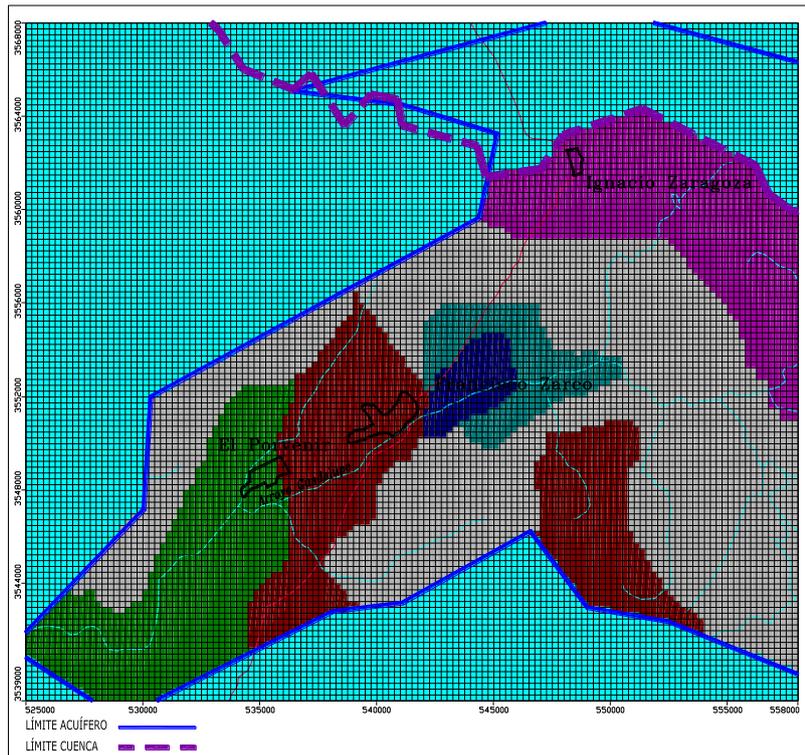


Figura 45. Distribución del rendimiento específico.

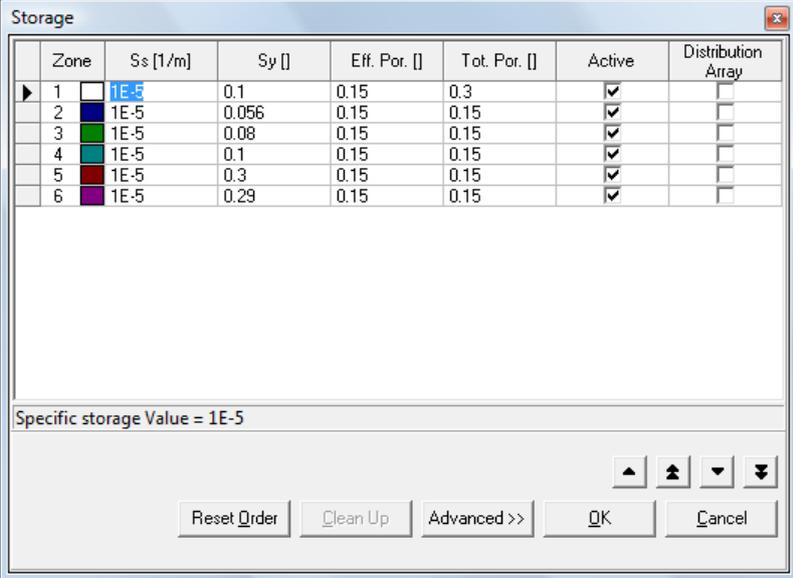
Cuadro 9 .Conductividades hidráulicas en el modelo “Guadc.vmf”.

Zone	Kx [m/d]	Ky [m/d]	Kz [m/d]	Active	Distribution Array
1	8.64	8.64	0.864	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	1	1	0.1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	1	1	0.1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	0.29	0.29	0.1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	0.4	0.4	0.04	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	1	1	0.1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	1.5	1.5	1.5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	1	1	0.1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	1	1	0.1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	2	2	0.2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11	0.3	0.3	0.1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Hydraulic conductivity in X-direction Value = 8.64

Reset Order Clean Up Advanced >> OK Cancel

Cuadro 10. Valores de almacenamiento específico modelo “Guadc.vmf”.



Zone	Ss [1/m]	Sy []	Eff. Por. []	Tot. Por. []	Active	Distribution Array
1	1E-5	0.1	0.15	0.3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	1E-5	0.056	0.15	0.15	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	1E-5	0.08	0.15	0.15	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	1E-5	0.1	0.15	0.15	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	1E-5	0.3	0.15	0.15	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	1E-5	0.29	0.15	0.15	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Specific storage Value = 1E-5

Reset Order Clean Up Advanced >> OK Cancel

Evapotranspiración

En el acuífero Guadalupe en su zona sur los niveles estáticos se presentan con valores menores a 10 metros donde se estima que puede existir la acción de la evapotranspiración, que se manifiesta en una salida de agua subterránea por medio de este fenómeno, de acuerdo a esta situación en la figura 46 se muestra la distribución del área donde se simula la presencia de este fenómeno en el acuífero.

Recargas

En la figura 46 se muestra una distribución de la recarga por lluvia, como se mencionó anteriormente existe un área que no se modela hacia el oriente después de la abscisa $X = 558,000$ para compensar y simular esta situación en la parte más próxima a esta zona se incremento la recarga en un valor que sustituyera a la recarga que se estima en aquella área con base a la lluvia precipitada.

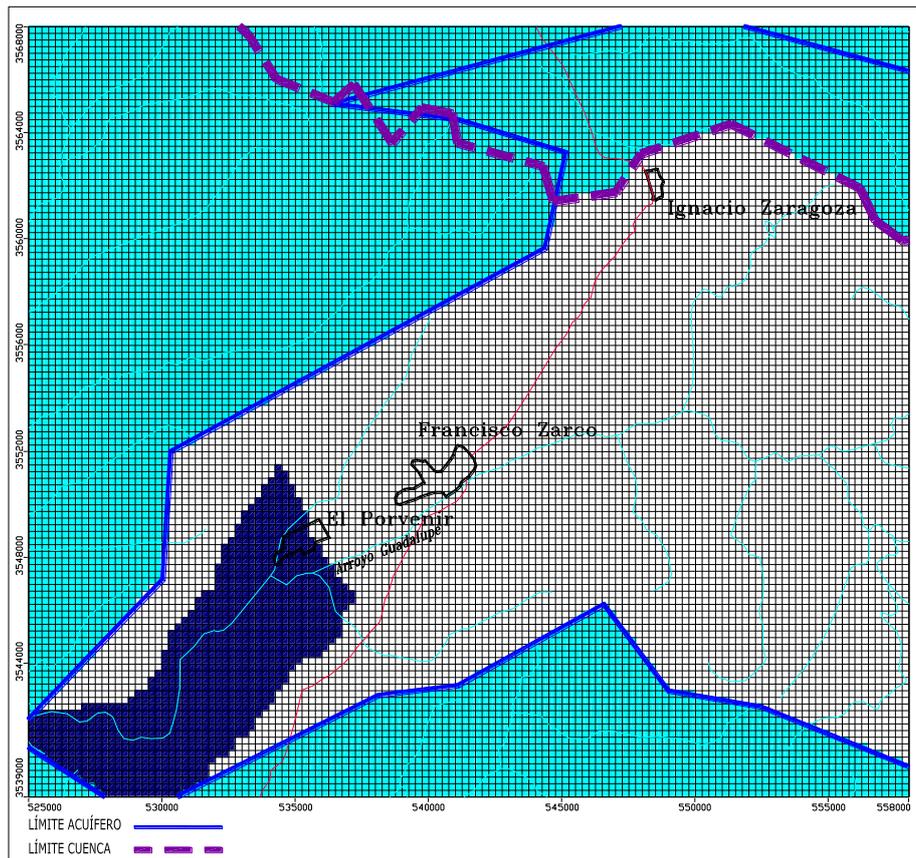


Figura 46 .Distribución de la acción de la evapotranspiración en color azul fuerte, en el acuífero Guadalupe.

Una representación gráfica de estas condiciones iniciales de piezometría en el modelo se puede observar en la figura 47 la cual proviene del modelo, al respecto cabe mencionar que en las partes topográficas más altas básicamente no se tiene piezometría la cual en general fue obtenida principalmente por interpolación de Surfer.

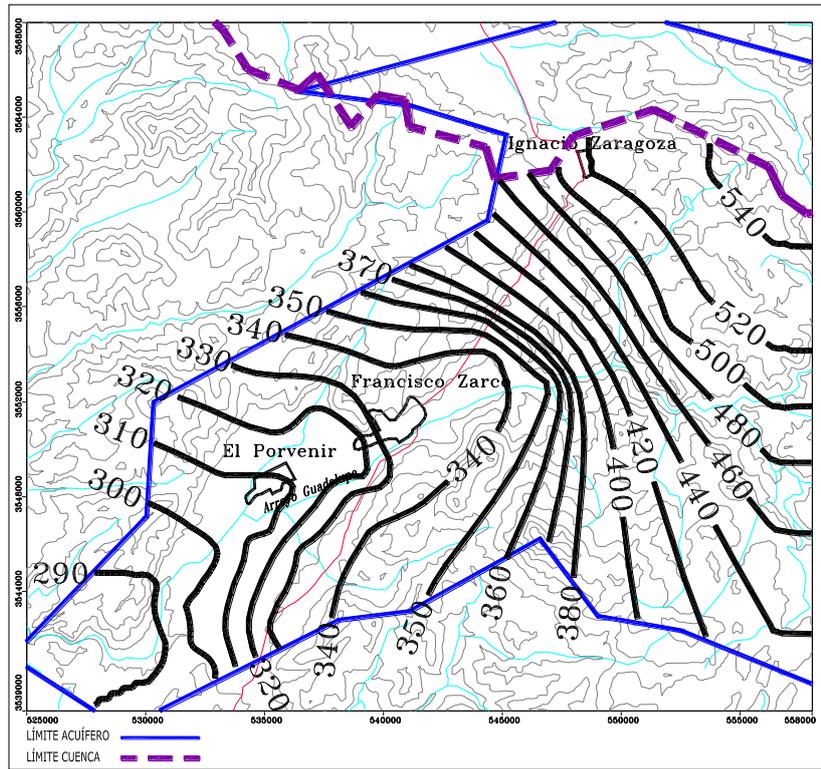


Figura 47 . Curvas de igual elevación del nivel estático 1990.

Cuadro 11 . Zonas de recarga (m/día).

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
Tipo de lámina	Área en m ²	lámina de lluvia en m/año	Coefficiente de infiltración	Volumen de recarga por lluvia en m ³ /año (1)*(2)*(3)	Volumen de extracción de agua subterránea en m ³ /año (5)	Volumen de recarga por extracción de agua subterránea en m ³ /año (3)*(5)	lámina de recarga por lluvia en m/día (4)/(1)/(365)	lámina de recarga por fugas abastecimient o agua subterránea en m/día (6)/(1)/(365)	Lámina de recarga por riego , así como de diversos usos en m/día (6)/(1)/(365)
lámina por lluvia en zona de valle	22,000,000	0.290	0.037	236,060			2.94E-05		
lámina por lluvia en zona de valle con riego urbanizada	108,000,000	0.290	0.037	1,158,840			2.94E-05		
lámina por zona urbanizada, fugas sistemas de abast.	108,000,000		0.100		520,000.00	52,000.00		1.31913E-06	
lámina por riego	108,000,000		0.070		12,280,000.00	859,600.00			2.18062E-05
lámina por otros usos	108,000,000		0.070		780,000.00	54,600.00			1.38508E-06
lamina por lluvia en zonas altas noreste	84,500,000	0.320	0.245	6,624,800			2.15E-04		
lamina por lluvia en zonas altas oeste	274,000,000	0.320	0.037	3,244,160			3.24E-05		
Recargas por zona	Color		lámina en m/día						
Zona valle	Verde	col 7	2.94E-05						
Zona de valle con inducida	Azul	col 7+col 8+col 9	5.39E-05						
Zonas altas oeste	Blanco	col 7	3.24E-05						
Zonas altas este	Verde claro	col7	2.15E-04						

Durante la calibración del modelo de simulación efectuado tanto con los datos básicos que se disponían como con apoyo a los métodos de ensayo y error en cuanto a conductividades y rendimientos específicos, los resultados de las elevaciones obtenidas para el año 2009 se comparaban con la configuración del ese año, así como con las curvas de igual abatimiento de los niveles estáticos correspondientes al período 1990-2009, cuando se tuvo una similitud bastante aceptable junto con la comparación de los niveles piezométricos de los pozos de observación correspondientes a datos del año 2009 se aceptó como representativa de la simulación, tal situación también se comparó con los balances de agua subterránea realizados para el año 1990, 1999, 2009.

Las configuraciones de curvas de igual elevación del nivel estático que se aprecian en las figuras 48 y 49 corresponden a la situación del año 2009 según la respuesta del modelo, así como las evoluciones del nivel estático 1990-2009 que se presentan en las figuras 50 y 51. *Es importante mencionar que en el modelo los valores de evoluciones sin signo corresponden a abatimientos de los niveles estáticos, mientras que con signo negativo son recuperaciones de los niveles citados.* Conviene recordar que en la capa 1 que principalmente es donde se localiza el valle así como las fosas es una franja angosta por lo que la información del modelo está más restringida que en la capa 2, donde se aprecia todo el comportamiento, es decir en el modelo las zonas correspondientes a las áreas fuera de las fosas en la capa 1, por lo general se secan, como se puede apreciar directamente en el modelo.

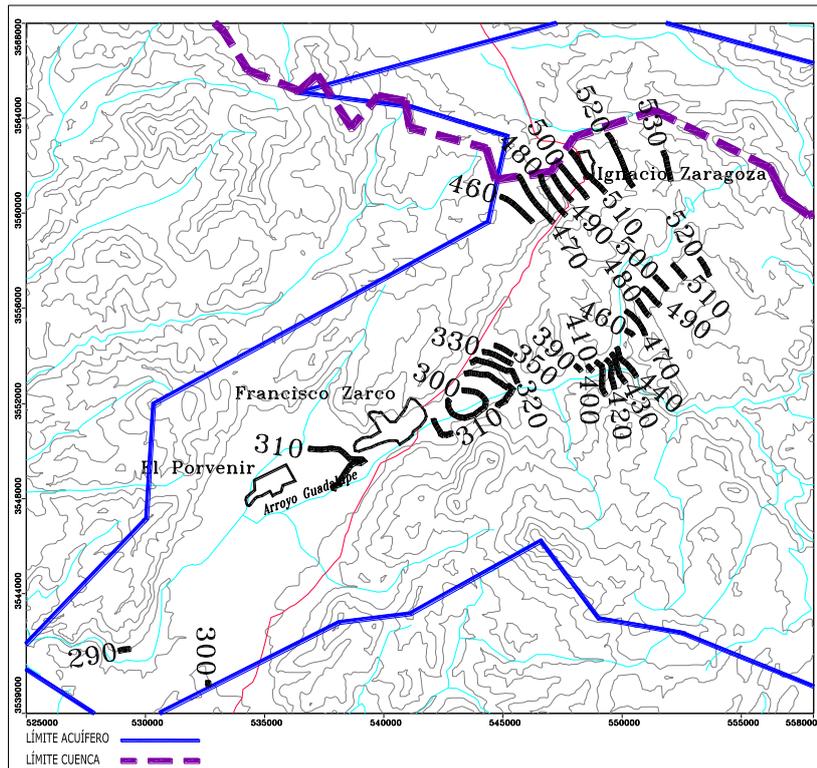


Figura 48. Curvas de igual elevación del nivel estático 2009 capa 1.

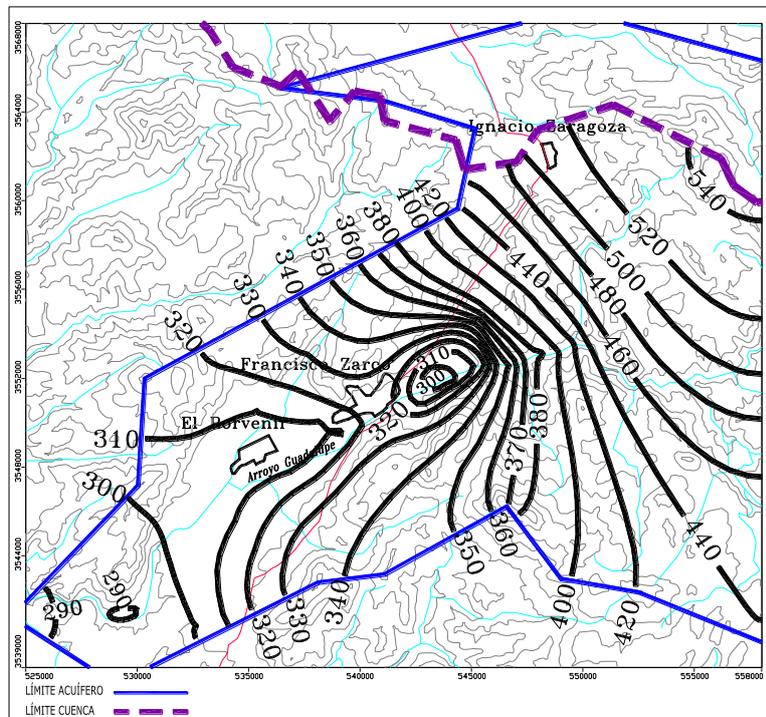


Figura 49. Curvas de igual elevación del nivel estático 2009 capa 2.

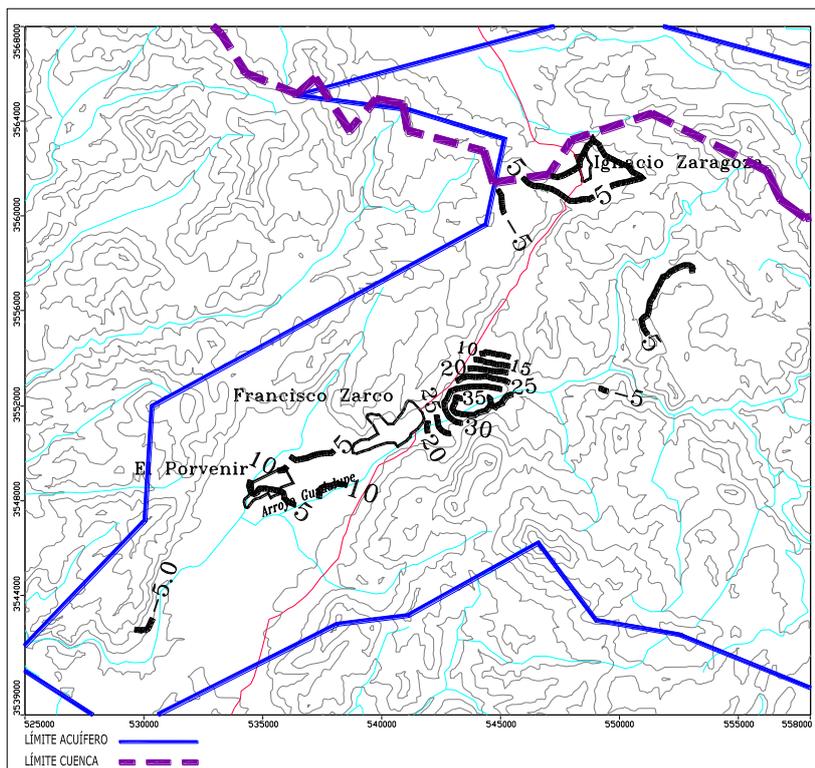


Figura 50. Curvas de igual evolución del nivel estático 1990- 2009 capa 1.

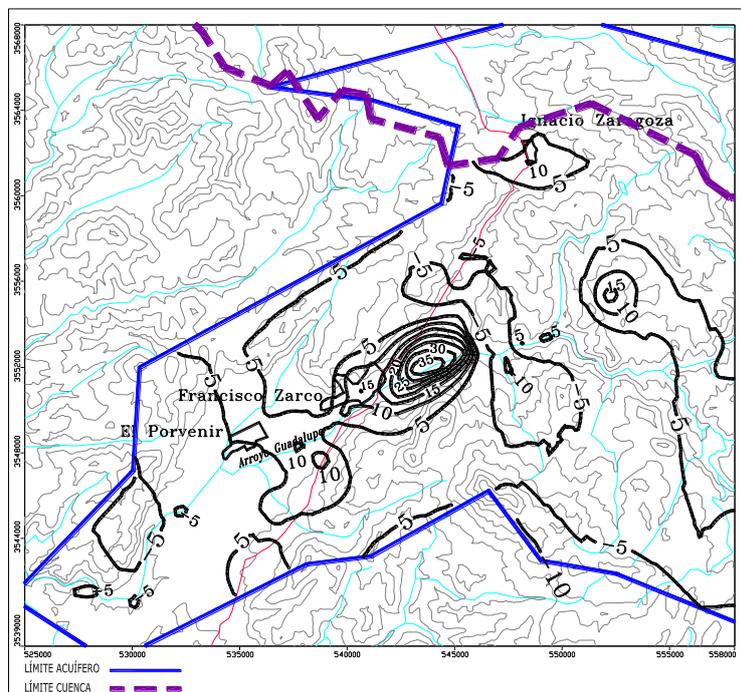


Figura 51. Curvas de igual evolución del nivel estático 1990-2009 capa 2.

De igual manera en la figura 52 se muestran el rango de cálculo obtenido con el modelo al comparar las elevaciones de los niveles estáticos observados en 49 pozos distribuidos en el área del acuífero, contra las elevaciones obtenidas con el modelo, en este sentido dicha relación se considera aceptable dado que el valor RMS es del orden de 4.3, en el modelo se puede consultar directamente la diferencia de elevaciones obtenidas para el período de 20 años.

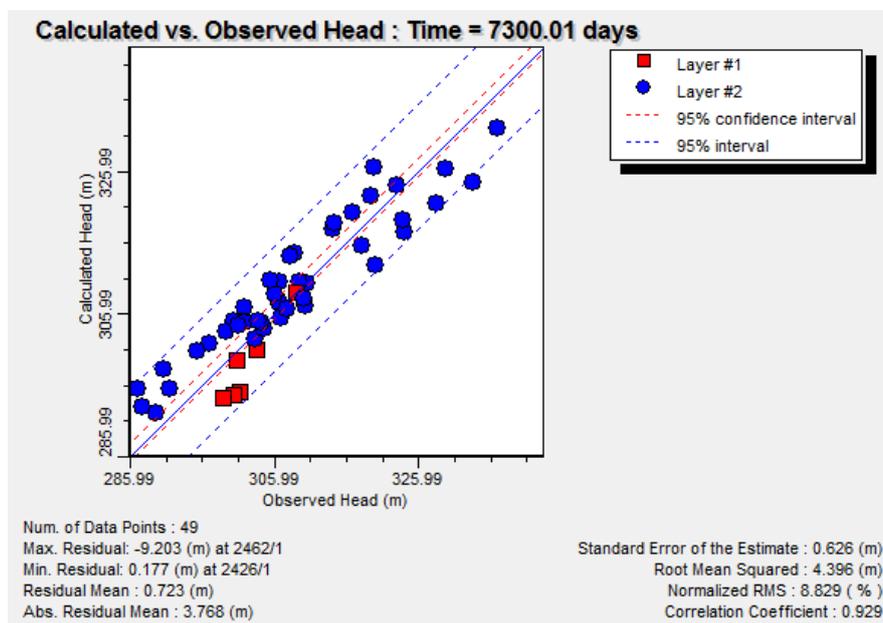


Figura 52. Cargas piezométricas en el acuífero observadas vs calculadas.

Los resultados de los balances tanto el general que abarca a todo el acuífero como los dos parciales que consideran las partes norte y sur se presentan a continuación:

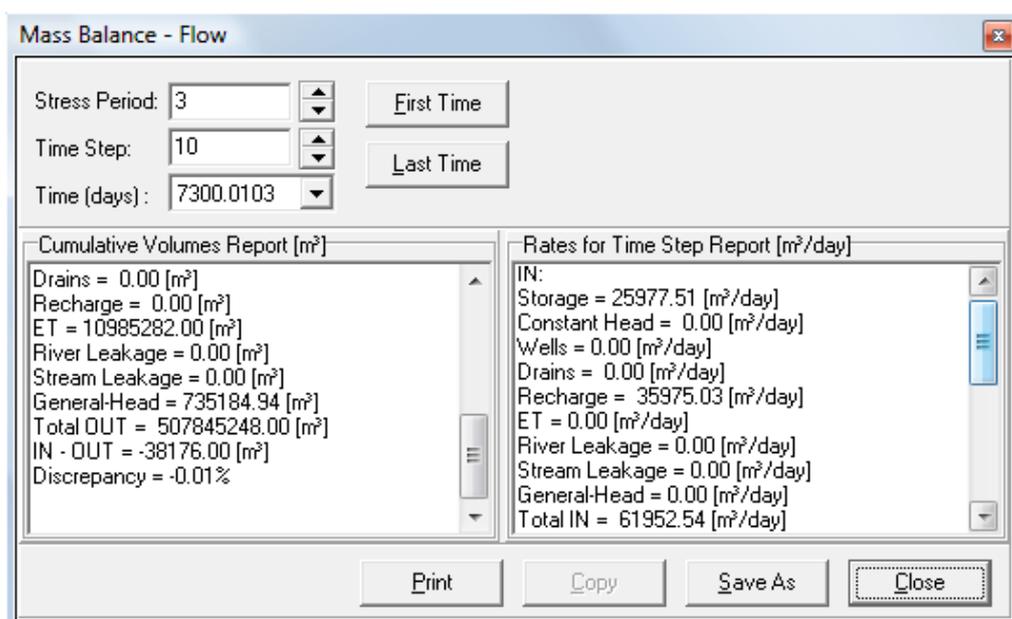
En cuanto al balance general conviene hacer ver que solamente fue posible obtener un valor del orden de $18.5 \text{ hm}^3/\text{año}$ en lugar de los $20.4 \text{ hm}^3/\text{año}$ con el cual se explota el acuífero según el censo de aprovechamientos realizado en el año 2009, esta situación se debe a que en parte algunos pozos se secan, otros

quedan fuera de la zona activa así como otros bajan su producción al quedar posiblemente su rejilla por arriba del nivel abatido, dado que no se sabe a ciencia cierta cuales pozos sufren esta situación excepción de los que quedan fuera de la zona activa se decidió que el modelo permaneciera con esta explotación, con la cual se simula el comportamiento del acuífero como se explicó anteriormente.

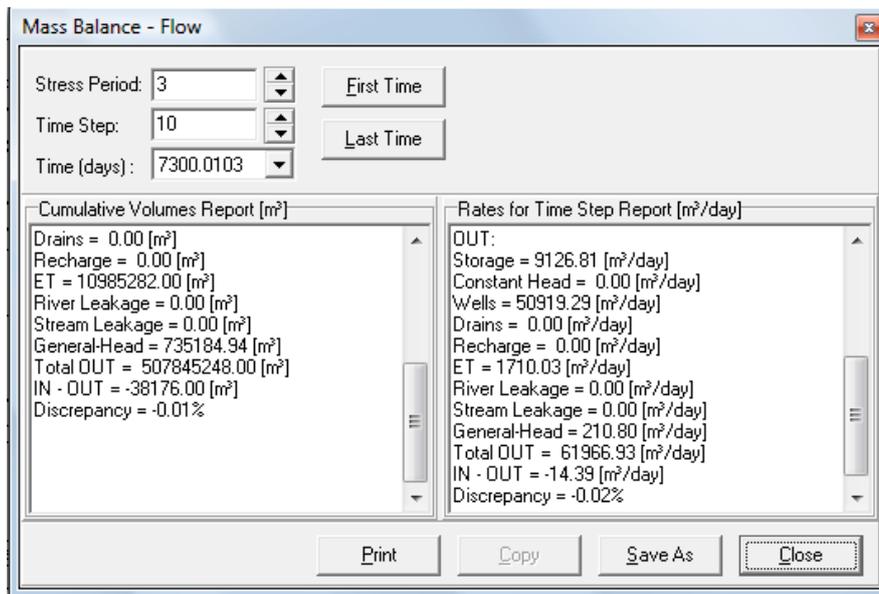
Por su parte cabe mencionar que de acuerdo con los balances realizados en forma general como por zonas, el modelo se calibro considerando estas situaciones de balance, sin embargo los resultados del mismo también sirvieron para retroalimentar al balance presentado particularmente en cuanto a recargas inducidas así como salidas y evapotranspiración.

En los cuadros 12 en adelante se muestran los balances al año 2009 tanto el general como el de las zonas norte y sur.

Cuadro 12 . Balance–entradas de agua subterránea año 2009 respuesta de modelo de simulación “Guadc.vmf”.

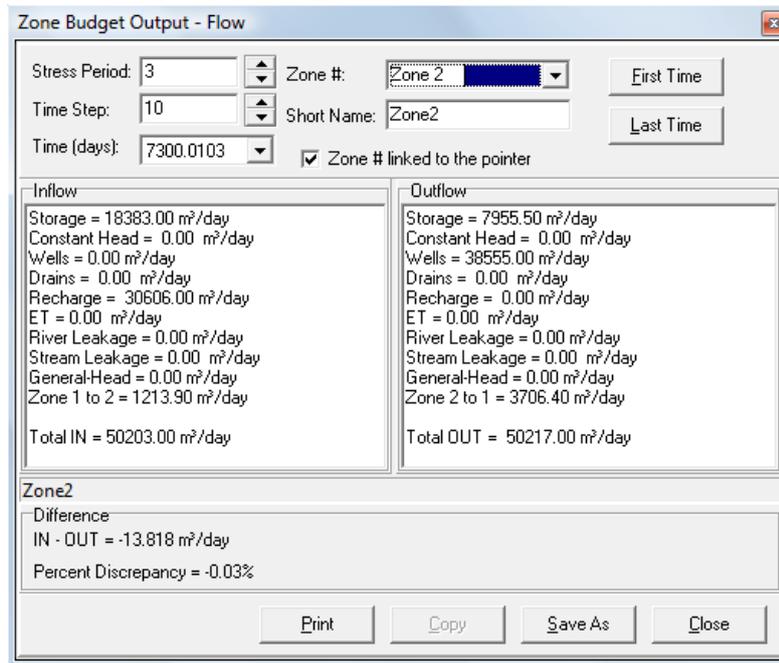


Cuadro 13. Balance–salidas de agua subterránea año 2009 respuesta de modelo de simulación “Guadc.vmf”.

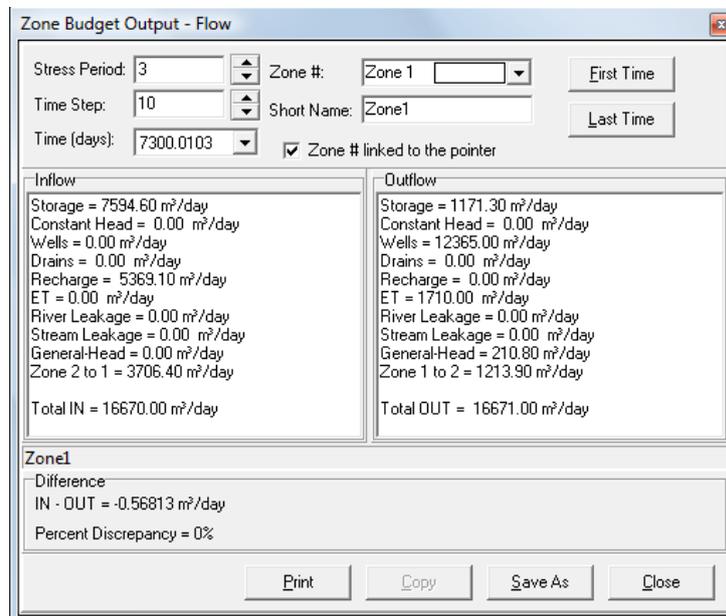


En cuanto a los balances correspondientes al año 2009, de las zonas norte y sur, el cuadro 14 corresponde a las entradas y salidas de agua subterránea de la zona norte, mientras que el cuadro 15 corresponde a los balances que el modelo arroja de la zona sur.

Cuadro 14. Balance del año 2009 de la zona norte en el modelo calibrado “Guadc.Vmf”.



Cuadro 15 . Balance del año 2009 de la zona sur en el modelo calibrado “Guadc.Vmf”.



6.6. Comportamiento del Acuífero Guadalupe en un Periodo de 25 Años

Una vez calibrado el modelo Guadc.vmf se corrió para predecir el comportamiento del acuífero hacia el año 2035, es decir un período a partir del año 2010 de 25 años.

La primera simulación consistió en simular que el acuífero seguiría siendo explotado en forma semejante a la actual , es decir en forma inercial al respecto para el año 2035, donde a partir del año 1990 corresponde a un tiempo de 16,425 días se obtuvo la configuración que se presenta en las figuras 53 y 54 correspondientes a las capas 1 y 2, asimismo en las figuras 55 y 56 se presentan las evoluciones del nivel estático que se presentarían para el período 1990-2035 para cada una de las capas señaladas.

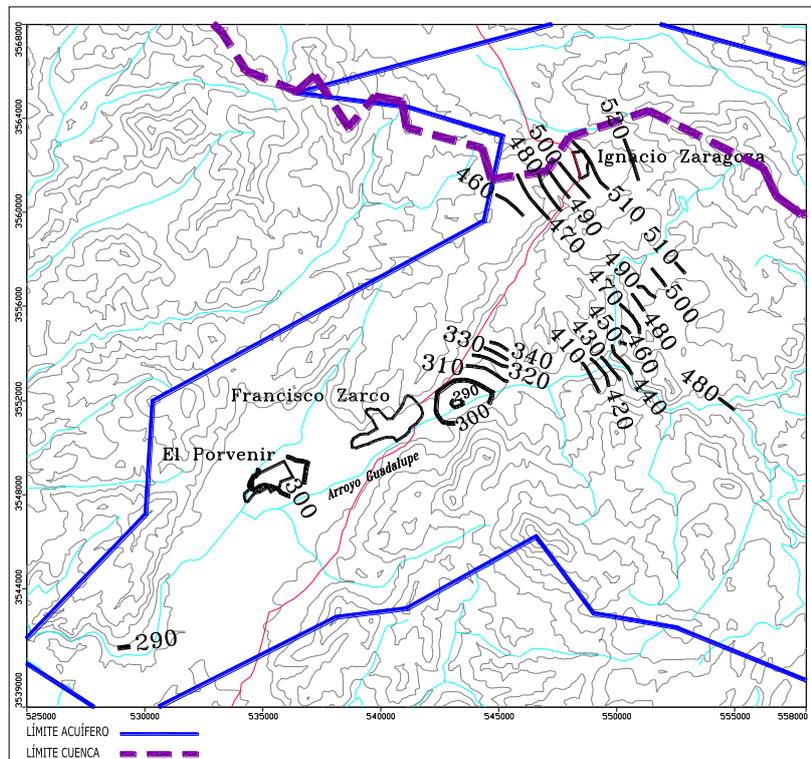


Figura 53 . Predicción de la configuración de las elevaciones del nivel estático para el año 2035, inercial capa 1.

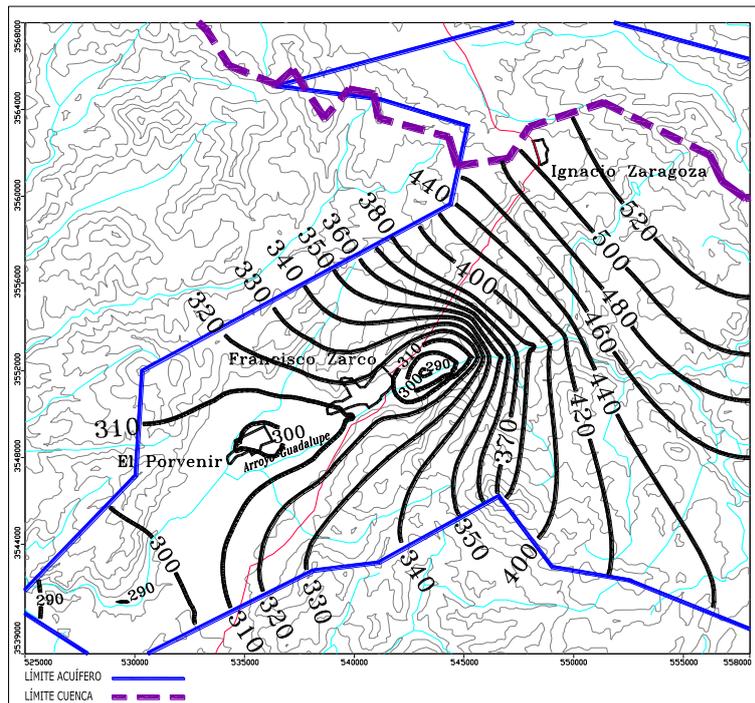


Figura 54. Predicción de la configuración de las elevaciones del nivel estático para el año 2035, inercial capa 2.

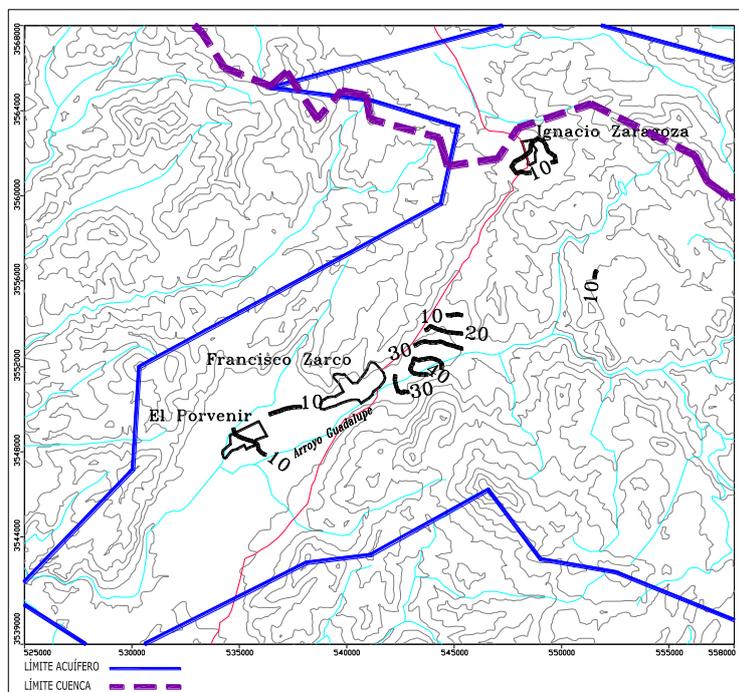


Figura 55. Predicción de la configuración de las evoluciones de los niveles estáticos 1990-2035, inercial capa 1.

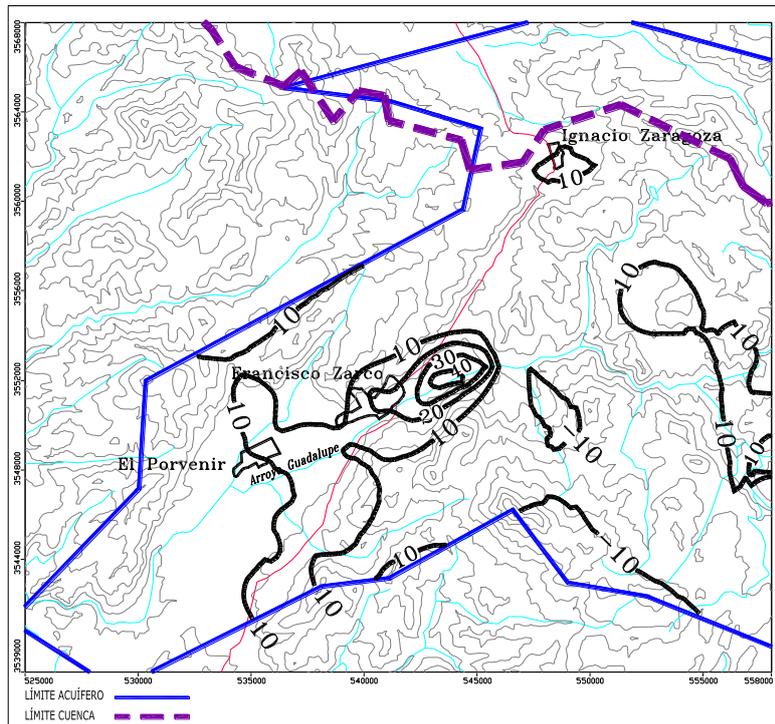


Figura 56. Predicción de la configuración de las evoluciones de los niveles estáticos 1990-2035, inercial capa 2.

Otra segunda predicción consiste en reducir a partir del año 2010 las extracciones a la mitad de los pozos manteniendo el resto de los pozos con un bombeo similar al que se tiene actualmente, en este sentido las configuraciones de las elevaciones de los niveles estáticos al año 2035 y las evoluciones de los niveles piezométricos de 1990 a 2035 sería como las que se muestran en las figuras 57 a 60.

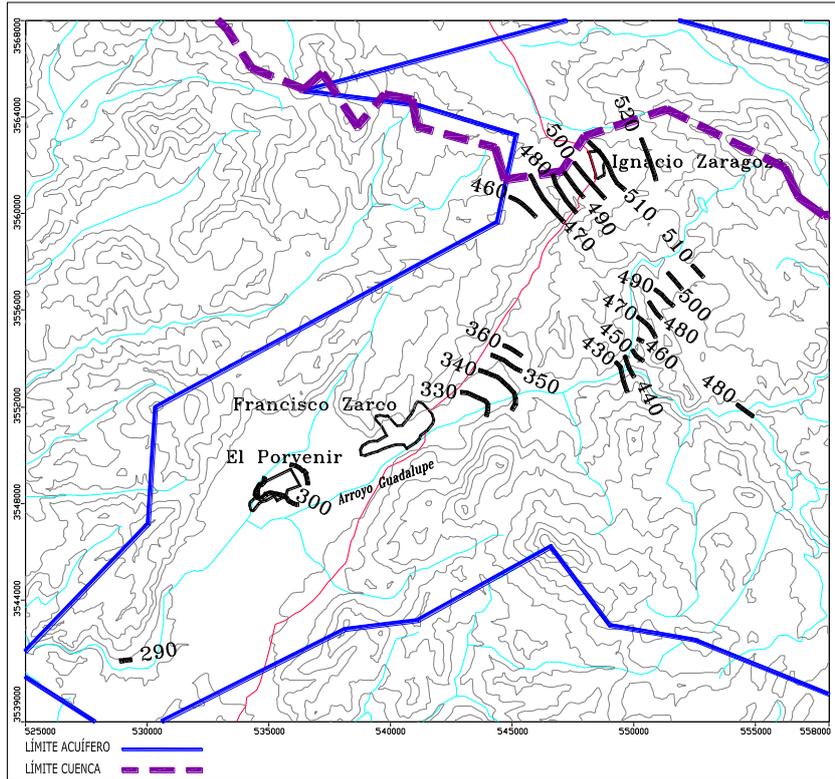


Figura 57. Predicción de la configuración de las elevaciones del nivel estático para el año 2035, capa 1.

Con reducción a la mitad de extracción de los pozos.

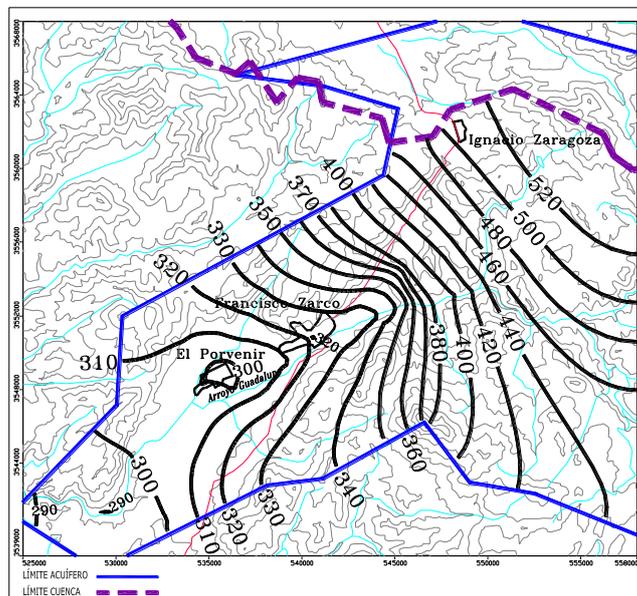


Figura 58. Predicción de la configuración de las elevaciones del nivel estático para el año 2035, capa 2.

Con reducción a la mitad de extracción de los pozos.

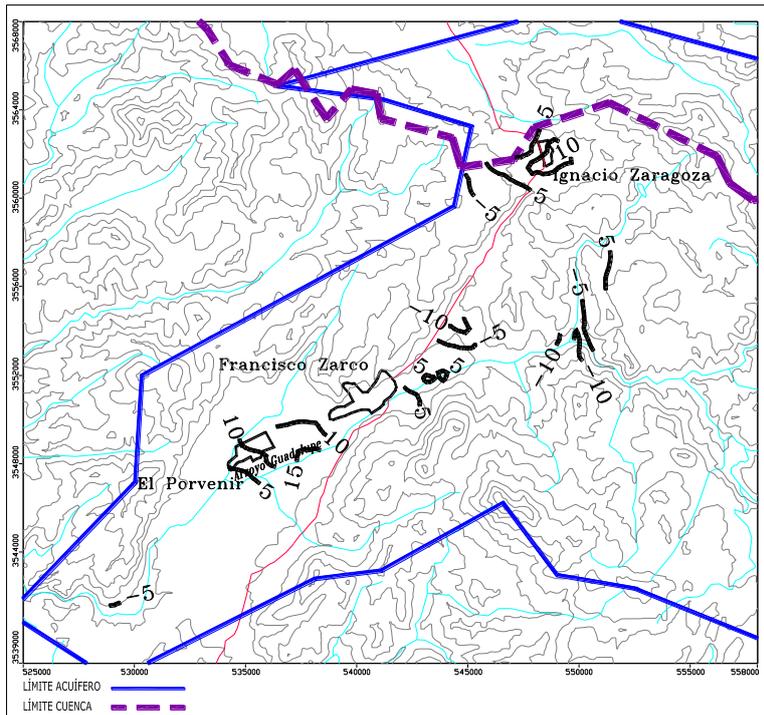


Figura 59. Predicción de la configuración de las evoluciones de los niveles estáticos para el período 1990-2035 capa 1.

Con reducción a la mitad de extracción de los pozos.

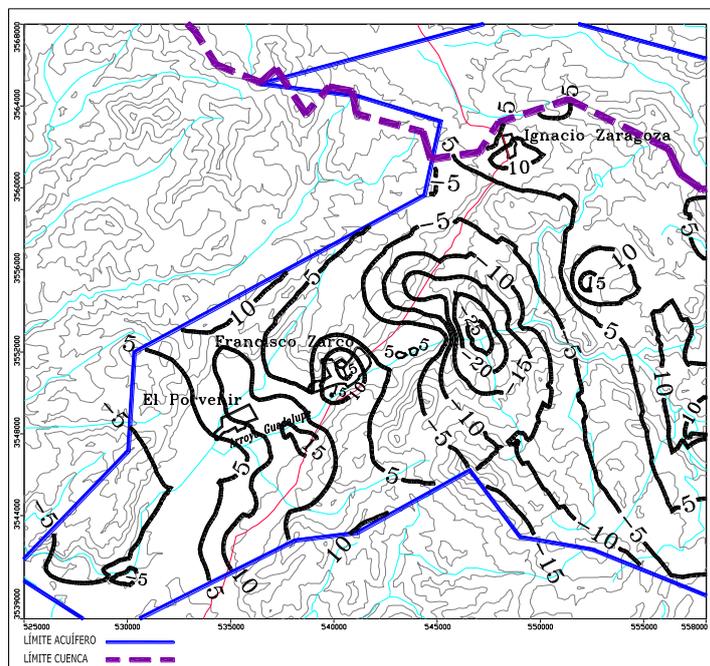


Figura 60. Predicción de la configuración de las evoluciones de los niveles estáticos para el período 1990-2035 capa 2.

Con reducción a la mitad de extracción de los pozos.

7. CONCLUSIONES

El crecimiento de la población de la ciudad de Ensenada y la frontera agrícola en el valle de Guadalupe origina una sobreexplotación del acuífero que está abatiendo sus niveles freáticos.

El acuífero de Guadalupe es un recurso finito que depende del balance entre la recarga y extracción del agua que contiene. Por lo tanto, si continúa la tendencia en la presión que se ejerce sobre sus reservas hídricas, conducirá a un deterioro progresivo del entorno ecológico, con consecuencias negativas sobre la sustentabilidad económica de la región y del crecimiento con desarrollo de los asentamientos humanos. Lo anterior conlleva a la necesidad de legislar la explotación del acuífero para que ésta se lleve a cabo de manera racional, conciliando intereses socioeconómicos y vigilando que se cumplan las normas a establecer.

8. LITERATURA CITADA

- Álvarez Icaza, P. s/f. Dinámicas colectivas en la apropiación de las aguas subterráneas en México manejo de recursos de uso común. Instituto Nacional de Ecología. 70 p.
- Badan, A. 2006. Balance del agua en el acuífero Valle de Guadalupe. Oceanografía física. CICESE. AAAS, San Diego, 19 June 2006.
- Badan, A., Kretzschmar, T., Espejel, I., Cavazos, T., D'Acosta, H., Vargas, P., Mendoza, L., Leyva, C., Arámburo, G., Daesslé, W. y Ahumada, B. 2005. Hacia un plan de manejo del agua en Valle de Guadalupe, Baja California. Ciencia. Revista de la Academia Mexicana de Ciencias:1-13.
- Campos Gaytán, J.R. y Kretzschmar, T. 2005. Simulación del flujo de agua subterránea en el acuífero del Valle de Guadalupe, Baja California, México - estado estacionario. GEOS, Vol. 25, No. 1 (Resumen).
- Campos Gaytán, J.R. y Kretzschmar, T. 2006. Numerical understanding of regional scale water table behavior in the Guadalupe Valley aquifer, Baja California, México. Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss., 3, 707–730,
- Campos Gaytán, J.R. y T. Kretzschmar. 2009. Escenarios de la explotación a futuro del agua subterránea en el acuífero del Valle de Guadalupe, Baja California, México. file:///Informativa/pagina-edgardo/RESUMEN/28-JOSECAMPOS.txt
- Catadores. 2005. Boom del Vino Mexicano, lo que cuesta y lo que vale. Número 24/Reportajes http://www.catadores.com.mx/modules.php?op=modload&name=PagEd&file=index&topic_id=267&page_id=714 Publicado 24-Agosto-2005.
- Catadores. 2007. Vinos mexicanos: en busca del Terroir. Número 36 / Reportajes. http://www.catadores.com.mx/modules.php?op=modload&name=PagEd&file=index&topic_id=406&page_id=1216. Publicado el 07 de Agosto de 2007.
- Carabias, J., Landa, R., Collao, J. Martínez, P. 2006. Capítulo 4. Conservación del agua subterránea y su uso en la agricultura, pp. 58-71. In: Agua, Medio Ambiente y Sociedad. Hacia la gestión integral de los recursos hídricos en México. Universidad Nacional Autónoma de México, El Colegio de México y Fundación Gonzalo Río Arronte. 217 p.

- CNN noticias. 2006. ¿Hacia dónde va el Valle? <http://www.cnnexpansion.com/expansion/reportajes/2006/11/15/bfhacia-donde-va-el-valle>, noviembre 2006
- CONAGUA, 2002. Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Guadalupe, estado de Baja California. Subgerencia de Evaluación y Modelación Hidrogeológica. Gerencia de Aguas Subterráneas. Subdirección General Técnica. Comisión Nacional del Agua
- CONAGUA. 2001. Acuerdo por el que se establece y da a conocer al público en general la denominación única de los acuíferos reconocidos en el territorio de los Estados Unidos Mexicanos. 88 p.
- Consumo sustentable. 2006. Instrumentos de gestión del agua. <http://www.consumosustentable.org/docs/1133.pdf>, 18 p.
- Cruz-Castillo, M. 2002. Catálogo de las fallas regionales activas en el norte de Baja California, México. GEOS, Unión Geofísica Mexicana, A.C.: 37-42.
- Daesslé, L. W., L. G. Mendoza-Espinosa, V. F. Camacho-Ibar, W. Rozier, O. Morton, L. Van Dorst, K. C. Lugo-Ibarra, A. L. Quintanilla-Montoya, A. Rodríguez-Pinal. 2006. The hydrogeochemistry of a heavily used aquifer in the Mexican wine-producing Guadalupe Valley, Baja California. *Environ. Geol.*:1-9.
- DeCelles, P. G. 2004. Late Jurassic to Eocene evolution of the Cordilleran thrust belt and foreland basin system, western U.S.A. *American Journal of Science*.
- Dirección Estatal de Protección Civil. 2007. http://www.depcbc.gob.mx/sistema_informacion/Atlas_Estatal/Indice_general/riesgos_generales.htm
- Dirección General de Ecología. s/f. Programa de Ordenamiento Ecológico del Estado de Baja California. El Colegio de la Frontera Norte-Gobierno de Baja California. 151 p.
- Espejel, I., D. W. Fischer, A. Hinojosa, C. García y C. Leyva. 1999. Landuse for the Guadalupe Valley, Baja California, México. *Landscape and Urban Planning*. No. 45, 219-232.
- Excélsior. 2009. Baja California: el milagro toma forma de viñedos http://www.vendimia.cl/noticias/imprimir_noticia_neo.php?id=5749. Publicado el 11 de marzo de 2009.
- Falcón, E. 2009. El siglo XXI del vino nacional. <http://erickfalcon.wordpress.com/bodegas-de-santo-tomas-forjadores-del-vino-mexicano/>

- Falcón, E. 2009. En auge el Valle de Guadalupe, cuna del vino mexicano. <http://erickfalcon.wordpress.com/about/en-auge-el-valle-de-guadalupe-cuna-del-vino-mexicano/>
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köpen. Instituto de Geografía. Universidad Autónoma de México. México, D. F. 244 p.
- García Ochoa, S. 2008. Baja California. <http://www.oem.com.mx/elsolde-tijuana/notas/n950091.htm>. Publicado el 29 de noviembre de 2008.
- Gobierno de Baja California. Diagnóstico ambiental. <http://www.bajacalifornia.gob.mx/spa/problematika/diagnosticoA.html>
- Hamilton, W. and W. B. Mayers. 1967. The nature of batholiths. U.S. Geological Survey Professional Paper 554-C.
- IMIP (Instituto Municipal de Investigación y Planeación de Ensenada, B.C.). 2009. Programa sectorial de desarrollo urbano-turístico de los valles vitivinícolas de la zona norte del Municipio de Ensenada (Región del Vino), B.C. 33 p.
- Kilpatrick, A., et al. 1997. Grupos indígenas de la región fronteriza y el medio ambiente. Programa de investigación aplicada, Centro del Sudoeste para Investigación y Normas Ambientales (SCERP) y Manejo de los recursos naturales entre los grupos indígenas de Baja California: prácticas tradicionales y perspectivas actuales. Seminario de Historia de Baja California, Instituto de Investigaciones Históricas UABC, Ensenada, B.C.
- Kretzschmar, T. 2007. Diagnóstico geohidrológico para un manejo sustentable del Valle de Guadalupe, Ensenada México. Primera reunión sobre capacidad y perspectivas en el tema del agua de los CPI's CONACYT. COMIMSA, Saltillo Coah. 25 y 26 de octubre de 2007.
- Kretzschmar, T., Vázquez, R. y Hinojosa-Corona, A. 2004. Estudios hidrogeológicos del acuífero del Valle de Guadalupe, Baja California, México. Congress XXXIII IAH-7º ALHSUD. Groundwater flow understanding from local to regional scales. Zacatecas City, Mexico. 11th to 15th October, 2004.
- Kurczyn-Robledo, J.A. Y Kretzschmar, T. 2004. Evaluación del potencial de escorrentía/infiltración, en la serranía Matcuatai, Valle de Guadalupe, B.C. México. Congress XXXIII IAH-7º ALHSUD. Groundwater flow understanding from local to regional scales. Zacatecas City, Mexico. 11th to 15th October, 2004.
- Kurczyn-Robledo, J.A., Kretzschmar, T. y Hinojosa-Corona, A. 2007. Evaluación del escurrimiento superficial en el noreste del Valle de Guadalupe, B.C.,

México, usando el método de curvas numeradas y datos de satélite. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 24, núm. 1, 2007, p. 1-14

Lammers, G. 2009. Entrevista con Antonio Badán (In Memoriam). Historias del Vino. http://74.125.95.132/search?q=cache:rfsUvs2acFQJwww.vinisfera.com/revista/index.php%3Foption%3Dcom_content%26view%3Darticle%26id%3D248:entrevista-con-antonio-badan-in-memoriam%26catid%3D19:mexico%26Itemid%3D34+acuifero+%22Valle+de+Guadalupe%22&cd=33&hl=es&ct=clnk. Publicado el 15 de enero de 2009.

López Núñez, Pablo Alejo. 2008. Plan municipal de desarrollo 2008-2010. Gobierno municipal de Ensenada, Baja California. 152 p.

Medellín-Azuara, J., Howitt, R.E. Waller-Barrera, C., Mendoza-Espinosa, L.G., Lund, J.R., Taylor, J.E. 2009. Un modelo calibrado de demanda de agua para uso agrícola para tres regiones en el norte de Baja California. *Agrociencia* 43: 83-96. 2009

Monterrosas Figueiras, J.A. 2009. Diversas intervenciones en la Entrega de las instalaciones de la Escuela de Enología y Gastronomía. Presidencia de la República. <http://www.presidencia.gob.mx/prensa/discursos/?contenido=42824>. Publicado el 5 de Marzo de 2009

Ponce, V.M. 2009. Hidrología del arroyo El Barbón-Cuenca Guadalupe. Coloquio para fortalecer el desarrollo del plan integral para la sustentabilidad del acuífero del Valle de Guadalupe. San Diego State University. USA.

Ponce, V.M. 2009. Manejo sustentable del agua en el Valle de Ojos Negros, Baja California, México. San Diego SU, UABC, INIFAP. 50 p.

Raisz, Erwin. 1964. Landforms of Mexico: Cambridge, Mass., U. S. Office of Naval Research, Geography Branch, mapas con texto, esc. 1:3 000 000, 2° ed.

Sarmiento, Sergio. 2009. Editorial. <http://www.elimparcial.com/columnas/Vercolumna.asp?NumNota=766420>. Publicado el 16 de marzo de 2009.

SEDESOL. 2006. Programa de desarrollo regional. Región del Vino. Ensenada, Baja California, México. 138 p.

Tonietto, J. 2005. El uso de la zonificación vinícola para mejorar los factores agronómicos y ecológicos para obtener vinos de calidad. II Seminario Internacional de Vitivinicultura INIFAP-CYTED. Ensenada, México, 03 e 04 de agosto de 2005.