



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN HIDROCIENCIAS

**EL USO DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN
EN EL DESARROLLO DE UN PLAN DE MANEJO
SUSTENTABLE DEL ACUIFERO DEL VALLE DE
GUADALUPE, B. C.**

JORGE ARTURO SALGADO TRÁNSITO

TESIS

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

DOCTOR EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO.

2010

La presente tesis, titulada: **El uso de tecnologías de la información en el desarrollo de un plan de manejo sustentable del acuífero del Valle de Guadalupe, B. C.**, realizada por el alumno: **Jorge Arturo Salgado Tránsito**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS

HIDROCIENCIAS

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO: 

DR. OSCAR LUIS PALACIOS VÉLEZ

ASESOR: 

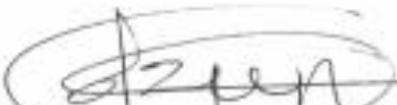
DR. ARTURO GALVIS SPINOLA

ASESOR: 

DR. FRANCISCO GAVI REYES

ASESOR: 

DR. ENRIQUE MEJÍA SAENZ

ASESOR: 

DR. HÉCTOR FLORES MAGDALENO

ASESOR: 

DR. JORGE FLORES VELÁZQUEZ

Montecillo, Texcoco, México, Noviembre de 2010.

El uso de tecnologías de la información en el desarrollo de un plan de manejo sustentable del acuífero del Valle de Guadalupe, B. C.

Salgado Tránsito Jorge Arturo, Dr.
Colegio de Postgraduados, 2010

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en la región del Valle de Guadalupe, municipio de Ensenada, Baja California, y consistió en la elaboración de un Plan de manejo sustentable del acuífero a partir del uso de tecnologías de la información. El plan de manejo servirá para equilibrar las extracciones con las recargas del acuífero del Valle de Guadalupe. La metodología llevada a cabo en la investigación partió de la elaboración del Sistema de Información Geográfica de la zona. Posteriormente se realizó una estimación de la descarga del acuífero mediante el censo de las extracciones observadas en campo, así como los gastos reportados para el uso urbano. Con la información obtenida y datos de las estaciones meteorológicas de influencia se determinó el balance general del acuífero, obteniéndose un volumen minado de $7.08 \text{ hm}^3/\text{año}$ que representa un 53% de la recarga. El análisis químico de los suelos reflejó problemas de salinidad no atribuible a la calidad de agua del acuífero sino a diferencias en el manejo de las áreas agrícolas. Dentro del plan de manejo se incluyen cuatro propuestas: desalinización de agua de mar, reutilización de aguas residuales de la ciudad de Ensenada, construcción de pozos de absorción y modernización y tecnificación de la zona de riego. Se concluye que con el plan de manejo propuesto se logrará incrementar la recarga y disminuir las extracciones, lo cual llevaría el balance hídrico a valores cercanos a 0, equilibrando de esta forma el acuífero.

Palabras clave: Sistemas de Información Geográfica, balance hídrico, análisis químico, desalinización.

Use of information technology in developing a sustainable management plan of
Valle de Guadalupe aquifer, B. C.

Salgado Tránsito Jorge Arturo, Dr.
Colegio de Postgraduados, 2010

ABSTRACT

This study was developed in the region of Guadalupe Valley, municipality of Ensenada, Baja California, and it consisted of developing a sustainable management plan of the aquifer from the use of information technology. The management plan will serve to balance extractions and recharges from the Guadalupe Valley aquifer. The methodology undertaken in the research derives from the development of GIS in the area. Subsequently, aquifer discharges estimation was made by the census withdrawals observed in the field, as well as the expenditures for urban use. With the obtained information and data from influenced meteorological stations, the overall balance of the aquifer was established, resulting in an undermined volume of $7.08 \text{ hm}^3/\text{year}$ representing 53% of recharge. Chemical analysis of soil salinity showed no problems attributable to the quality of the aquifer, but to differences in the management of agricultural areas. Within the management plan four proposals are included: sea water desalination, wastewater reuse on Ensenada city, construction of soak pits and modernization and automation of the irrigation area. We conclude that the proposed management plan can increase recharge and reduce the withdrawals, which would bring the water balance values close to 0, thus balancing the aquifer.

Keywords: GIS, water balance, chemical analysis, desalination.

DEDICATORIA

A ti hija.

Que sea la presente una muestra de que sí se puede...

AGRADECIMIENTOS

A Dios, a quien debo la vida, la salud, el pensamiento y todo cuanto tengo.

A Enedina Tránsito, que me llevo en el vientre, me alimentó, me cuidó, se desveló cuando estaba enfermo, trabajó para darnos lo mejor, estuvo pendiente de mi en la primaria, secundaria, preparatoria, universidad y aun hoy. Gracias mamá.

A mi padre, Saúl Salgado, responsable de mi sostén, educación y valores.

A Nadia Zenil Lugo, por los buenos momentos pero sobre todo por aguantarme en los malos.

A mis hermanos Iván, Luis y Rocío, por su apoyo desde que éramos niños.

A las familias Tránsito Alejo y Salgado Cortés, que siempre han estado presentes, sobre todo en los momentos difíciles.

Al pueblo de México, que a través del CONACYT, patrocinó mis estudios de postgrado.

Al Colegio de Postgraduados, por los conocimientos y habilidades adquiridos.

Al Dr. Enrique Mejía Sáenz, por el apoyo decidido en la culminación de mis estudios doctorales, por sus valiosos consejos y grandes enseñanzas.

Al Dr. Oscar Palacios Vélez, por su apoyo en la realización de este trabajo y durante mi estancia en el Colegio.

Al Dr. Arturo Galvis Spínola, por su enorme contribución en la realización de esta investigación

Al Dr. Francisco Gavi Reyes, por sus atinados consejos y aportaciones al presente trabajo.

A los Doctores Héctor Flores Magdaleno y Jorge Flores Velázquez, por sus contribuciones a la realización de este trabajo.

A todas las personas que participaron en el desarrollo de este trabajo, especialmente a Agustín Rodríguez, Jesús Rodríguez, Salvador Yescas y Sandra Torres.

A la Sra Ma. Ester Bernal, por su invaluable apoyo en los miles de trámites efectuados durante mi estancia en el Colegio y especialmente en los del proceso de graduación.

A todos los cuates (compañeras y compañeros) de la oficina que me respaldan con su gran capacidad, compromiso y profesionalismo.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	2
3. HIPÓTESIS	2
4. REVISIÓN DE LITERATURA	2
4.1. ANTECEDENTES.	2
4.2. MARCO FÍSICO.	29
4.3. GEOLOGÍA.	39
4.4. HIDROGEOLOGÍA.	64
4.5. COMPORTAMIENTO DE AGUAS SUPERFICIALES CON AGUAS SUBTERRÁNEAS.	69
4.6. BALANCE HIDRICO.	71
4.7. CONDICIÓN ACTUAL DEL ACUÍFERO.	77
5. MATERIALES Y MÉTODOS	80
5.1. ELABORACIÓN DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.	80
5.2. ESTIMACIÓN DE LA DESCARGA DEL ACUÍFERO.	81
5.3. BALANCE DEL ACUÍFERO.	85
5.4. ANÁLISIS QUÍMICO DEL SUELO Y AGUA EN EL VALLE.	91
5.5. ELABORACIÓN DEL PLAN DE MANEJO SUSTENTABLE DEL ACUÍFERO.	93
6. RESULTADOS	94
6.1. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.	94
6.2. ESTIMACIÓN DE LA DESCARGA DEL ACUÍFERO.	99
6.3. BALANCE HÍDRICO DEL ACUÍFERO.	136
6.4. ANÁLISIS QUÍMICO.	150
6.5. PROPUESTAS PARA EL PLAN DE MANEJO SUSTENTABLE.	191
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	194
8. LITERATURA CITADA	197
9. ANEXOS	203

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).	5
CUADRO 2.	ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS EN LA REGIÓN DE LA CUENCA DEL ARROYO GUADALUPE.	30
CUADRO 3.	ECUACIONES PARA LA ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN.....	74
CUADRO 4.	BALANCE HÍDRICO DEL ACUÍFERO.	78
CUADRO 5.	PATRÓN DE CULTIVOS DEL VALLE DE GUADALUPE.	96
CUADRO 6.	NÚMERO DE APROVECHAMIENTOS DE AGUA CENSADOS, ACUÍFERO GUADALUPE.	99
CUADRO 7.	VOLÚMENES UTILIZADOS DE AGUA SUPERFICIAL.	99
CUADRO 8.	VOLÚMENES UTILIZADOS DE AGUA SUBTERRÁNEA.	100
CUADRO 9.	MEDIDAS ELÉCTRICAS EN LOS EQUIPOS DE BOMBEO.	102
CUADRO 10.	VOLÚMENES DE EXTRACCIÓN Y NIVELES DEL AGUA SUBTERRÁNEA MEDIDOS EN CAMPO.....	103
CUADRO 11.	EXPORTACIÓN A LA CIUDAD DE ENSENADA. COMISIÓN ESTATAL DE SERVICIOS PÚBLICOS DE ENSENADA.	104
CUADRO 12.	ESTADÍSTICA DE CULTIVOS, SEGÚN EL CENSO DE APROVECHAMIENTOS.....	105
CUADRO 13.	UBICACIÓN DE BANCOS DE MATERIALES EN EXPLOTACIÓN.....	112
CUADRO 14.	POZOS CON MONITOREO CONTINUO.	120
CUADRO 15.	PRECIPITACIÓN EN EL ACUÍFERO GUADALUPE.	136
CUADRO 16.	IDENTIFICACIÓN Y UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS QUE SE EMPLEARON PARA ANALIZAR LA INFORMACIÓN DE PRECIPITACIÓN PLUVIAL EN EL VALLE DE GUADALUPE, B.C. Y PUNTOS DE REFERENCIA ALEDAÑOS.	138
CUADRO 17.	PARÁMETROS ESTADÍSTICOS CALCULADOS CON BASE EN LOS REGISTROS DE PRECIPITACIÓN PLUVIAL TOTAL ANUAL DE LAS DISTINTAS ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS UBICADAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO.	138
CUADRO 18.	DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA DE LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL TOTAL ANUAL REGISTRADA EN CADA UNA DE LAS ESTACIONES EVALUADAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO.	139
CUADRO 19.	PARÁMETROS DE REGRESIÓN DE LA TENDENCIA ENTRE LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL TOTAL ANUAL REGISTRADA EN LA ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA PRESA EMILIO LÓPEZ ZAMORA (PPELZ) CON CADA UNA DE LAS ESTACIONES (PP) UBICADAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO.	140
CUADRO 20.	ECUACIONES DE REGRESIÓN OBTENIDAS DE LA TENDENCIA DE LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL TOTAL ANUAL (P_p) CON LA ALTURA SOBRE EL NIVEL DEL MAR (A_{SNM}), EMPLEADA ESTA ÚLTIMA COMO VARIABLE INDEPENDIENTE.	140
CUADRO 21.	PRECIPITACIÓN EN LA ZONA DEL ACUÍFERO GUADALUPE.	142
CUADRO 22.	VALORES DE TEMPERATURA EN EL ACUÍFERO GUADALUPE.	142
CUADRO 23.	VALORES ESTADÍSTICOS DE LA TEMPERATURA EN EL ACUÍFERO GUADALUPE.	144
CUADRO 24.	EVAPOTRANSPIRACIÓN CALCULADA PARA LA ESTACIÓN OLIVARES MEXICANOS.....	144
CUADRO 25.	EVAPOTRANSPIRACIÓN CALCULADA PARA LA ESTACIÓN AGUA CALIENTE.....	145
CUADRO 26.	EVAPOTRANSPIRACIÓN CALCULADA PARA LA ESTACIÓN EL PINAL.	145
CUADRO 27.	EVAPOTRANSPIRACIÓN CALCULADA PARA LA ESTACIÓN IGNACIO ZARAGOZA.	146
CUADRO 28.	EVAPOTRANSPIRACIÓN CALCULADA PARA LA ESTACIÓN LA MISIÓN.....	146
CUADRO 29.	EVAPOTRANSPIRACIÓN, BLANEY CRIDDLE.	147
CUADRO 30.	VALOR DEL FACTO "K" SEGÚN COBERTURA DEL SUELO.....	147
CUADRO 31.	ESCURRIMIENTO CALCULADO EN EL ACUÍFERO GUADALUPE.	147
CUADRO 32.	CÁLCULO DEL VOLUMEN DE INFILTRACIÓN.	148
CUADRO 33.	ENTRADAS VERTICALES AL ACUÍFERO.	149
CUADRO 34.	ENTRADAS HORIZONTALES AL ACUÍFERO.....	149
CUADRO 35.	SALIDAS VERTICALES DEL ACUÍFERO.....	149

CUADRO 36.	RESULTADOS DEL BALANCE HÍDRICO.....	149
CUADRO 37.	COEFICIENTES DE ALMACENAMIENTO.....	150
CUADRO 38.	DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA DEL CONTENIDO DE ARENA EN LOS SUELOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO Y CAUCE DEL ARROYO DE GUADALUPE.....	153
CUADRO 39.	DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA DEL CONTENIDO DE ARCILLA EN LOS SUELOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO Y CAUCE DEL ARROYO DE GUADALUPE.....	154
CUADRO 40.	DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA DE INDICADORES DEL AMBIENTE QUÍMICO EDÁFICO (pH Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA, C_E) EN LOS SUELOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO Y CAUCE DEL ARROYO DE GUADALUPE.....	155
CUADRO 41.	DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA DE LA CONCENTRACIÓN DE LOS SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES (S_{DT}) EN LA SOLUCIÓN DEL SUELO.....	156
CUADRO 42.	DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA DE LA CONCENTRACIÓN DE CARBONATO (CO_3^{2-}), BICARBONATO (HCO_3^-), CLORURO (Cl^-) Y SULFATO (SO_4^{2-}) EN LA SOLUCIÓN DEL SUELO DE LAS MUESTRAS COLECTADAS EN LOS SUELOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO.....	158
CUADRO 43.	DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA DE LA CONCENTRACIÓN DE CARBONATO (Ca^{2+}), MAGNESIO (Mg^{2+}), SODIO (Na^+) Y POTASIO (K^+) EN LA SOLUCIÓN DEL SUELO DE LAS MUESTRAS COLECTADAS EN LOS SUELOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO.....	160
CUADRO 44.	COMPARACIÓN DE LA VARIACIÓN DEL pH Y SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES (S_{DT}) EN EL ACUÍFERO DE GUADALUPE ENTRE SEPTIEMBRE DE 2001 (DAESSLÉ <i>ET AL.</i> , 2006) Y NOVIEMBRE DE 2009 (COLEGIO DE POSTGRADUADOS).....	163
CUADRO 45.	COMPARACIÓN DE LA VARIACIÓN DEL CALCIO, MAGNESIO, SODIO Y POTASIO EN EL ACUÍFERO DE GUADALUPE ENTRE SEPTIEMBRE DE 2001 (DAESSLÉ <i>ET AL.</i> , 2006) Y NOVIEMBRE DE 2009 (COLEGIO DE POSTGRADUADOS).....	167
CUADRO 46.	COMPARACIÓN DE LA VARIACIÓN DEL CLORURO, BICARBONATO Y SULFATO EN EL ACUÍFERO DE GUADALUPE ENTRE SEPTIEMBRE DE 2001 (DAESSLÉ <i>ET AL.</i> , 2006) Y NOVIEMBRE DE 2009 (COLEGIO DE POSTGRADUADOS).....	171
CUADRO 47.	INDICADORES ESTADÍSTICOS DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS Y MICRONUTRIENTES EN LAS MUESTRAS DE AGUA COLECTADA EN POZOS DEL VALLE DE GUADALUPE, B.C. 175	
CUADRO 48.	VARIACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES EN TRES VIÑEDOS DEL VALLE DE GUADALUPE.....	186

CONTENIDO DE FIGURAS

FIGURA 1.	LOCALIZACIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO.....	2
FIGURA 2.	FOTOGRAFÍAS QUE MUESTRAN DIFERENTES AMBIENTES QUE SE ENCUENTRAN EN LA CUENCA DE GUADALUPE, BAJA CALIFORNIA.....	3
FIGURA 3.	FOTOGRAFÍAS DE LA ZONA DE PRODUCCIÓN VITIVINÍCOLA EN EL VALLE DE GUADALUPE, BAJA CALIFORNIA.....	4
FIGURA 4.	FOTOGRAFÍAS QUE EJEMPLIFICAN LAS CONDICIONES DEL MARCO FÍSICO DE LA REGIÓN, ASÍ COMO EL PROCESO DE VINIFICACIÓN QUE SE LLEVA A CABO EN EL VALLE DE GUADALUPE.....	7
FIGURA 5.	PRODUCCIÓN DE OLIVO EN EL VALLE DE GUADALUPE.....	8
FIGURA 6.	ÁREAS QUE REQUIEREN ATENCIÓN Y APOYO GUBERNAMENTAL EN EL VALLE DE GUADALUPE...	9
FIGURA 7.	PAISAJE REPRESENTATIVO DE LOS ECOSISTEMAS EN EL VALLE DE GUADALUPE.....	11
FIGURA 8.	PAISAJES REPRESENTATIVOS DEL VALLE DE GUADALUPE.....	12

FIGURA 9.	EJEMPLOS DEL CRECIMIENTO URBANO EN EL VALLE DE GUADALUPE Y ENSENADA.	14
FIGURA 10.	IMPACTO DE LA SEGUÍA SOBRE LA PRODUCCIÓN DE VID EN EL VALLE DE GUADALUPE.	24
FIGURA 11.	OTRO TIPO DE “DESARROLLOS URBANOS” EN EL VALLE DE GUADALUPE.	27
FIGURA 12.	INICIO DE LA PRESIÓN DEMOGRÁFICA EN EL VALLE DE GUADALUPE.	28
FIGURA 13.	DISTRIBUCIÓN DE CLIMAS EN LA CUENCA DEL ARROYO GUADALUPE.	29
FIGURA 14.	PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL EN LA CUENCA DEL ARROYO GUADALUPE (MM).	31
FIGURA 15.	ISOYETAS MEDIAS ANUALES CUENCA DEL ARROYO GUADALUPE (MM).	32
FIGURA 16.	PRECIPITACIÓN ANUAL EN LA CUENCA DEL ARROYO GUADALUPE (MM).	32
FIGURA 17.	TEMPERATURA MEDIA ANUAL EN LA CUENCA DEL ARROYO GUADALUPE (°C).	33
FIGURA 18.	ISOTERMAS MEDIAS ANUALES EN LA CUENCA DEL ARROYO GUADALUPE (°C).	34
FIGURA 19.	EVAPORACIÓN POTENCIAL ANUAL EN LA CUENCA DEL ARROYO GUADALUPE (MM).	34
FIGURA 20.	PRECIPITACIÓN ANUAL EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DEL ACUÍFERO GUADALUPE (MM).	35
FIGURA 21.	ISOTERMAS MEDIAS ANUALES EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DEL ACUÍFERO GUADALUPE (°C).	36
FIGURA 22.	ESCURRIMIENTOS ANUALES AFORADOS EN LA CUENCA DEL ARROYO GUADALUPE.	38
FIGURA 23.	MAPA TECTÓNICO DEL CINTURÓN CORDILLERANO. SEGÚN DeCELLES, 2004.	39
FIGURA 24.	ESQUEMA DE LA APERTURA DEL GOLFO DE CALIFORNIA. (TOMADO DE FLETCHER, 2007).	39
FIGURA 25.	SISTEMA DE FALLAS QUE SE ENCUENTRAN EN LA PARTE NORTE DE BAJA CALIFORNIA, DENTRO DE LAS CUALES SE ENCUENTRA ACTIVA LA FALLA SAN MIGUEL VALLECITOS.	41
FIGURA 26.	PROVINCIAS FISIOGRÁFICAS RAISZ, 1964.	42
FIGURA 27.	MODELO DE ELEVACIÓN DEL TERRENO.	44
FIGURA 28.	INTERPRETACIÓN DE LA IMAGEN DE SATÉLITE.	45
FIGURA 29.	COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO.	48
FIGURA 30.	GEOLOGÍA SUPERFICIAL.	49
FIGURA 31.	SECCIONES GEOLÓGICAS EN LA ZONA DEL ACUÍFERO LA MISIÓN.	49
FIGURA 32.	SECCIONES GEOLÓGICAS EN LA ZONA DEL ACUÍFERO GUADALUPE.	50
FIGURA 33.	SECCIONES GEOLÓGICAS EN LA ZONA DEL ACUÍFERO REAL DEL CASTILLO.	50
FIGURA 34.	SECCIONES GEOLÓGICAS EN LA ZONA DEL ACUÍFERO OJOS NEGROS.	51
FIGURA 35.	INTERCALACIONES DE ARENISCAS Y LUTITAS DEFORMADAS Y METAMORFIZADAS.	53
FIGURA 36.	ROCAS ANDESÍTICAS SILICIFICADAS Y CORTADAS POR PLANOS DE FALLA.	54
FIGURA 37.	ROCAS INTRUSIVAS BASTANTE INTEMPERIZADAS.	55
FIGURA 38.	GRANODIORITAS DE LA UNIDAD (KsGd-Tn), MOSTRANDO EL GRADO DE FRACTURAMIENTO ASOCIADO CON UNA ZONA DE FALLA. INMEDIACIONES DE FRANCISCO ZARCO.	56
FIGURA 39.	ROCAS BASÁLTICAS DE LA UNIDAD Tm B-AR, MOSTRANDO PLANOS DE FLUJO Y FRACTURAMIENTO.	57
FIGURA 40.	SEDIMENTOS FLUVIALES ARENOSOS CON LENTES GRAVILIENTOS Y CONGLOMERÁTICOS. CAUCE DEL ARROYO GUADALUPE.	58
FIGURA 41.	PATRÓN DE FALLAS Y FRACTURAS INTERPRETADO A PARTIR DE LA IMAGEN DE SATÉLITE.	59
FIGURA 42.	SEGMENTACIÓN DE BLOQUES DE TERRENO DIFERENCIADOS A PARTIR DEL MODELO DE ELEVACIÓN DEL TERRENO.	60
FIGURA 43.	PLANOS DE FALLA EN ROCAS TRIÁSICAS ASOCIADOS A LA FALLA PUERTO BLANCO.	61
FIGURA 44.	AMBIENTE TECTÓNICO ASOCIADO A LA APERTURA DEL GOLFO DE CALIFORNIA Y AL DESPLAZAMIENTO DE LA BAJA CALIFORNIA HACIA EL NOROESTE.	61
FIGURA 45.	SECCIÓN ESTRUCTURAL A-A´.	63
FIGURA 46.	UNIDADES HIDROGEOLOGICAS.	66
FIGURA 47.	ELEVACIÓN DEL NIVEL ESTÁTICO EN LOS AÑOS 1973-1974.	68
FIGURA 48.	CURVAS DE IGUAL ELEVACIÓN DEL NIVEL ESTÁTICO EN 1973. ACUÍFERO GUADALUPE.	69
FIGURA 49.	DISTRIBUCIÓN DEL USO DEL AGUA.	79
FIGURA 50.	DELIMITACIÓN DE LA CUENCA DEL VALLE DE GUADALUPE EN EL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.	94

FIGURA 51.	APROVECHAMIENTOS SUBTERRÁNEOS (IZQUIERDA) Y SUPERFICIALES (DERECHA) CONTENIDOS EN EL SIG DEL ACUÍFERO DEL VALLE DE GUADALUPE.	95
FIGURA 52.	TIPO DE TENENCIA DE LAS PARCELAS PERTENECIENTES AL VALLE DE GUADALUPE.	95
FIGURA 53.	PATRÓN DE CULTIVOS POR NÚMERO DE PARCELAS EN LAS UNIDADES DE RIEGO DEL VALLE DE GUADALUPE.	96
FIGURA 54.	SISTEMAS DE RIEGO UTILIZADOS EN EL VALLE DE GUADALUPE.	97
FIGURA 55.	SISTEMAS DE RIEGO UTILIZADOS EN LAS PARCELAS DEL VALLE DE GUADALUPE, SIG.	97
FIGURA 56.	CAMINOS EXISTENTES EN EL VALLE DE GUADALUPE, CONTENIDOS EN EL SIG.	98
FIGURA 57.	SITUACIÓN ACTUAL DE LOS APROVECHAMIENTOS SUBTERRÁNEOS EXISTENTES EN EL VALLE DE GUADALUPE.	101
FIGURA 58.	USO DE LOS APROVECHAMIENTOS ACTIVOS EN EL VALLE DE GUADALUPE.	101
FIGURA 59.	APROVECHAMIENTOS Y USOS DEL AGUA SUBTERRÁNEA.	102
FIGURA 60.	VOLÚMENES EXPORTADOS HACIA LA CIUDAD DE ENSENADA.	104
FIGURA 61.	EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE VID EN EL ACUÍFERO GUADALUPE.	106
FIGURA 62.	FOSAS CALAFIA Y EL PORVENIR.	110
FIGURA 63.	ACUÍFERO GUADALUPE, DENTRO DEL RECTÁNGULO SE ENCUENTRA ZONA DE EXPLOTACIÓN DE BANCOS DE ARENA.	111
FIGURA 64.	LOCALIZACIÓN DE BANCOS DE ARENA.	113
FIGURA 65.	PROFUNDIDAD QUE HA ALCANZADO LA EXPLOTACIÓN DE ARENA EN EL BANCO DE MATERIAL A. LOCALIDAD BC-1.	114
FIGURA 66.	BANCO DE MATERIAL INACTIVO, NÓTESE EL CRECIMIENTO DE VEGETACIÓN SOBRE EL CAUCE DEL ARROYO. LOCALIDAD BC-4.	114
FIGURA 67.	BANCO DE MATERIAL INACTIVO, NÓTESE EL INCIPIENTE CRECIMIENTO DE VEGETACIÓN SOBRE LOS MONTÍCULOS DE ARENA. LOCALIDAD BC-5.	114
FIGURA 68.	VISTA HACIA EL SUROESTE DEL CAUCE DEL ARROYO GUADALUPE, MOSTRANDO EL ESTADO EN QUE SE ENCUENTRA SU EXPLOTACIÓN EN EL BANCO DE MATERIAL B. LOCALIDAD BC-6.	115
FIGURA 69.	VISTA HACIA EL NOROESTE DE LOS TRABAJOS DE EXPLOTACIÓN QUE SE LLEVAN A CABO SOBRE EL BANCO DE MATERIAL B. LOCALIDAD BC-6A.	115
FIGURA 70.	VISTA HACIA EL NOROESTE DEL BANCO DE MATERIAL C, MOSTRANDO EL ESTADO DE SOCAVAMIENTO POR LA EXTRACCIÓN DE ARENA QUE PRESENTA EL CAUCE DEL ARROYO.	116
FIGURA 71.	CORTE LONGITUDINAL DEL ARROYO GUADALUPE. MOSTRANDO LA DISTRIBUCIÓN DE LOS BANCOS DE MATERIAL A LO LARGO DE SU CAUCE Y LA PROFUNDIDAD A LA QUE HAN LLEGADO. EL NIVEL DEL AGUA SUBTERRÁNEA SE MUESTRA EN COLOR AZUL.	116
FIGURA 72.	SECCIÓN DEL ARROYO GUADALUPE. MOSTRANDO LOS EFECTOS TANTO REGIONAL COMO A DETALLE DE LA EXPLOTACIÓN DE LOS BANCOS DE ARENA, EN DONDE SE INTERPRETAN LOS PALEOCAUCES QUE SE ENCUENTRAN EN SUBSUELO, DERIVADOS DE LA MIGRACIÓN VERTICAL Y HORIZONTAL. LA FOTOGRAFÍA ES LA EXPRESIÓN SUPERFICIAL DEL ARROYO.	118
FIGURA 73.	LOCALIZACIÓN DE POZOS CON REGISTRADOR CONTINUO DEL NIVEL DEL AGUA.	121
FIGURA 74.	HIDRÓGRAFO POZO 259.	121
FIGURA 75.	HIDRÓGRAFO POZO 197.	122
FIGURA 76.	HIDRÓGRAFO POZO 254 R.	122
FIGURA 77.	HIDRÓGRAFO POZO 166.	123
FIGURA 78.	HIDRÓGRAFO POZO 167.	123
FIGURA 79.	HIDRÓGRAFO POZO 117.	124
FIGURA 80.	HIDRÓGRAFO POZO 130.	124
FIGURA 81.	HIDRÓGRAFO POZO 213.	125
FIGURA 82.	HIDRÓGRAFO POZO 122.	125
FIGURA 83.	HIDRÓGRAFO POZO 452.	126
FIGURA 84.	HIDRÓGRAFO DE POZOS PILOTO.	128

FIGURA 85.	HIDRÓGRAFO DE POZOS PILOTO (SIN AÑO 1998).	128
FIGURA 86.	HIDRÓGRAFO DE POZOS PILOTO (2001-2009).	129
FIGURA 87.	CURVAS DE IGUAL PROFUNDIDAD DEL NIVEL ESTÁTICO EN 1990.	130
FIGURA 88.	CURVAS DE IGUAL PROFUNDIDAD DEL NIVEL ESTÁTICO EN 2009.	131
FIGURA 89.	CURVAS DE IGUAL ELEVACIÓN DEL NIVEL ESTÁTICO EN 1990.	132
FIGURA 90.	CURVAS DE IGUAL ELEVACIÓN DEL NIVEL ESTÁTICO EN 2009.	133
FIGURA 91.	CURVAS DE IGUAL EVOLUCIÓN DEL NIVEL ESTÁTICO 1990-2009.	135
FIGURA 92.	CURVAS DE IGUAL EVOLUCIÓN DEL NIVEL ESTÁTICO 2001-2009.	135
FIGURA 93.	SITIOS DE MUESTREO DE SUELO (IZQUIERDA) Y AGUA (DERECHA).	151
FIGURA 94.	UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS SITIOS DONDE SE COLECTARON LAS MUESTRAS DE SUELO EN EL ÁREA DE ESTUDIO, IDENTIFICANDO LAS ZONAS AGRÍCOLAS, NO AGRÍCOLAS, EL CAUCE DEL ARROYO DE GUADALUPE Y LOS PUNTOS DE REFERENCIA.	153
FIGURA 95.	DISTRIBUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE LOS SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES (S_{DT}) EN LA SOLUCIÓN DEL SUELO.	156
FIGURA 96.	RELACIÓN ENTRE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Y LA CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES (S_{DT}) EN LA SOLUCIÓN DEL SUELO. A=SUELOS AGRÍCOLAS; NA=SUELOS NO AGRÍCOLAS; N=NORTE DEL ACUÍFERO; VGPE=VALLE DE GUADALUPE; VM=VALLE LA MISIÓN; VON=VALLE OJOS NEGROS.	157
FIGURA 97.	CONCENTRACIÓN DE SODIO (NA) EN LA SOLUCIÓN DEL SUELO EN EL ÁREA DE ESTUDIO.	159
FIGURA 98.	UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS POZOS DEL VALLE DE GUADALUPE, B.C., EN QUE SE COLECTARON LAS MUESTRAS DE AGUA ANALIZADAS EN EL LABORATORIO DE CIENCIAS AMBIENTALES DEL COLEGIO DE POSTGRADUADOS.	161
FIGURA 99.	INDICADORES ESTADÍSTICOS Y DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA DE LOS VALORES DE PH, CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (C_E) Y SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES (S_{DT}) EN EL AGUA DE LOS POZOS MUESTREADOS DEL VALLE DE GUADALUPE, B.C.	162
FIGURA 100.	TENDENCIA ENTRE LOS VALORES DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (C_E) Y SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES (S_{DT}) EN EL AGUA DE LOS POZOS MUESTREADOS DEL VALLE DE GUADALUPE, B.C.	163
FIGURA 101.	CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES (S_{DT}) EN EL AGUA DE LOS POZOS MUESTREADOS.	164
FIGURA 102.	INDICADORES ESTADÍSTICOS Y DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA DE LOS VALORES DE CALCIO (Ca^{2+}), MAGNESIO (Mg^{2+}), SODIO (Na^+) Y POTASIO (K^+) EN EL AGUA DE LOS POZOS MUESTREADOS DEL VALLE DE GUADALUPE, B.C.	166
FIGURA 103.	TENDENCIA DE LA CONCENTRACIÓN DE CALCIO, MAGNESIO, SODIO Y POTASIO CON LOS SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES EN EL AGUA DE LOS POZOS MUESTREADOS DEL VALLE DE GUADALUPE, B.C. LOS CÍRCULOS OSCUROS SON DATOS DE ESTE ESTUDIO (2009) Y LOS CÍRCULOS CLAROS A LOS MEDIDOS EN 2001 POR DAESSLÉ <i>ET AL.</i> (2006).	168
FIGURA 104.	INDICADORES ESTADÍSTICOS Y DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA DE LOS VALORES DE BICARBONATOS (HCO_3^-), CLORUROS (Cl^-) Y SULFATOS (SO_4^{2-}) EN EL AGUA DE LOS POZOS MUESTREADOS DEL VALLE DE GUADALUPE, B.C.	169
FIGURA 105.	TENDENCIA DE LA CONCENTRACIÓN DEL CLORURO, BICARBONATO Y SULFATO CON LOS SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES EN EL AGUA DE LOS POZOS MUESTREADOS DEL VALLE DE GUADALUPE, B.C. LOS CÍRCULOS OSCUROS SON DATOS DE ESTE ESTUDIO (2009) Y LOS CÍRCULOS CLAROS A LOS MEDIDOS EN 2001 POR DAESSLÉ <i>ET AL.</i> (2006).	171
FIGURA 106.	VARIACIÓN DE LA ABUNDANCIA PROMEDIO DE LAS ESPECIES IÓNICAS CON MAYOR CONCENTRACIÓN QUE SE DETECTARON EN EL AGUA COLECTADA DE LOS POZOS EN EL VALLE DE GUADALUPE, B.C.	172
FIGURA 107.	PORCENTAJE DE LA ABUNDANCIA DE LAS TRES PRINCIPALES ESPECIES IÓNICAS RESPECTO A LA CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES (S_{DT}) DETECTADAS EN EL AGUA DE LOS POZOS MUESTREADOS DEL VALLE DE GUADALUPE, B.C.	172

FIGURA 108.	INDICADORES ESTADÍSTICOS Y DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA DE LOS VALORES DE NITRATOS (N-NO ₃ ⁻), AMONIO (N-NH ₄ ⁺) Y FÓSFORO (P-PO ₄ ³⁻) EN EL AGUA DE LOS POZOS MUESTREADOS DEL VALLE DE GUADALUPE, B.C.	173
FIGURA 109.	AGRUPACIÓN DE LOS POZOS MUESTREADOS EN EL VALLE DE GUADALUPE, B.C., CON BASE EN SU POSICIÓN GEOGRÁFICA EN EL ÁREA DE ESTUDIO.	177
FIGURA 110.	TENDENCIA DE LA CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES (S _{DT}) EN EL AGUA DE LOS POZOS MUESTREADOS EN EL VALLE DE GUADALUPE, B.C., DE ACUERDO CON SU POSICIÓN GEOGRÁFICA EN EL ÁREA DE ESTUDIO.	178
FIGURA 111.	TENDENCIA ENTRE LA CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES (S _{DT}) Y LA PROFUNDIDAD DE EXTRACCIÓN (P _{POZO}) DE LOS POZOS MUESTREADOS UBICADOS EN LA FOSA EL PORVENIR DEL VALLE DE GUADALUPE, B.C.	180
FIGURA 112.	TENDENCIA ENTRE LA CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES (S _{DT}) Y LA PROFUNDIDAD DE EXTRACCIÓN (P _{POZO}) DE LOS POZOS AGRÍCOLAS ESTUDIADOS EN EL VALLE DE GUADALUPE, B.C.	181
FIGURA 113.	VARIACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (C _E) EN SUELOS AGRÍCOLAS. A: TERRENOS DONDE LA C _E DEL AGUA DEL POZO ES <1.0 dS m ⁻¹ ; B: TERRENOS DONDE LA C _E DEL AGUA DEL POZO ESTÁ ENTRE 1.0 Y 1.5 dS m ⁻¹	184
FIGURA 114.	VARIACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (C _E) EN SUELOS AGRÍCOLAS. A: TERRENOS DONDE LA C _E DEL AGUA DEL POZO ESTÁ ENTRE 1.5 Y 2.0 dS m ⁻¹ ; B: TERRENOS DONDE LA C _E DEL AGUA DEL POZO ES SUPERIOR A 2.0 dS m ⁻¹	185
FIGURA 115.	ESQUEMA QUE REPRESENTA LA VARIACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN EL BULBO DE MOJADO, POR EFECTO DE LA APLICACIÓN DEL AGUA DE RIEGO: A. MAL MANEJO DEL RIEGO; B. BUEN MANEJO DEL RIEGO.	187
FIGURA 116.	DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA DE LA CONCENTRACIÓN DE NITRÓGENO EN EL SUELO EN FORMA DE AMONIO Y NITRATO DETECTADA MUESTRAS COLECTADAS DE TERRENOS AGRÍCOLAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO.	188
FIGURA 117.	DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA DE LA CONCENTRACIÓN DE FÓSFORO EN MUESTRAS COLECTADAS DE TERRENOS AGRÍCOLAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO: A. FASE LÍQUIDA EDÁFICA; B. SUELO.	188
FIGURA 118.	DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA DE LA CONCENTRACIÓN DE POTASIO EN MUESTRAS COLECTADAS DE TERRENOS AGRÍCOLAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO.	189
FIGURA 119.	DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA DE LA CONCENTRACIÓN DE BORO EN LA FASE LÍQUIDA Y EN EL SUELO, ASÍ COMO DE LOS MICRONUTRIENTES METÁLICOS EN MUESTRAS COLECTADAS DE TERRENOS AGRÍCOLAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO.	190

1. INTRODUCCIÓN

El acuífero Valle de Guadalupe se ubica en la cuenca del arroyo del mismo nombre, con una extensión de 963.3km² (CONAGUA, 2001) que se extiende desde la vertiente oeste de la sierra Juárez hasta su desembocadura al mar.

En la porción intermedia de la cuenca se forma un pequeño valle donde se desarrolla una importante actividad agrícola, a la cual se le atribuye alrededor del 90 % del vino mexicano.

En la actualidad, debido a las condiciones que prevalecen en la región, consecuencia de un ambiente árido constituido de ecosistemas frágiles, la sustentabilidad del Valle depende en gran medida de la forma en que se hace uso del agua y las medidas que se toman para captarla en el acuífero, situación que conlleva a una problemática compleja en la que se ven involucrados diversos aspectos tanto de tipo ecológico, como técnico, social, económico e incluso político.

Al respecto, los productores de la región del Valle de Guadalupe consideran que las temporadas prolongadas de sequía junto con la sobreexplotación del acuífero del Valle para complementar el requerimiento hídrico de la ciudad de Ensenada y la extracción de pétreos alteran en gran medida la capacidad de recarga del acuífero, afectando de manera directa y significativa la productividad de la uva y en consecuencia, la cantidad de vino a producir. Lo anterior, sin contar la importante acumulación de sales que de manera natural se depositan tanto en el suelo como en el agua.

En el presente trabajo de investigación, se aborda el estudio del acuífero del Valle de Guadalupe desde un punto de vista integral, considerando todos los usos del agua, utilizando para ello las tecnologías de la información específicamente los sistemas de información geográfica como plataforma para la sistematización de toda la información recabada.

2. OBJETIVOS

- Aplicar las tecnologías de la información en el estudio del Acuífero del Valle de Guadalupe.
- Desarrollar un plan integral para todos los usos del agua, para la sustentabilidad del acuífero del Valle de Guadalupe.

3. HIPÓTESIS

Las tecnologías de la información, específicamente los sistemas de información geográfica, son una herramienta que facilita el estudio de problemas de múltiples factores que varían espacialmente.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. ANTECEDENTES.



Figura 1. Localización del sitio de estudio.

El Acuífero del Valle de Guadalupe se ubica a 37 km de la ciudad de Ensenada, en el estado de Baja California Norte, entre los paralelos $31^{\circ}58'$ y $32^{\circ}15'$ de latitud norte, y los

meridianos 116°04' y 116°45' de longitud oeste, como se muestra en la Figura 1; 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 km². En él se ubican las localidades de Francisco Zarco, Ejido El Porvenir y Ejido Ignacio Zaragoza.

El Acuífero Valle de Guadalupe abarca una superficie de 96,419 hectáreas (IMIT, 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 vegetaciónFigura 2.



Chaparral



Asentamientos humanos



Agrícola



Bosques

Figura 2. Fotografías que muestran diferentes ambientes que se encuentran en la Cuenca de Guadalupe, Baja California.

De acuerdo con SEDESOL (2006), la “Región del Vino del Valle de Guadalupe”, específicamente la superficie agrícola, abarca 12,114 hectáreas, de las cuales 7,977 son de temporal y 4,137 de riego (Figura 3).



Viñedo con riego

Viñedo con producción de secano

Figura 3. Fotografías de la zona de producción vitivinícola en el Valle de Guadalupe, Baja California.

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 L.A. 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 BC, 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. 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 Tomás, S.A. de C.V.	Santo Tomás	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 Valamar	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 Liceaga	1991
Chateau Camou, S.A. de C.V.	Chavteau Camou	1994
Agrocultivos Cas de Piedra, S.A. de C.V.	Casa de Piedra	1991
Mogor-Badán	Mogor Badán	1986
Adobe Guadalupe, S. de R.L. de C.V.	Adobe Guadalupe	1998
Vinisterra S.A. de C.V.	Vinisterra	2002
Vinícola Tres Valles S.A. de C.V.	Vinícola Tres Valles	1999
Vinicila Pijoan	Vinícola Pijoan	
Vides y Vinos Californianos S. P. R. de R.L.	Vides y Vinos Californianos	2000
Chimul Vinos Albarolo, S. de R.L.	Chimul Vinos Albarolo	
Barón Balché, S. de R.L.	Barón Balché	

En la fabricación de vino, las grandes empresas como L.A. Cetto, Domecq y Santo Tomás presentan los mayores volúmenes de producción de la Región. Entre ellas, su producción suma un total de 7'700,000 cajas sobre el total general de 7'773,800 cajas, mientras que las

empresas medianas producen 62 mil cajas y las pequeñas 11,800. En una industria incipiente como la del vino en México, el consumo per cápita es uno de los más bajos del mundo, las zonas de potencial cualitativo elevado son pocas y la falta de infraestructura caminera encarece los transportes.

Según Carabias *et al.* (2006), 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).

En la Figura 4, se presenta una serie de fotografías que ejemplifican las condiciones del marco físico de la región, así como el proceso de vinificación que se lleva a cabo en el Valle de Guadalupe.

El Marco Físico



Proceso de Vinificación



Figura 4. Fotografías que ejemplifican las condiciones del marco físico de la región, así como el proceso de vinificación que se lleva a cabo en el Valle de Guadalupe.

Según la SEDESOL (2006), el Acuerdo de Libre Comercio con la República de Chile afecta la producción vitícola de la Región, ya que el subsidio de parte del gobierno de ese país a sus productores permite que los costos de los productos chilenos sean mucho más bajos que los reales de la Región del Vino. Aun cuando las asociaciones se han organizado con apoyo del gobierno para revertir esta situación, los logros no han sido halagadores; por

lo cual es necesario retomar esta iniciativa, hasta lograr un cambio en beneficio de la actividad vitícola.

En la Figura 5 se muestra el cultivo del olivo en el Valle de Guadalupe. Es insuficiente el valor agregado del producto del olivo. Existe interés regional de desarrollar actividades que agreguen valor a este producto y en el mercado internacional se denota un interés especial por los productos orgánicos. El último informe del mercado mundial de aceite de oliva publicado por el COI en diciembre de 2001, confirma que existe una tendencia de crecimiento continuado del mercado mundial y una situación de equilibrio entre la producción y el consumo (Musalem, 2001).



Figura 5. Producción de olivo en el Valle de Guadalupe.

De acuerdo con la Asociación de Vinicultores de Ensenada (AVE), hay al menos 27 bodegas vinícolas establecidas en el Valle de Guadalupe que producen alrededor de 50 marcas de vino reconocidas, a las que se suman más de 80 vinos artesanales elaborados por productores menores. Al menos cinco productores de vino están a punto de alcanzar el nivel de bodega con capacidad de producir más del 70 por ciento del vino en sitio, y se espera que al menos otras tres abran en esta década en el Valle, según recuentos de la AVE. Debido al auge que se ha tenido, el crecimiento de las casas vitivinícolas se está extendiendo hacia los valles de Santo Tomás, de las Palmas, San Antonio de las Minas y

Ojos Negros, porque en el de Guadalupe ya se están agotando o saturando las extensiones de terrenos de plantación (Falcón, 2009). De hecho, la falta de disponibilidad del agua ha racionado la producción, pero aun así la zona de cultivo está vendida en 80% en Guadalupe y Porvenir, y en Santo Tomás y San Vicente está alrededor de 70%, según la AVE.

Agroindustria



Ganadería



Turismo



Recursos Naturales



Figura 6. Áreas que requieren atención y apoyo gubernamental en el Valle de Guadalupe.

De acuerdo con la SEDESOL (2006), el potencial económico de los recursos naturales es de amplia perspectiva, por ser recursos de alto valor como las actividades vitivinícolas, turísticas y de servicios de recreación. Con la aptitud de la región existe un gran potencial a corto plazo, agregando valor a las actividades ya establecidas y complementando las

cadena productivas de la región. El potencial agrícola está relacionado con la gran demanda en los mercados extranjeros, y pueden surgir nuevos en la medida que cambian las preferencias de los consumidores, como ha sucedido en los últimos años con la demanda del aceite de oliva, que está creciendo fuertemente en los mercados internacionales. Aun cuando la producción de ganado es mediana, existe el potencial para incrementarlo y combinarlo con las actividades turísticas y de recreación. Respecto a los recursos forestales no maderables se cuenta con un potencial apropiado por la amplia gama de especies de las zonas semiáridas de la Región.

Existen programas de apoyo de los órdenes de gobierno estatal y federal. Anualmente se oferta el apoyo a productores que requieren recursos económicos y de inversión, para proyectos e iniciativas locales (León y Graizbord, 2003). En el ámbito del turismo, la Región del Vino puede crecer si se aprovecha su diversidad de ambientes naturales y paisajísticos (Figura 6).

4.1.1. 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 (Gobierno de B.C., 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, como ocurre en el área de San Pedro Mártir y Constitución de 1857, 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 (Dirección General de Ecología, 1993).

El Valle de Guadalupe es un entorno árido con problemas de escasez de agua y ecosistemas frágiles y, de acuerdo con Macías (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 7).



Figura 7. 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 Mm^3 y no superar los 25 Mm^3 ; sin embargo, se extraen 30 Mm^3 promedio. Según la información del área climatológica de CONAGUA (2002), durante 1997 la presa de Ensenada bajó su nivel de 17 Mm^3 a 8.5 Mm^3 . 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 Mm^3 . 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 (López, 2003).

En la Figura 8 se muestran fotografías de los paisajes representativos del arroyo de Guadalupe, así como del impacto de la erosión eólica sobre los suelos del Valle, donde se aprecia el afloramiento de las rocas.

Aguas superficiales



Afloramiento de rocas por erosión eólica



Figura 8. Paisajes representativos del Valle de Guadalupe.

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).

4.1.2. 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 (SEMARNAT-UABC, 2009).

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. En la Figura 9 se presentan fotografías que ejemplifican el crecimiento urbano en el Valle de Guadalupe y la ciudad de Ensenada.

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 clúster (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).

Asentamientos irregulares



Mancha urbana



Suburbios en la Región del Vino



Efectos de la urbanización



Figura 9. Ejemplos del crecimiento urbano en el Valle de Guadalupe y Ensenada.

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, 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 (Alvarez, 2009).

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. 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, 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, 2009).

4.1.3. 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 (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 (72 millones de litros aproximadamente), 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 (Valenzuela, 2009).

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.

4.1.4. 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. En el acuífero de La Misión existen 151 aprovechamientos, de los cuales 29 son pozos y 122 norias. Desde ahí el agua se conduce en dos sentidos: hacia Tijuana y hacia Ensenada (EMETEC S.A. de C.V., 2007). El acueducto La Misión-Tijuana alimenta el Corredor Turístico de Playas de Rosarito. Tiene una longitud de 65 km y una capacidad de conducción de 250 lps de los pozos del acuífero de La Misión. El acueducto La Misión-Ensenada tiene una longitud de 25.7 km y una capacidad para conducir 500 lps. 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).

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 (Mendoza *et al.*, 2009). 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 (Vázquez, 2000), 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, 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).

4.1.4.1. Uso urbano del agua.

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 (Waller, 2008). 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. Incluso, la SEDESOL (2006) reconoce que en la región hay un desorden en el establecimiento de fraccionamientos y ausencia de delimitación del fondo legal de los centros de población, sin regulación de uso de suelo, edificación o construcción sin orden ni autorización, actividades y asentamientos irregulares, uso económico de áreas sin planificación, problemas por derrame de sustancias tóxicas, contaminación por residuos de drenaje clandestinos en parcelas cercanas a la carretera, lotes sin prever la disponibilidad de servicios, así como uso y arribo de empresas ajenas a la aptitud de uso del suelo.

De acuerdo con García (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 IMIT (2009) considera que la sobreexplotación del acuífero ha ocasionado que se abatan los niveles freáticos, atribuyéndolo a una sobre-concesión 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, 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 IMIT (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).

4.1.4.2. Extracción y recarga 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). En la Figura 10 se presenta el efecto de la sequía sobre la producción de vid.

El IMIT (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, dicha problemática se incrementa por la falta de cultura de reutilización y reciclamiento de recursos naturales y de desechos sólidos.

Además, de acuerdo con Kretschmar (2007), 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.



Figura 10. Impacto de la sequía sobre la producción de vid en el Valle de Guadalupe.

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, 2009). El IMIT (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 debe sobrepasar la recarga natural del acuífero (Sención, 2008). 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 no 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, 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 (Kurczyn y Kretzschmar, 2004).

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 (2004) 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 (Romo *et al.*, 2004). 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.

4.1.5. 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 (Dirección Estatal de Protección Civil, 2007).

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 (Figura 11).



Figura 11. Otro tipo de “desarrollos urbanos” en el Valle de Guadalupe.

Por ello se está luchando para proponer desarrollos que sean armoniosos y sustentables, cuyo elemento angular tiene que ser la vitivinicultura y los olivos (Mac Kay, 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 (Figura 12).

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, 2008).



Figura 12. Inicio de la presión demográfica en el Valle de Guadalupe.

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).

4.2. MARCO FÍSICO.

4.2.1. Climatología.

4.2.1.1. 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. En la Figura 13 se muestra la distribución de climas descritos anteriormente.

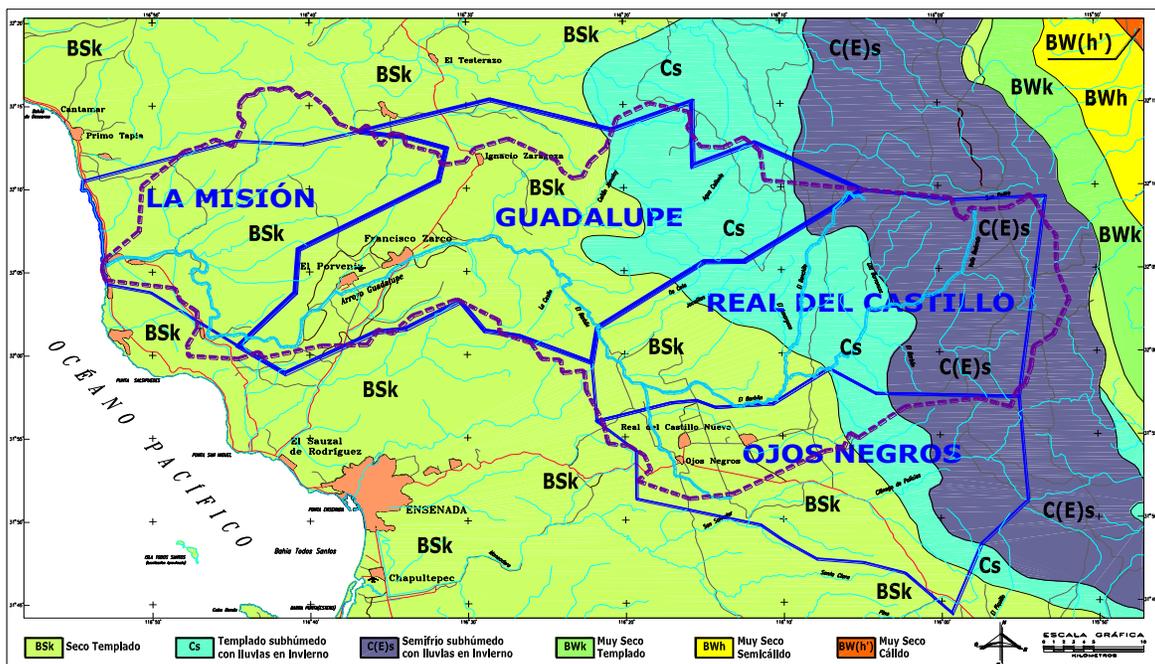


Figura 13. Distribución de climas en la Cuenca del Arroyo Guadalupe.

Estaciones climatológicas

Para conocer los valores medios anuales de la precipitación pluvial, temperatura y evaporación en la zona de estudio, se recopiló información en las oficinas del Servicio Meteorológico de la CONAGUA, de estaciones climatológicas que operan en la zona de la cuenca del Arroyo Guadalupe, Cuadro 2, de estas estaciones se seleccionaron aquellas que

contenían información actualizada, dejando de considerar las estaciones San Juan de Dios Norte, Sierra de Juárez, Real del Castillo Viejo y El Farito por no contener datos desde 1990.

Asimismo, se incluyen en el análisis las estaciones Presa Rodríguez y Valle de Palmas, para conocer las variaciones tanto generales como extremas de la región costera NW de Baja California comprendida entre Ensenada y Tijuana.

Cuadro 2. Estaciones climatológicas en la región de la Cuenca del Arroyo Guadalupe.

Estación	Nombre	Municipio	Longitud	Latitud	Observaciones
Climatológicas					
2001	Agua Caliente	Ensenada	-116.45417	32.10750	
2004	Ignacio Zaragoza –Belén	Ensenada	-116.48556	32.19528	
2005	Boquilla Santa Rosa de la	Ensenada	-116.77694	32.02167	
2021	El Pinal	Ensenada	-116.29167	32.18333	
2025	Ensenada (obs)	Ensenada	-116.60583	31.85778	Se localiza en Ensenada
2035	Ojos Negros	Ensenada	-116.26472	31.91167	
2036	Olivares Mexicanos	Ensenada	-116.68083	32.04917	
2038	Presa Rodríguez	Tijuana	-116.90778	32.44694	Cercana a Tijuana
2049	San Juan de Dios norte	Ensenada	-116.16500	32.13250	No se utilizó. Datos hasta 1985
2066	Sierra de Juárez	Ensenada	-115.94833	32.00361	No se utilizó. Datos hasta 1986
2069	Valle de las Palmas	Tecate	-116.65361	32.37028	Cercana a Tijuana
2072	Presa Emilio López	Ensenada	-115.59722	31.89583	Al este de la Cuenca del Arroyo Guadalupe
2077	La Misión	Ensenada	-116.81111	32.10194	
2079	El Alamar	Ensenada	-116.20389	31.83556	
2094	El Farito	Ensenada	-116.66667	31.98333	No se utilizó. Datos hasta 1986
2114	Ejido Carmen Serdán	Tecate	-116.58444	32.24361	
2118	Valle de San Rafael	Ensenada	-116.23417	31.91889	
2122	Real del Castillo Viejo	Ensenada	-116.30222	31.95139	No se utilizó. Datos hasta 1990
2164	Ejido el Porvenir	Ensenada	-115.85222	32.10639	
Hidrométricas	Agua Caliente	Ensenada	-116.39583	32.11500	
Hidrométricas	Boquilla Santa Rosa	Ensenada	-116.75444	32.02833	

Precipitación media anual en la Cuenca del Arroyo Guadalupe

La temporada de lluvias en Baja California se presenta principalmente durante el período de noviembre a marzo (INIFAP, 2008), mientras que la época de estiaje se presentan de

abril a octubre, como se observa claramente en la Figura 14, correspondiente a sólo años completos de las estaciones climatológicas.

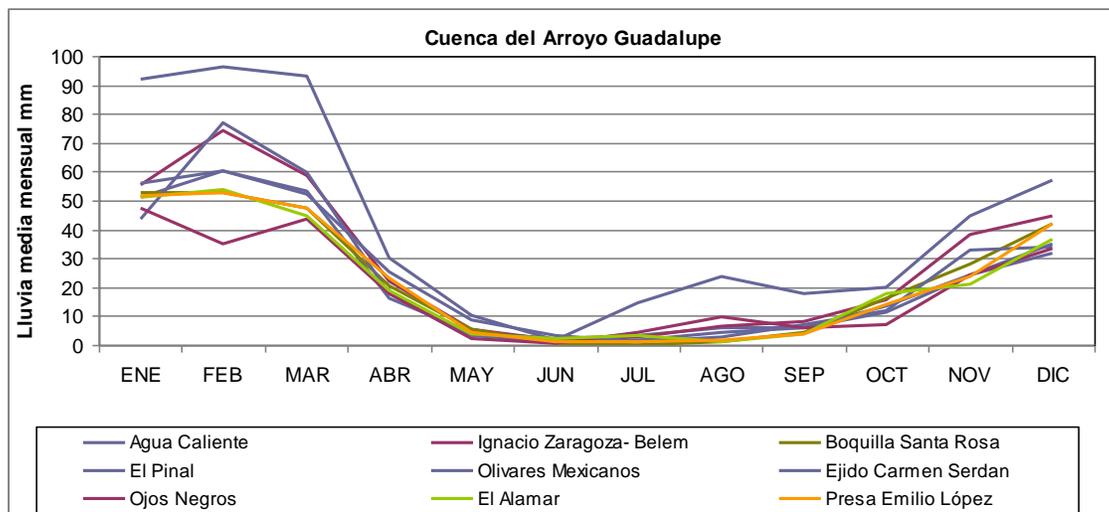


Figura 14. Precipitación media mensual en la Cuenca del Arroyo Guadalupe (mm).

Asimismo en la Figura 16, se muestra una distribución espacial de la precipitación promedio anual en la Cuenca del Arroyo Guadalupe. En esta figura se aprecia que los valores promedio de las precipitaciones anuales, dentro de la zona de estudio, oscilan entre 270 a un máximo local de 500 mm/año.

Por otra parte, de acuerdo con la información de INEGI en su anuario estadístico 2007, la precipitación promedio en la zona llega a ser del orden de 300 mm/año (INEGI, 2007), valor muy semejante al mostrado en la Figura 15, ya que al considerar las estaciones que se encuentran en la zona de la Cuenca del Arroyo Guadalupe, se obtiene un promedio de 291 mm/año.

Las isoyetas de la Figura 15 se elaboraron con datos de doce estaciones climatológicas, a partir de las cuales se analizó la precipitación con información comprendida en el periodo 1926-2008, para las estaciones: Agua Caliente, Ignacio Zaragoza-Belem, Boquilla Santa Rosa, El Pinal, Olivares Mexicanos, La Misión, Ejido Carmen Serdán, Ojos Negros, El Alamar, Valle de San Rafael, Ejido El Porvenir y Ensenada.

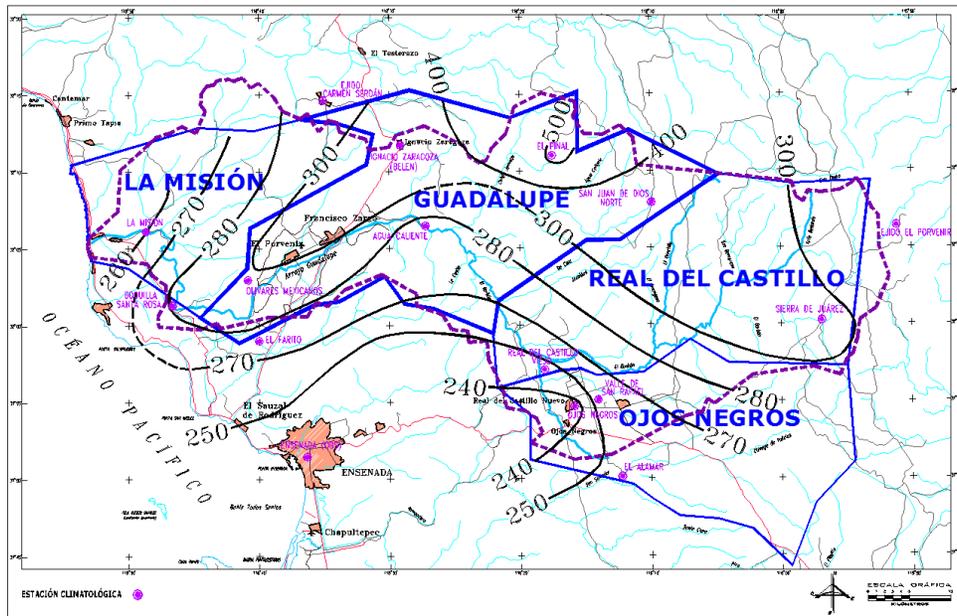


Figura 15. Isoyetas medias anuales Cuenca del Arroyo Guadalupe (mm).

Con la información disponible para el período 1926 a 2008, se puede ver que durante el período de 1978 a 1983, los valores de precipitación fueron mayores, es decir, fue una época de precipitaciones arriba de lo normal, con un porcentaje cercano al doble. Este comportamiento de la lluvia anual se muestra en la Figura 16.

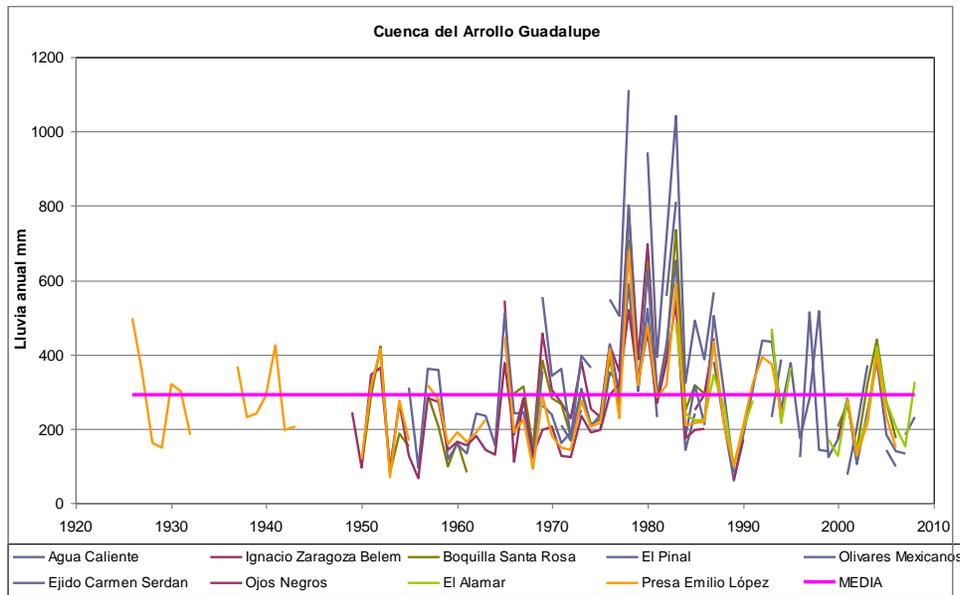


Figura 16. Precipitación anual en la Cuenca del Arroyo Guadalupe (mm).

Temperatura media anual en la Cuenca del Arroyo Guadalupe

De acuerdo con los resultados de las lecturas de temperaturas, obtenidas de los años completos en las estaciones climatológicas indicadas en el Cuadro 14, se establece que la temperatura media anual en la Cuenca del Arroyo Guadalupe es del orden de 16.4°C, como se puede observar en la Figura 17. No se nota una variación en los años 70's tal como sucede en la precipitación. En la Figura 18 se muestra la distribución espacial de las temperaturas en la región de la Cuenca del Arroyo Guadalupe.

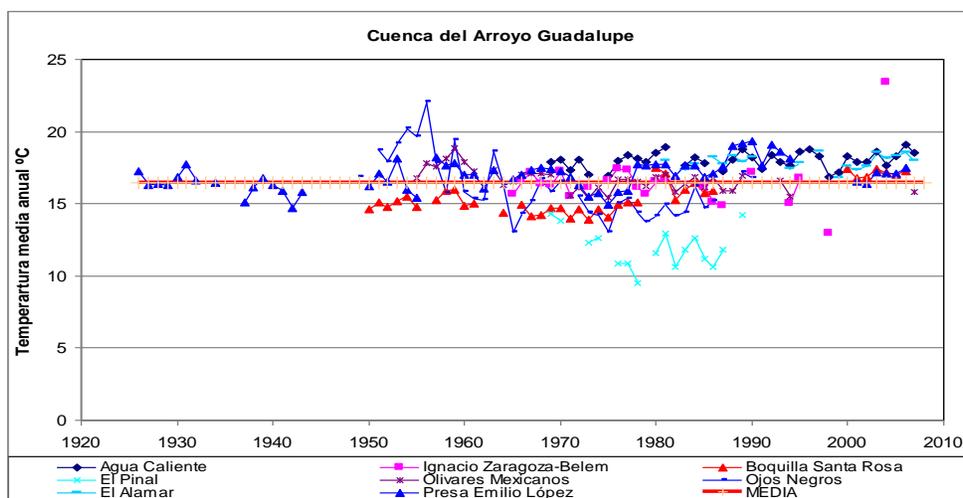


Figura 17. Temperatura media anual en la Cuenca del Arroyo Guadalupe (°C).

Evaporación media anual en la Cuenca del Arroyo Guadalupe

De acuerdo con la información disponible de las estaciones climatológicas indicadas anteriormente, la evaporación potencial promedio anual en la zona de la Cuenca del Arroyo Guadalupe es del orden de 1,700 mm por año, como se puede apreciar en la Figura 19 elaborada con esa información.

Al igual que en la temperatura media anual, no se nota una variación de la evaporación potencial, en los años 70's tal como sucede en la precipitación.

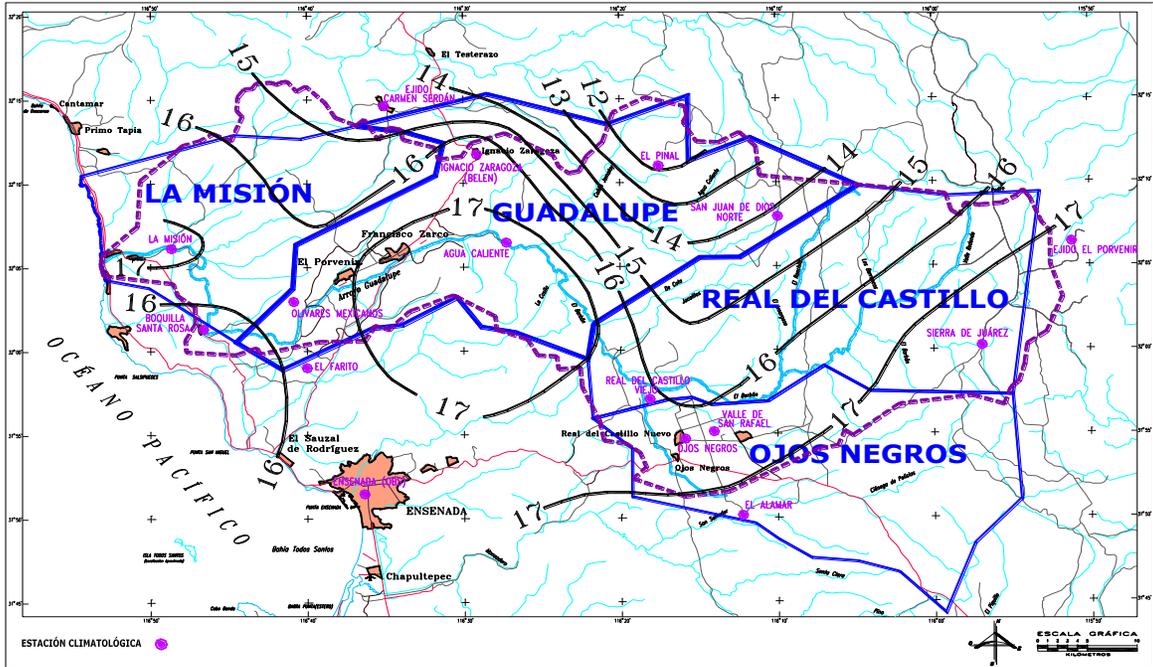


Figura 18. Isotermas medias anuales en la Cuenca del Arroyo Guadalupe (°C).

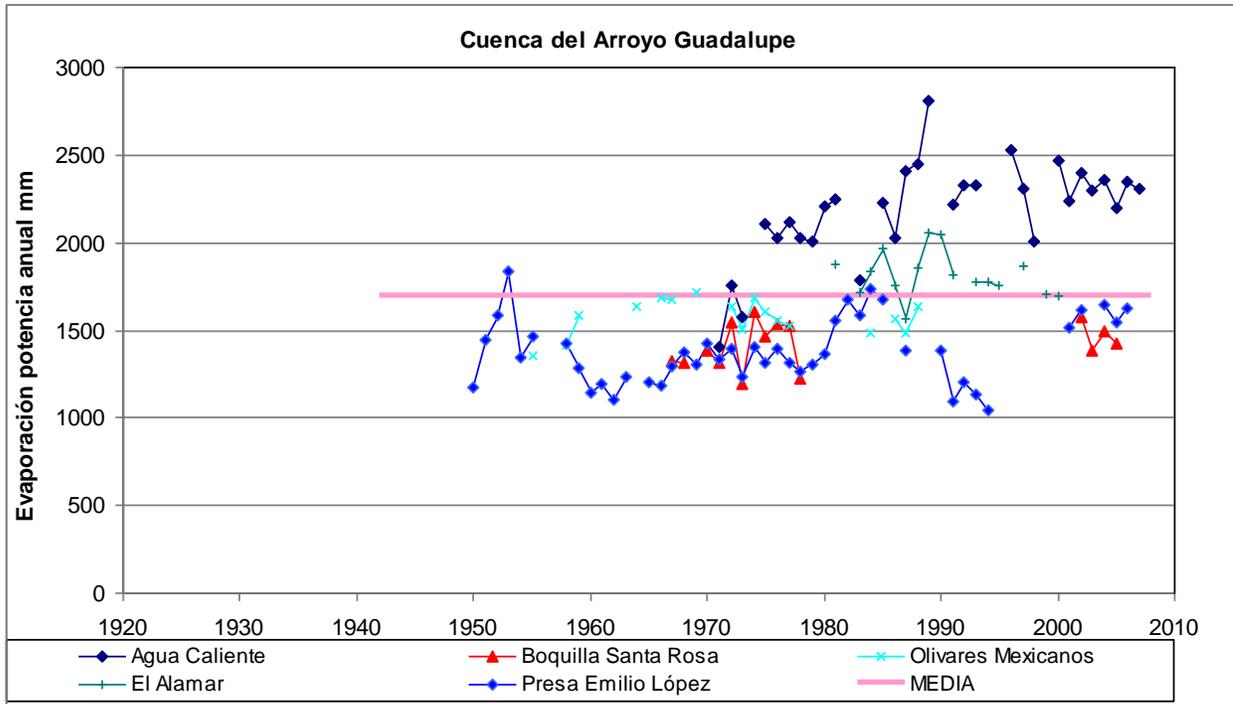


Figura 19. Evaporación potencial anual en la Cuenca del Arroyo Guadalupe (mm).

4.2.1.2. Condiciones climatológicas en la zona del acuífero Guadalupe.

Precipitación promedio anual 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 20, asimismo.

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 20.

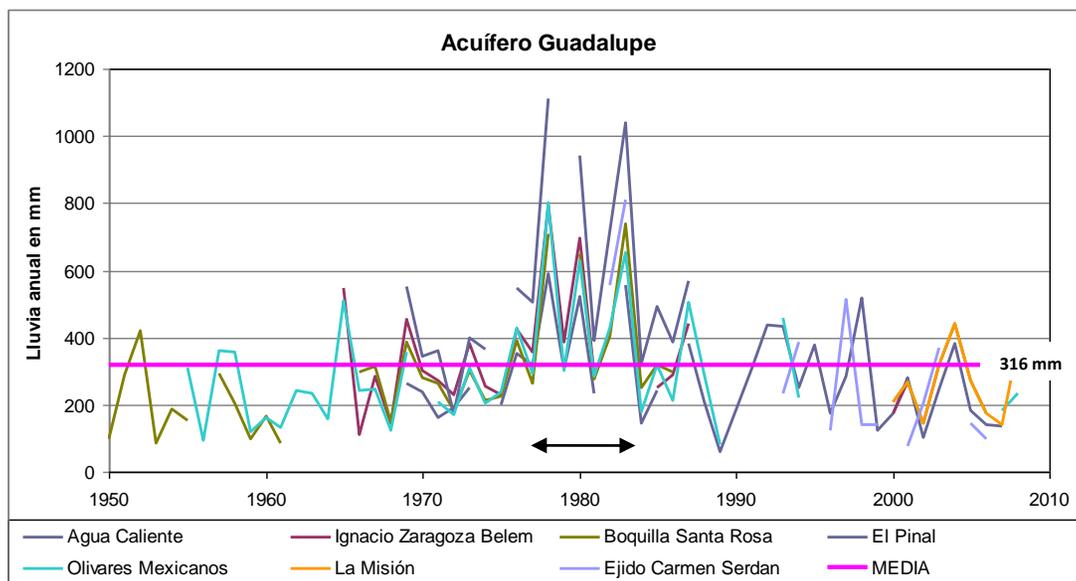


Figura 20. Precipitación anual en el área de influencia del acuífero Guadalupe (mm).

Temperatura media en el área de influencia del acuífero Guadalupe

En la Figura 21, se muestran las temperaturas promedio en el área de influencia del acuífero Guadalupe, con un valor promedio del orden de 15.8 °C, su distribución espacial se puede observar en la Figura 18, donde se aprecia que la temperaturas máximas anuales se presentan en la parte central del acuífero Guadalupe con valores del orden de los 17 °C y hasta promedio 12 °C en las partes altas al norte de los límites del acuífero Guadalupe. La variación anual no presenta variaciones significativas (Figura 22).

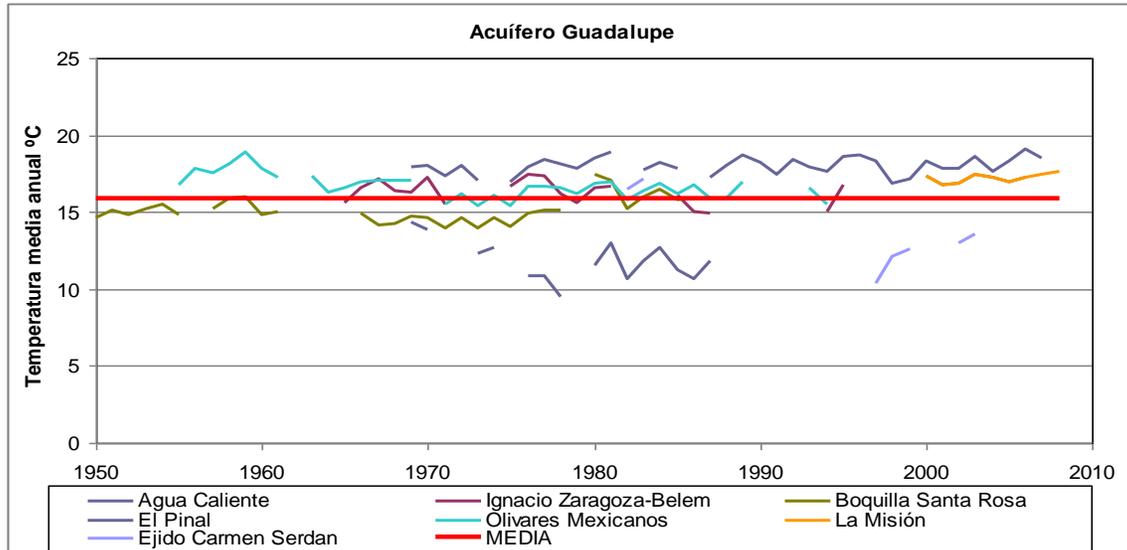


Figura 21. Isotermas medias anuales en el área de influencia del acuífero Guadalupe (°C).

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.

4.2.2. 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 m.s.n.m., además de fuertes pendientes.

La cuenca del Arroyo Guadalupe es denominada por la Comisión Nacional del Agua, cuenca III, integrada desde su nacimiento hasta su desembocadura al Océano Pacífico.

Dentro de esta cuenca 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.

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.

De acuerdo con Kurczin *et al.* (2007), 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 (Ponce, 2009).

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.

Los límites administrativos de los acuíferos La Misión, Guadalupe, Real del Castillo y Ojos Negros, así como de la cuenca del Arroyo Guadalupe se muestran en la Figura 18.

En la Figura 22 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 como se puede observar en la Figura 22.

Las precipitaciones extraordinarias que se presentaron en los años de 1978 y 1980 en la región, ocasionando fuertes avenidas, lo que se puede observar en la Figura 22. Aunque su influencia sobre el acuífero apenas incrementaron la recarga, debido a las grandes velocidad del agua en los cauces y la poca duración.

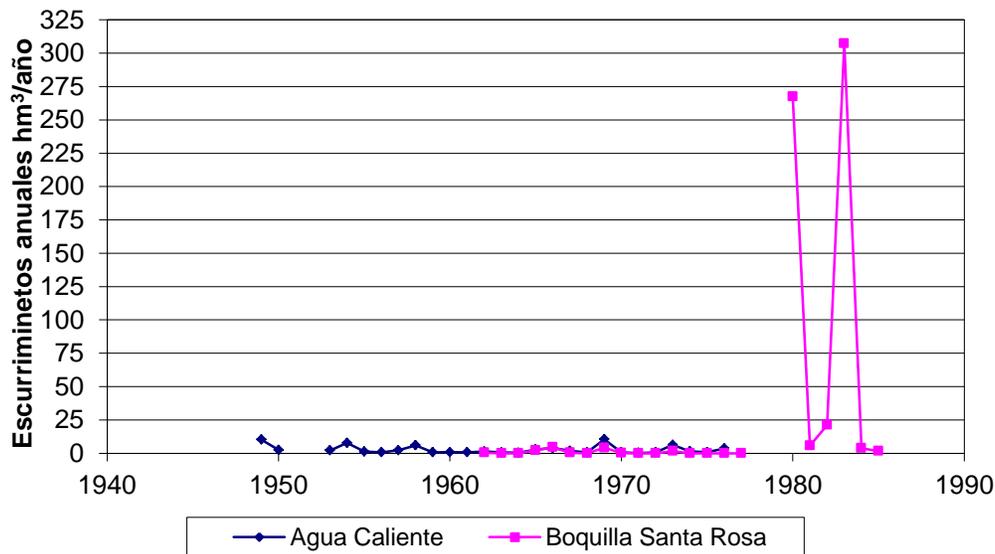


Figura 22. Ecurrimientos anuales aforados en la Cuenca del Arroyo Guadalupe.

4.3. GEOLOGÍA.

4.3.1. Marco geológico regional.

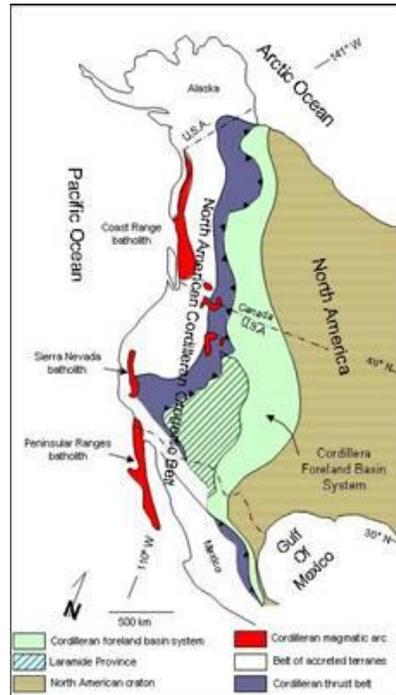


Figura 23. Mapa tectónico del Cinturón Cordillerano. Según DeCelles, 2004

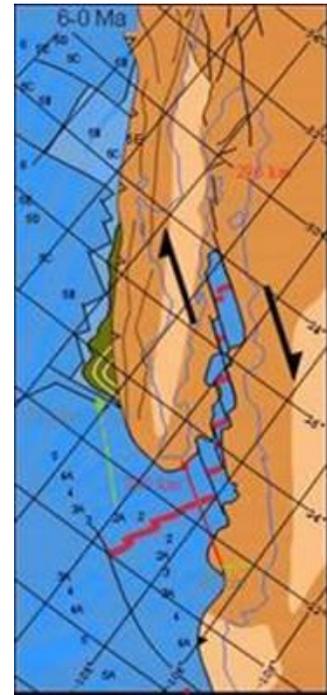


Figura 24. Esquema de la apertura del Golfo de California. (Tomado de Fletcher, 2007)

El área de estudio comprende los acuíferos, 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.

Las rocas de edad Mesozoica y más antiguas, manifiestan deformación compresiva derivada de la evolución tectónica de la Cordillera, originando la aloctonía (en el Cretácico Temprano) de secuencias clásticas de ambientes marinos profundos, compuestas por intercalaciones de areniscas y lutitas (serie flysh), así como materiales vulcano sedimentarios (andesitas, areniscas, limolitas) sobre la margen continental, posteriormente

se desarrolló un magmatismo de arco al oriente de la zona de subducción, que limitaba la placa pacífica con la margen de Norteamérica en donde, el emplazamiento de estos cuerpos de rocas intrusivas sobre la margen occidental de Norteamérica, conformó un cinturón de batolitos con una longitud mayor de 4000 km (Hamilton y Myers, 1967; Hyndman, 1983, Bateman, 1983; Saleeby y Busby-Spera, 1992; Armstrong y Ward, 1983; Andronicus y otros, 2003). Las rocas relacionadas al arco magmático se extienden desde el batolito de las Sierras Peninsulares en Baja California (del Cretácico Temprano) hasta el batolito de Idaho (Figura 25).

Por otra parte, durante el Terciario Tardío, cambia en la región el ambiente tectónico, de subducción a “rifting “, derivado de la apertura del Golfo de California, la cual, se llevó a cabo sobre un sistema de fallas transformes de rumbo NW de tipo lateral dextral (Anderson, 1971).

Finalmente, hoy en día la actividad tectónica se manifiesta a través del sistema de fallas de San Andrés, la cual constituye el límite entre las placas del Pacífico Norte y Norteamérica y separa la región suroccidental de California y la parte norte de la Baja del resto de América del Norte, esta actividad queda de manifiesto por los sismos registrados sobre la traza de fallas laterales dextrales ubicadas al norte y oriente de la ciudad de Ensenada (Cruz, 2002).

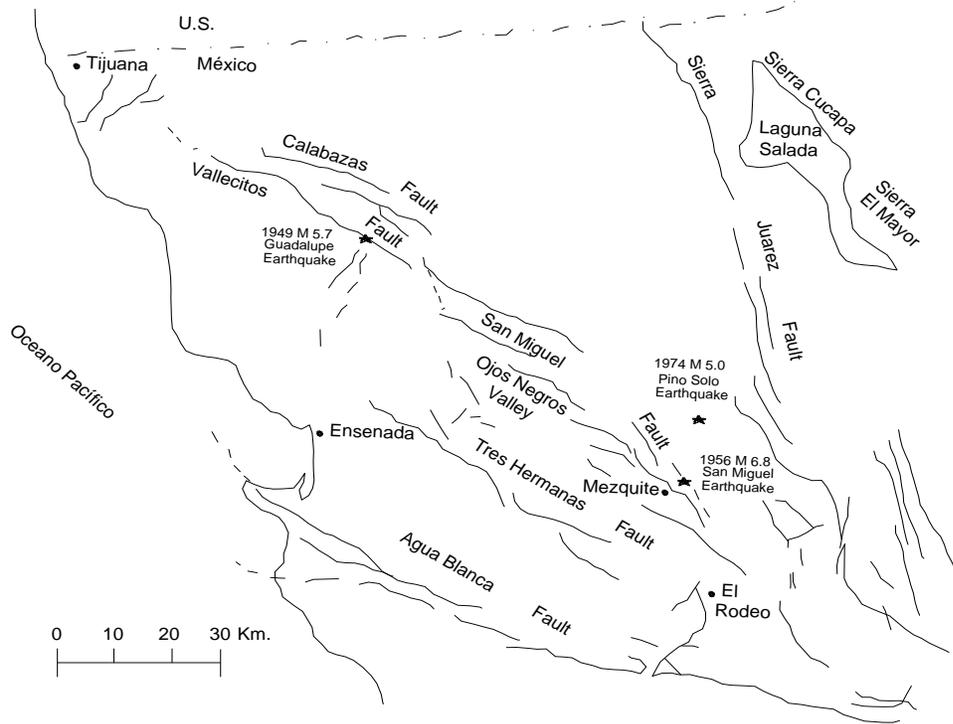


Figura 25. Sistema de fallas que se encuentran en la parte norte de Baja California, dentro de las cuales se encuentra activa la falla San MiguelVallecitos.

4.3.2. Fisiografía.

El área de estudio queda comprendida dentro de la provincia de Baja California (Figura 26), 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.

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 m.s.n.m. La porción sureste de la cuenca generalmente presenta elevaciones entre los 500 y 700 m.s.n.m.

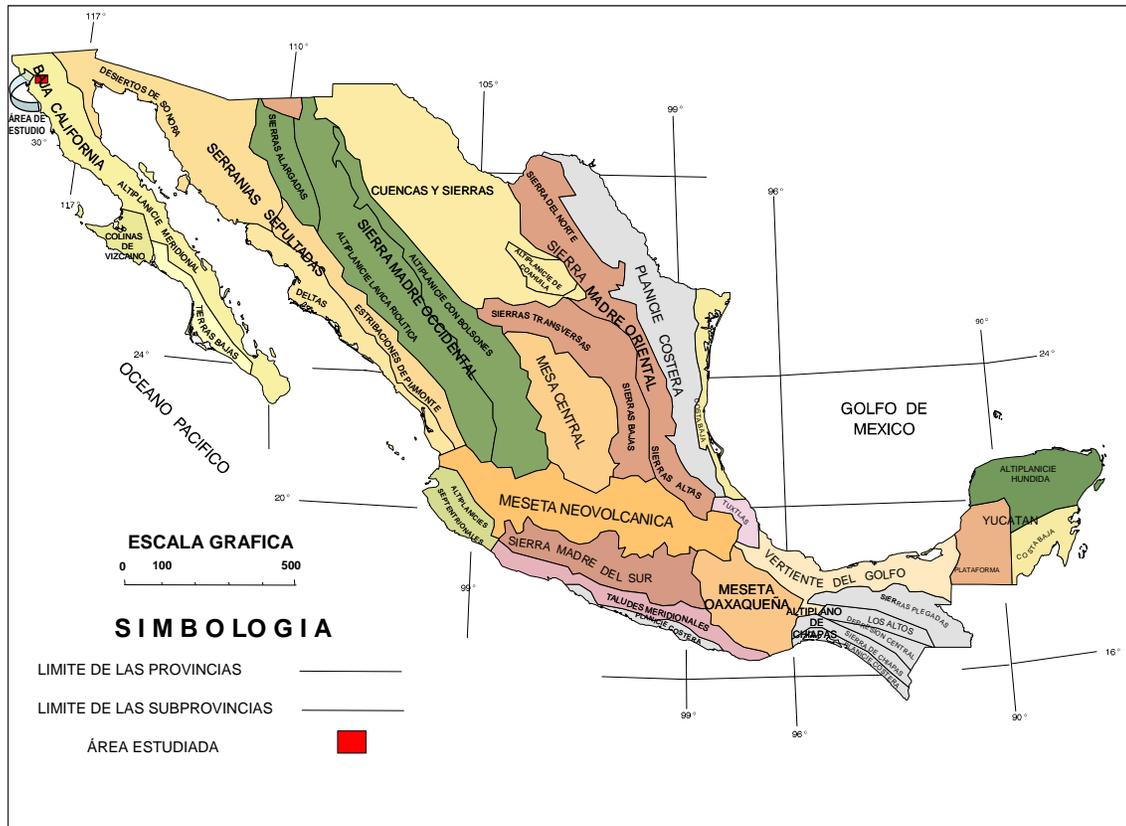


Figura 26. Provincias fisiográficas Raisz, 1964.

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 desplazamiento 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.

De igual forma en la zona de los acuíferos de Ojos Negros y Real del Castillo la zona de explotación corresponde con una fosa tectónica con un sistema de fallas y fracturas asociadas con la actividad de las fallas regionales.

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

4.3.3. 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 27).

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 más bajas son del orden de los 1200 m.s.n.m., en tanto que su límite superior lo define la curva de 1900 m.s.n.m.; 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, donde se localizan los acuíferos Ojos Negros y Real del Castillo.

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 m.s.n.m. y 1200 m.s.n.m. 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 m.s.n.m., 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 (Mac Kay, 2007).

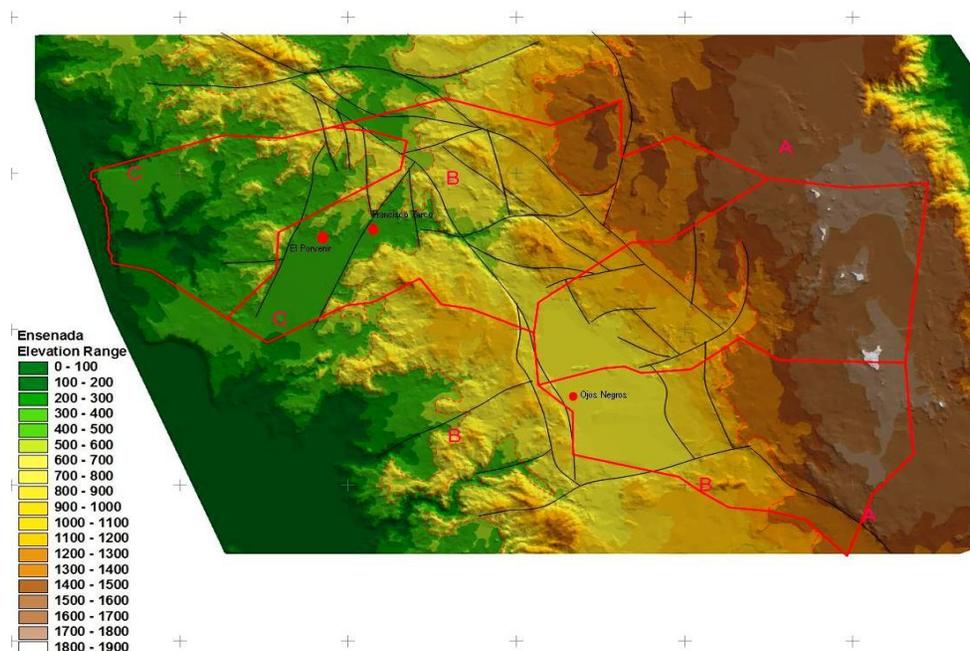


Figura 27. Modelo de elevación del terreno.

Por otra parte, en la interpretación de la imagen de satélite (Figura 28), 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 28. Interpretación de la imagen de satélite.

4.3.4. 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 riolitas, 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 29).

Las características de cada unidad se describirán a continuación, por otra parte su distribución superficial dentro del área se aprecia en la Figura 30 y su comportamiento en el subsuelo en la Figura 31 a la Figura 34.

En la Figura 30 se presenta la geología superficial de la Cuenca del Arroyo Guadalupe y su nomenclatura se consigna en la Figura 29.

Para mostrar la disposición de las rocas que conforman la Cuenca del Arroyo Guadalupe con base a su estratigrafía se elaboraron la Figura 31 a la Figura 34; asimismo, estas secciones se incluyen al texto en forma esquemática, iniciando por la 9-9', que se encuentra más al poniente como se observa en la Figura 30.

De acuerdo a lo anterior las secciones que pueden ser representativas del acuífero La Misión se muestran en la Figura 31.

En cuanto a las secciones que muestran la estratigrafía de la zona donde se ubica el acuífero Guadalupe se indican en la Figura 32.

Las secciones que se trazaron en la zona del acuífero Real del Castillo corresponden a las indicadas en la Figura 33, aunque una parte del valle de este acuífero que también forma parte del acuífero Ojos Negros se muestran en la Figura 34, donde a su vez se aprecian los tipos de rocas que conforman la geología de la zona donde se aloja el acuífero Ojos Negros.

La sección denominada A-A' corta a prácticamente toda la Cuenca del Arroyo Guadalupe de NW-SE, sin embargo, al igual que las anteriores secciones se muestra esta sección en forma esquemática. En la figura también es posible observar parte de la zona del acuífero Real del Castillo, principalmente la de valle.

COLUMNA ESTRATIGRAFICA

SIMBOLOGÍA

CUATERNARIO

Qho Al Aluvi6n

Qpt Cgp-Ar Conglomerado Polim6ctico-Arenisca

TERCIARIO

NE6GENO

Tm B-Ar Basalto-Arenisca

CRETÁCICO

SUPERIOR

Kcm Lm-Ag Limolita-Arenisca

CRETÁCICO INFERIOR-JURÁSICO SUPERIOR

JsKi Rd-Da Riodacita-Dacita

JsKi A-BvA Andesita-Brecha Andesítica

JURÁSICO MEDIO- TRIÁSICO SUPERIOR

TRsJm Ms Metasedimentaria

CARBONÍFERO-DEVÓNICO

Pdc E-Ma Esquisto-Mármol

ORDOVÍCICO

Po C-Ma Cuarcita-Mármol

ROCAS ÍGNEAS INTRUSIVAS

Ks Gd-Ta Granito
Granodiorita-Tonalita
Diorita

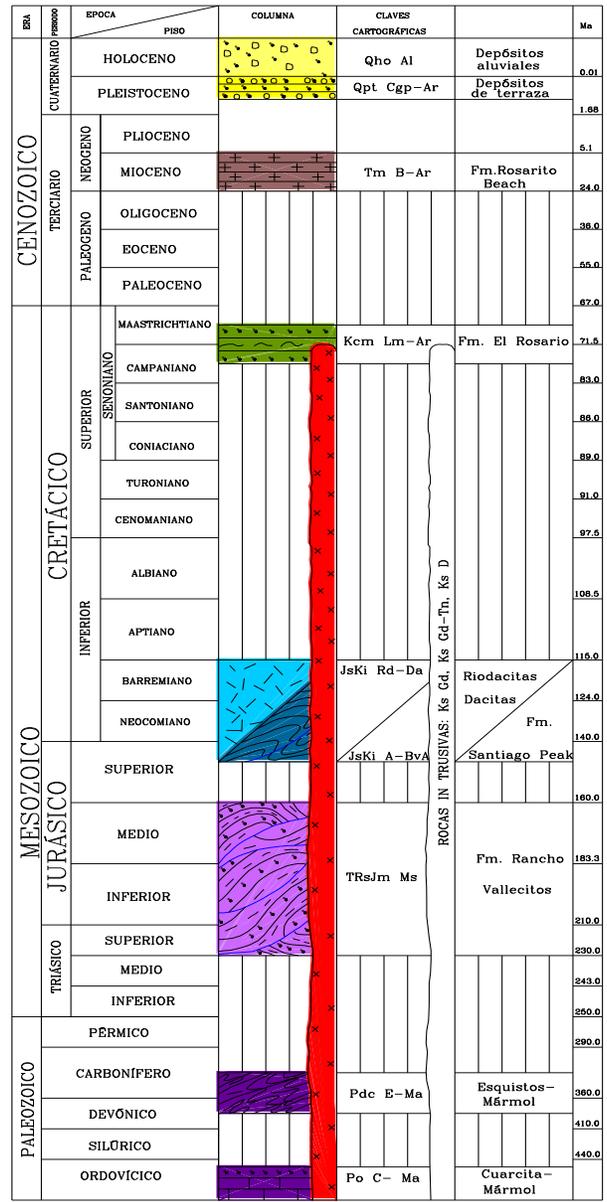


Figura 29. Columna estratigráfica del área de estudio.

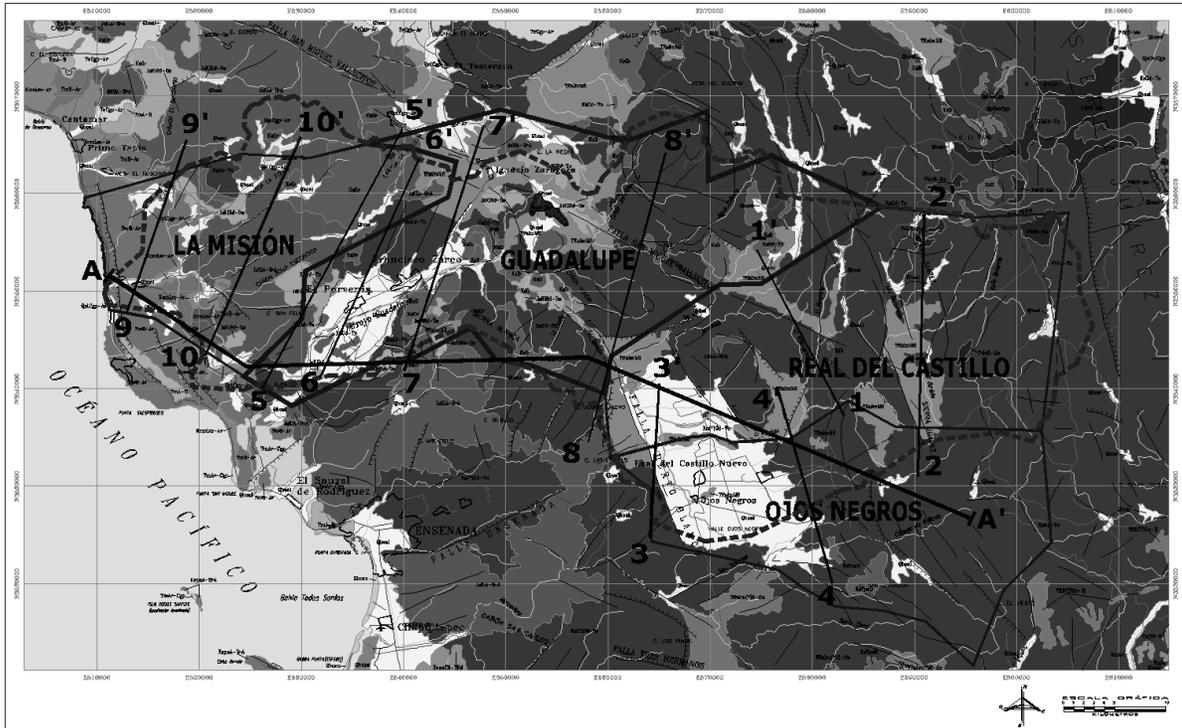


Figura 30. Geología superficial.

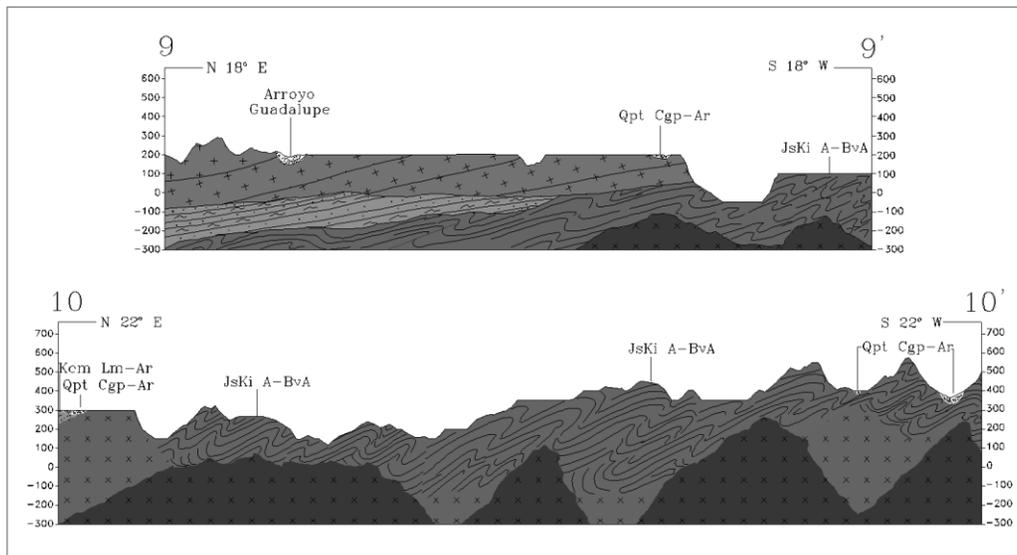


Figura 31. Secciones geológicas en la zona del acuífero La Misión.

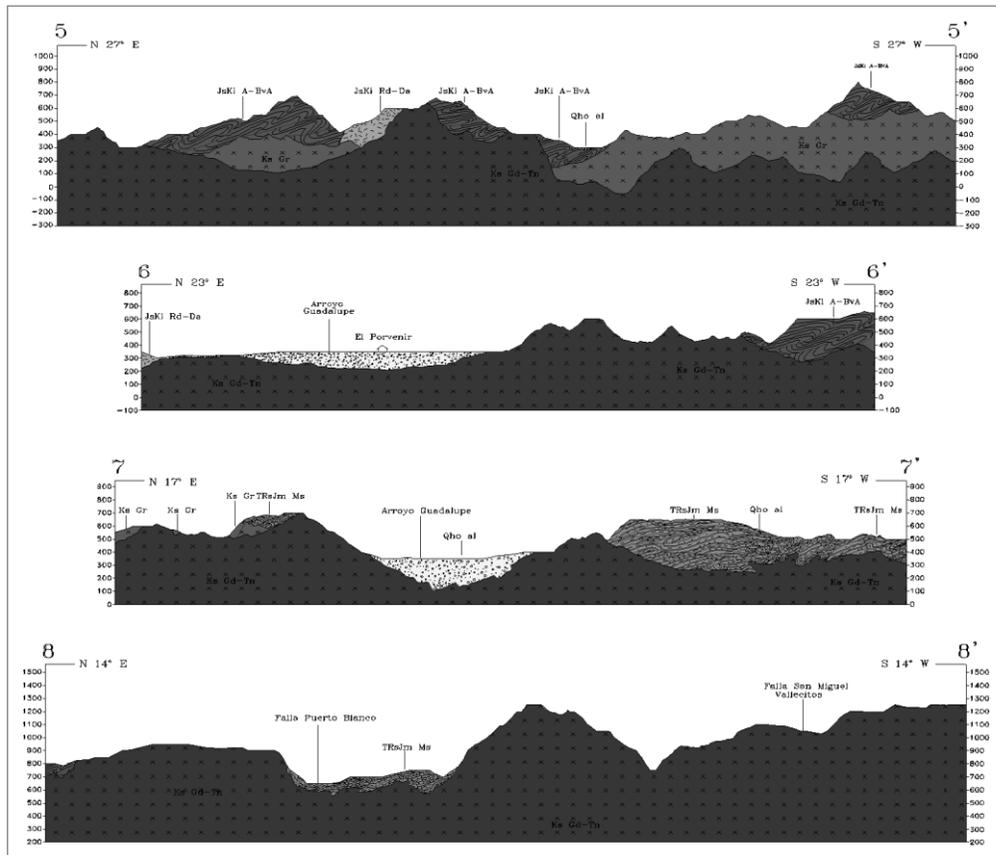


Figura 32. Secciones geológicas en la zona del acuífero Guadalupe.

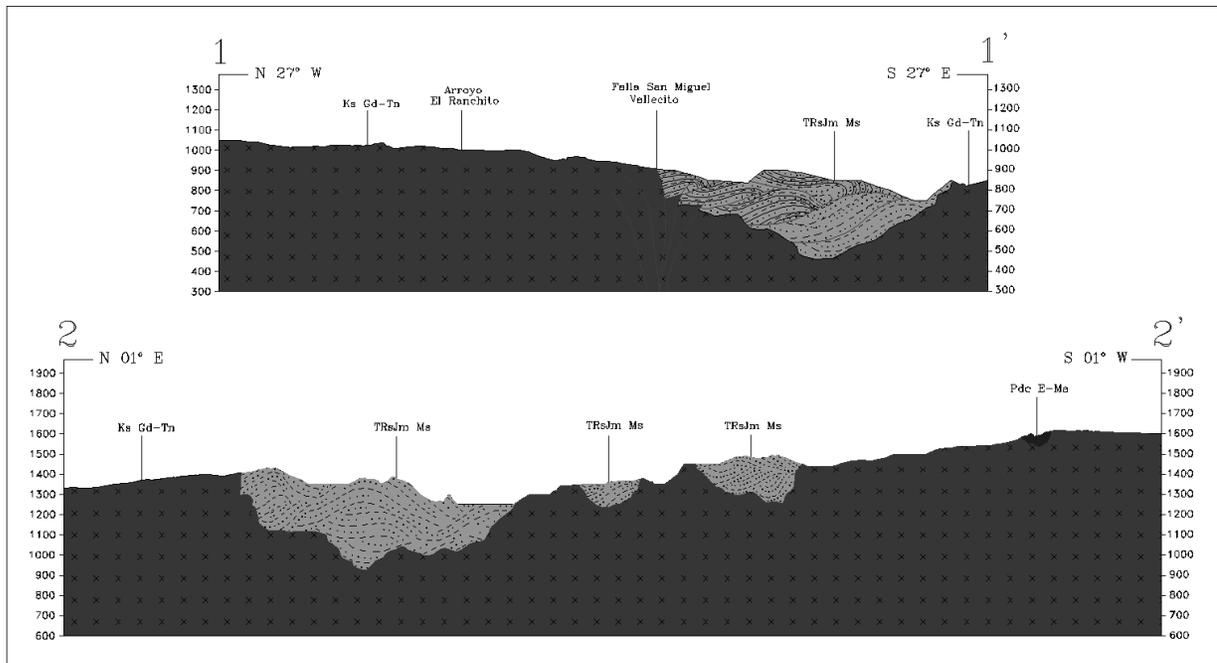


Figura 33. Secciones geológicas en la zona del acuífero Real del Castillo.

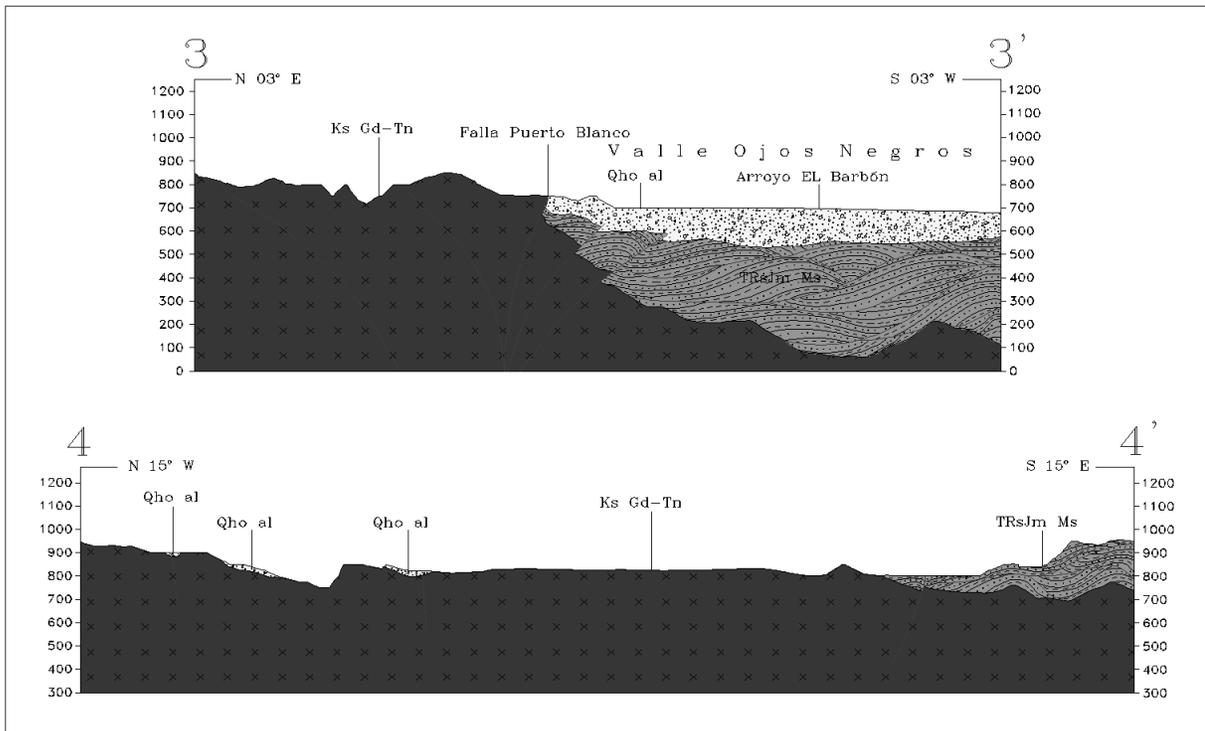


Figura 34. Secciones geológicas en la zona del acuífero Ojos Negros.

PALEOZOICO

Paleozoico Ordovícico Cuarcita-Mármol (PoC-M)

Este término fue utilizado para designar a una serie de rocas metamórficas localizadas en la parte centro-septentrional del área del acuífero Guadalupe. Consisten de una secuencia de cuarcita, mármol con pedernal, estratificadas en capas medias, presentan una incipiente deformación (dúctil) así como un alto grado de fracturamiento.

La edad de estas rocas está dada por la presencia de conodontos, microfósiles asignados al Ordovícico inferior (Gastil *et al.*, 1978). Por otra parte se encuentran cabalgando a las rocas de la Formación Rancho Vallecitos del Triásico superior-Jurásico medio, conformando un bloque alóctono o “klippe”.

Paleozoico Devónico-Carbonífero Esquisto-Mármol (PdcE-Ma)

Se denomina con este nombre a una serie de rocas con metamorfismo regional que se encuentran en afloramientos aislados en los sectores centro oriental y nororiental del acuífero Real del Castillo. Esta unidad está formada por cuerpos tabulares de esquistos,

mármol y cuarcitas, rocas que presentan un metamorfismo regional de bajo grado, así como metamorfismo de contacto, a la fracción calcárea se le han reconocido corales, braquiópodos y conodontos, de tal forma se asignan al Devónico-Carbonífero.

Esta unidad se encuentra intrusionada por las rocas graníticas cretácicas, conformando techos colgantes sobre estas rocas como se puede apreciar en las secciones de la Figura 31 a la Figura 34.

MESOZOICO

Formación Rancho Vallecitos (TRsJm MS)

Nombre propuesto por Gastill *et al.* (1978), para una secuencia flysh de lutitas y areniscas. Se encuentra distribuida a manera de afloramientos aislados en los acuíferos de Guadalupe, Ojos Negros y Real del Castillo.

Consiste de una secuencia clástica de intercalaciones rítmicas de areniscas, lutitas con lentes de caliza marmorizada y conglomerados. Las areniscas son de color verde grisáceo que intemperiza en amarillento, estratificadas en capas medias de 50 cm de espesor, son de grano medio compuestas por cuarzo, feldspatos y fragmentos líticos; las lutitas son de color gris tanto en muestra fresca como intemperizada, están dispuestas en estratos delgados, presentan tacto sedoso y lustre satinado así como una fábrica planar bien desarrollada, lo cual indica que estas rocas presentan un metamorfismo regional de bajo grado de facies esquistos verdes. Por otra parte llegan a manifestar un patrón de fracturamiento continuo así como estructuras sigmoidales (Figura 35).

Al igual que las unidades paleozoicas, se encuentran intrusionadas por las rocas graníticas, las cuales ocasionaron la silicificación de la secuencia. De acuerdo a su posición estratigráfica las rocas de esta unidad se ubican en el Triásico superior-Jurásico medio.



Figura 35. Intercalaciones de areniscas y lutitas deformadas y metamorfozadas.

Jurásico Superior-Cretácico Inferior Andesita-Brecha volcánica andesítica (Jsica-BvA) y Riodacita-Dacita (JsKiRd-Da)

Dentro de esta unidad se agrupó a la secuencia volcánica que varía en composición de la andesita a riodacita y dacita, las cuales se llegan a presentarse silicificadas. Se encuentra distribuida principalmente en el acuífero La Misión, en menor porcentaje y de manera aislada se observan en el acuífero Guadalupe y eventualmente en el de Real del Castillo.

La fracción de andesitas presenta un color verde olivo que intemperiza en amarillo pardusco, se encuentran bastante compactadas, fracturadas y silicificadas, en las inmediaciones de poblado de Francisco Zarco llegan a presentar planos de fallas y fracturas, con superficies escalonadas, indicando que la falla principal es del tipo lateral izquierda (Figura 36).

Además de aflorar, las rocas de esta unidad se encuentran subyaciendo a la secuencia clástica de la Formación Rosario, esto es en el acuífero La Misión, en tanto que en el de Guadalupe y Real del Castillo se encuentran intrusionadas por las rocas graníticas del Batolito Peninsular.



Figura 36. Rocas andesíticas silicificadas y cortadas por planos de falla.

De acuerdo a sus características litológicas se correlaciona parcialmente con la Formación Santiago Peak del sureste de California a la cual se le han realizado dataciones que arrojaron resultados cronológicos de 155 a 119 Ma, estableciendo de tal forma su rango estratigráfico Jurásico Superior-Cretácico Inferior.

Formación Rosario

Las rocas de esta unidad se encuentran aflorando exclusivamente en el área del acuífero La Misión, sobre el cauce del Arroyo Guadalupe, en donde consiste de una secuencia detrítica formada por intercalaciones de capas medias a delgadas de areniscas y limolitas con interdigitaciones de lentes conglomeráticos, se considera que el depósito de esta unidad ocurrió en un ambiente que varió de facies mixtas a marino someras.

La presencia del bivalvo *coralliochama orcutti* y de amonoides dentro de los estratos de areniscas, permite asignar a esta formación una edad Campaniano-Maestrichtiano.

ROCAS ÍGNEAS

Cretácico superior granito (KsGr), granodiorita-tonalita (KsGd-Tn) y diorita (KsD)

Las rocas intrusivas de esta unidad forman parte del batolito peninsular, el cual consiste de una serie de intrusiones múltiples de granito, granodiorita-tonalita y diorita y se encuentran

distribuidas de manera continua en los acuíferos de La Misión, Guadalupe, Ojos Negros y Real del Castillo.

Las granodioritas corresponden con las rocas que presentan una mayor expresión en el terreno, son de color blanco grisáceo con manchas oscuras, intemperiza en tonos amarillentos, presentan una estructura masiva, de textura holocristalina, teniendo como minerales esenciales cuarzo, plagioclasas y de manera accesoria está la biotita; las rocas están bien compactadas, salvo en las áreas en donde el intemperismo es intenso (Figura 40), así como en zonas de falla, en donde el fracturamiento llega a ser tan penetrante que la roca se fragmenta con relativa facilidad (Figura 38).

Su origen está relacionado con la evolución del arco magmático que conformo el batolito peninsular y estuvo en actividad prácticamente en todo el sistema Cretácico (126 Ma a 67 Ma, Krummenacher *et al.*, 1975).

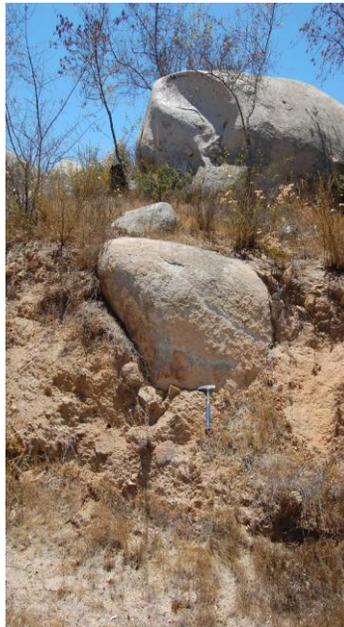


Figura 37. Rocas intrusivas bastante intemperizadas.



Figura 38. Granodioritas de la unidad (KsGd-Tn), mostrando el grado de fracturamiento asociado con una zona de falla. Inmediaciones de Francisco Zarco.

Formación Rosarito Beach (Tm B-Ar)

Nombre para designar una secuencia de basaltos y areniscas, depositados a lo largo de las márgenes de la línea de costa desde San Diego hasta Ensenada, de tal forma sus afloramientos se encuentran ubicados exclusivamente en el acuífero La Misión, hacia su sector occidental.

Esta formación consiste de 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 (representados por estratos de diatomeas). Los basaltos son de color gris oscuro con manchas blancas, e intemperiza en pardo grisáceo con manchas verdosas, presenta una textura porfídica, con fenocristales de plagioclasas, tienen bien desarrollados sus planos de flujo y se encuentran bastante fracturadas (Figura 39).

Se considera que el depósito de las rocas de esta unidad, se formaron en un ambiente fluvio-lacustre, con cambios a costero, bajo el desarrollo de un vulcanismo efusivo a explosivo.

La edad de los basaltos fue determinada por Gastillet *al.* (1978), en donde obtuvo dataciones de 16.1 a 14.6 Ma, las cuales caen dentro del piso Mioceno.



Figura 39. Rocas basálticas de la unidad Tm B-Ar, mostrando planos de flujo y fracturamiento.

CUATERNARIO

Depósitos recientes (QpCgp-Ar, Qhoal)

Se denominaron bajo esta nomenclatura a las unidades cuaternarias de origen continental, formadas a partir del depósito de terrazas continentales, abanicos aluviales y aluvión. Los primeros corresponden con la acumulación de sedimentos provenientes de zonas topográficamente más altas y tienden a configurar mesetas, por otra parte, los sedimentos del aluvión, abarcan tanto los materiales acarreados por las corrientes intermitentes así como los provenientes de abanicos aluviales, formados en la desembocadura de arroyos provenientes de zonas topográficas más altas, de tal forma su acumulación se localiza en las áreas bajas y zonas de planicies.

Los depósitos de terraza afloran en la porción occidental y nororiental del acuífero La Misión y de manera aislada en el sector nororiental del acuífero Guadalupe, en tanto que los materiales aluviales se encuentran distribuidos hacia el sector occidental del acuífero Guadalupe y extremo suroccidental del acuífero Ojos Negros.

Los depósitos aluviales están constituidos por sedimentos detríticos, los cuales sobre el cauce de los arroyos consisten de una secuencia de arenas de grano grueso con interdigitaciones de lentes de arenas gravillentas a conglomeráticas (Figura 40), por otra

parte se considera que la presencia de sedimentos de granulometría más fina (limos y arcillas) se llegan a depositar lateralmente, alejados del cauce principal del arroyo, sin embargo consideramos que la fracción arenosa es la litología que predomina en el relleno de las depresiones que sirvieron como receptáculo de los sedimentos aluviales y fluviales, a los cuales de acuerdo a la información geofísica se les estiman espesores que varían de 60 hasta 240 m en el acuífero Guadalupe, en tanto que en el de Ojos Negros, posiblemente llegue a tener entre 60 a 120 m de potencia.



Figura 40. Sedimentos fluviales arenosos con lentes gravillentos y conglomeráticos. Cauce del Arroyo Guadalupe.

Los materiales que conforman las terrazas consisten de una secuencia de sedimentos clásticos conglomeráticos y arenosos, llegando a alcanzar espesores de 20 a 50 m. ahora bien, tanto los sedimentos de terraza como los del aluvión se encuentran cubriendo discordantemente a las unidades del Mesozoico y son el resultado del intemperismo químico y mecánico de las rocas preexistentes, ocurriendo su depósito en un ambiente netamente continental.

4.3.5. Geología estructural.

Las estructuras que se tienen cartografiadas dentro del área de estudio, son del dominio frágil, corresponden con un sistema de fallas y fracturas cuya orientación varía de noroeste-sureste (NW-SE) a noreste-suroeste (NE-SW), dentro de la cuales las primeras (NW-SE), son de características regionales, en tanto que las segundas son más locales y de menor

longitud, por lo cual se considera que son de carácter secundario, que bien pueden corresponder con fallas antiguas reactivadas durante la dinámica de las fallas principales.

Ahora bien, dentro del análisis de la imagen de satélite, se marcaron los lineamientos principales los cuales corresponden con el patrón de fallamiento y fracturas asociadas que manifiestan las rocas, de igual forma que en el plano geológico, estas estructuras muestran las dos tendencias preferenciales (Figura 41).



Figura 41. Patrón de fallas y fracturas interpretado a partir de la imagen de satélite.

Asimismo, dentro de la interpretación del modelo de elevación se diferenciaron los bloques homogéneos de terreno, resultando una subdivisión de los mismos en dos sentidos NW-SE y NE-SW (Figura 42), este resultado viene también a manifestar que la región estudiada esta seccionada en bloques, los cuales se considera que llegan a tener implicaciones en el comportamiento de los flujos subterráneos a partir de las zonas de recarga.

Dentro de las estructuras principales se tiene a la falla San Miguel Vallecitos, la cual corresponde con una falla lateral derecha que guarda cierto paralelismo con la falla Agua Blanca ubicada al sur de Ensenada. Presenta una longitud de 72 km, atravesando la porción norte de los acuíferos Real del Castillo y Guadalupe, encontrándose orientada en una dirección $N60^{\circ}W$, a lo largo de su traza se encuentra afectando a las rocas mesozoicas intrusivas, vulcanosedimentarias y metamórficas, por otra parte esta falla tiene la particularidad de encontrarse activa registrándose sismos de diferente magnitud en la escala de Richter, en las localidades de Guadalupe 5.7 (1949), San Miguel 6.8 (1956) y Pino Solo 5.0 (1974).



Figura 42. Segmentación de bloques de terreno diferenciados a partir del modelo de elevación del terreno.

Otra estructura que se tiene bien controlada es la falla Puerto Blanco, la cual actúa como el límite occidental de la cuenca Ojos Negros, corresponde con una falla lateral izquierda, cuya traza se puede seguir por espacio de 27 km con un rumbo $N15^{\circ}W$, a lo largo de su trayectoria se encuentra cortando a las rocas intrusivas cretácicas y a la secuencia triásica-jurásica metamorfozada (Figura 43).



Figura 43. Planos de falla en rocas triásicas asociados a la Falla Puerto Blanco.

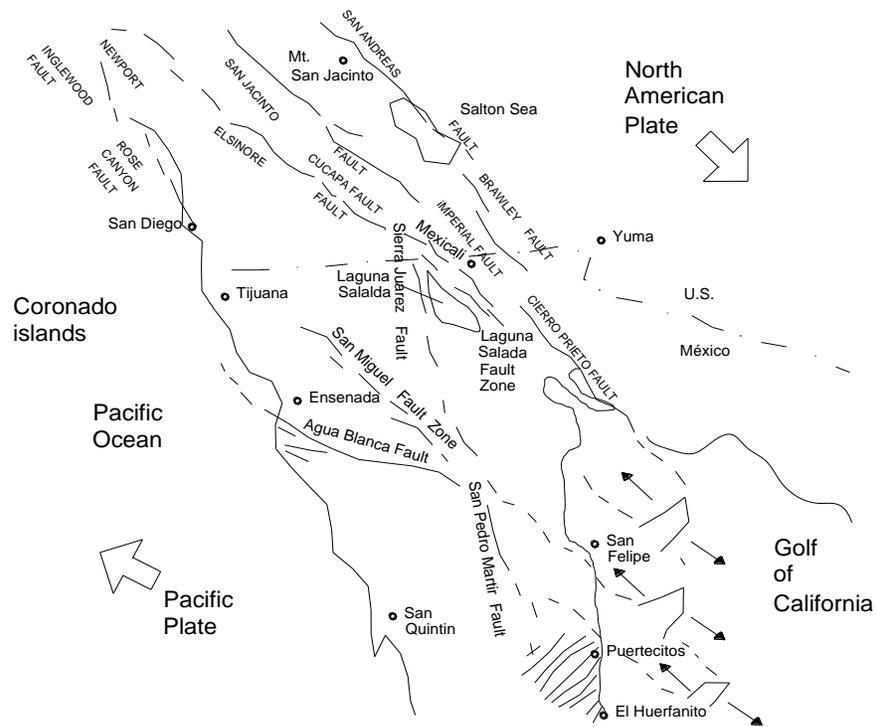


Figura 44. Ambiente tectónico asociado a la apertura del Golfo de California y al desplazamiento de la Baja California hacia el noroeste.

Las depresiones localizadas en los acuíferos de Guadalupe y Ojos Negros, se interpreta que corresponden con cuencas tipo “pull apart”, las cuáles se forman bajo un ambiente tectónico transtensivo, gobernado por la actividad de fallas laterales derechas, las cuales obedecen al movimiento hacia el NW de la placa pacífica, que se está separando de Norteamérica y a la consecuente formación del Golfo de California (Figura 44).

4.3.6. Geología del subsuelo.

Las características del subsuelo de un sector de los diferentes acuíferos se pueden apreciar de manera general en la sección regional A-A', la cual atraviesa a los acuíferos La Misión, Real del Castillo y Ojos Negros en un sentido NW-SE, en tanto que el de Guadalupe, lo corta en un sentido casi EW (Figura 45).

En este transecto se muestra la continuidad que presentan las rocas ígneas del batolito peninsular (KsGr, KsGd-Tn y Ks-D), tanto en superficie como en subsuelo, en donde se interpreta su enraizamiento a profundidad. En lo que respecta a la secuencia de rocas volcánicas (JsKiA-BvA) y metamórficas (TRsJmMS), éstas se muestran intrusionadas por las rocas graníticas y carecen de continuidad tanto lateral como a profundidad, dispuestas a manera de bloques colgantes. La zona de los valles corresponden con cuencas colmatadas de sedimentos detríticos y constituyen el acuífero granular, el cual se considera que llega a tener comunicación hidráulica con los flujos que están circulando sobre las fracturas asociadas con las fallas laterales.

A continuación se realizará una breve descripción de las secciones de los diferentes acuíferos, las cuales tienen por objetivo ilustrar el comportamiento geométrico en subsuelo de las diferentes unidades geológicas.

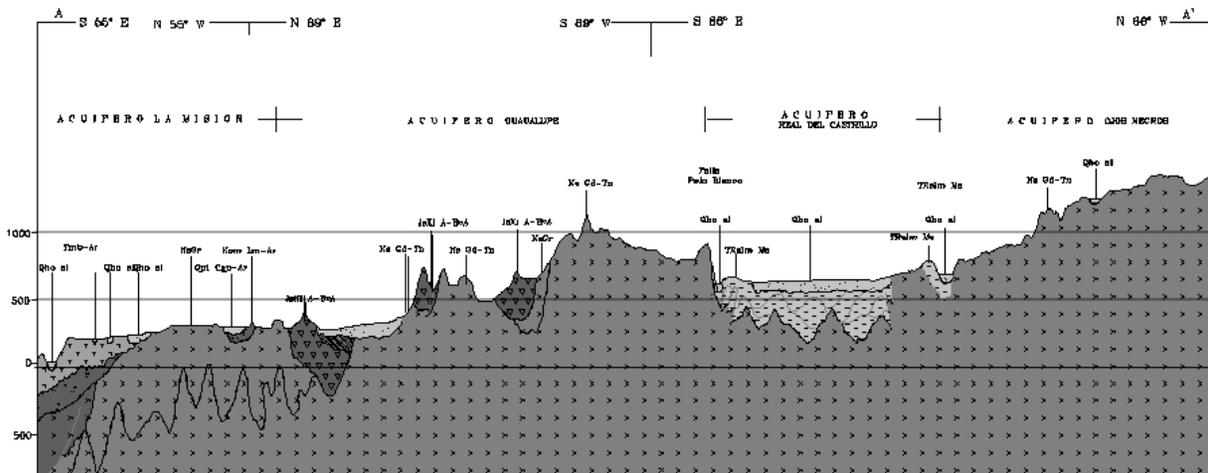


Figura 45. Sección estructural A-A'.

Acuífero Guadalupe

En este acuífero se realizaron cuatro seccionamientos dos hacia sus límites oriental y occidental con los acuíferos Ojos Negros y La Misión, respectivamente y las dos restantes en la zona de los valles, estas secciones se encuentran orientadas en una dirección generalizada NE-SW, y muestran las variaciones litológicas que se tienen en la zona, tanto de sur a norte como de oriente a poniente.

En las secciones 5-5' y 8-8' se tienen a las rocas intrusivas (KsGr, KsGd-Tn) enraizadas en el subsuelo, abarcando gran parte de las zonas superficiales, de tal forma en la sección 5-5' se observan intrusionando a las rocas volcánicas mesozoicas (JsKiA-BvA y Rd-Da), las cuales llegan a profundizarse como máximo 300 m. En la sección 8-8' se tiene un pequeño bloque de rocas triásico-jurásicos (TRsJmMS) de aproximadamente 100 a 200 m de espesor colgado sobre las rocas granodioríticas, asimismo se muestra la disposición de estructuras en flor de las fallas secundarias asociadas con las fallas laterales San Miguel Vallecitos y Puerto Blanco, este sistema de fallas son de importancia, puesto que tienden un comportamiento hidráulico de barrera-conducto, captando trayectorias de flujos subterráneos.

Dentro de la sección 6-6' resalta la presencia de la depresión denominada El Porvenir, la cual está formada sobre el cuerpo batolítico y tiene una forma lenticular con su mayor espesor en la parte central (estimado en más de 100 m), acunándose hacia los extremos, su

relleno consiste principalmente de sedimentos fluviales y en menor proporción los derivados de abanicos aluviales, de tal forma se estima que su granulometría predominante es del tipo arenoso.

Para la sección 7-7' se tienen superficialmente dos bloques de rocas triásico-jurásicas (TRsJmMS), uno expuesto hacia su extremo nororiente y otro de menores dimensiones en su sector suroccidental, ambos colgados sobre las rocas granodioríticas; al igual que en la sección 2-2' se tiene una depresión tectónica denominada en estudios anteriores Calafia (cuenca tipo "pull apart"), esta cuenca tiene una forma triangular y está colmatada por sedimentos granulares, se considera que llega a alcanzar una profundidad máxima superior a los 200 m y posiblemente su substrato se encuentre inestable debido a la cercanía que guarda con la falla San Miguel Vallecitos la cual actualmente está activa.

Finalmente se debe considerar que el patrón de fallas y fracturas asociadas con la falla San Miguel Vallecitos y Puerto Blanco representan flujos potenciales que están circulando por este medio fracturado, el cual se considera que se encuentran comunicados hidráulicamente con el acuífero granular del valle, representando una alimentación constante a la reserva del acuífero.

Cabe señalar que dentro del área de este acuífero, específicamente sobre el cauce del Arroyo Guadalupe, se encuentran explotando bancos de arena, los cuales están localizados hacia las inmediaciones de Francisco Zarco, en un texto que se presenta más adelante se realizarán comentarios al respecto (SEMARNAT, 2001).

4.4. HIDROGEOLOGÍA.

4.4.1. Unidades hidrogeológicas.

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.

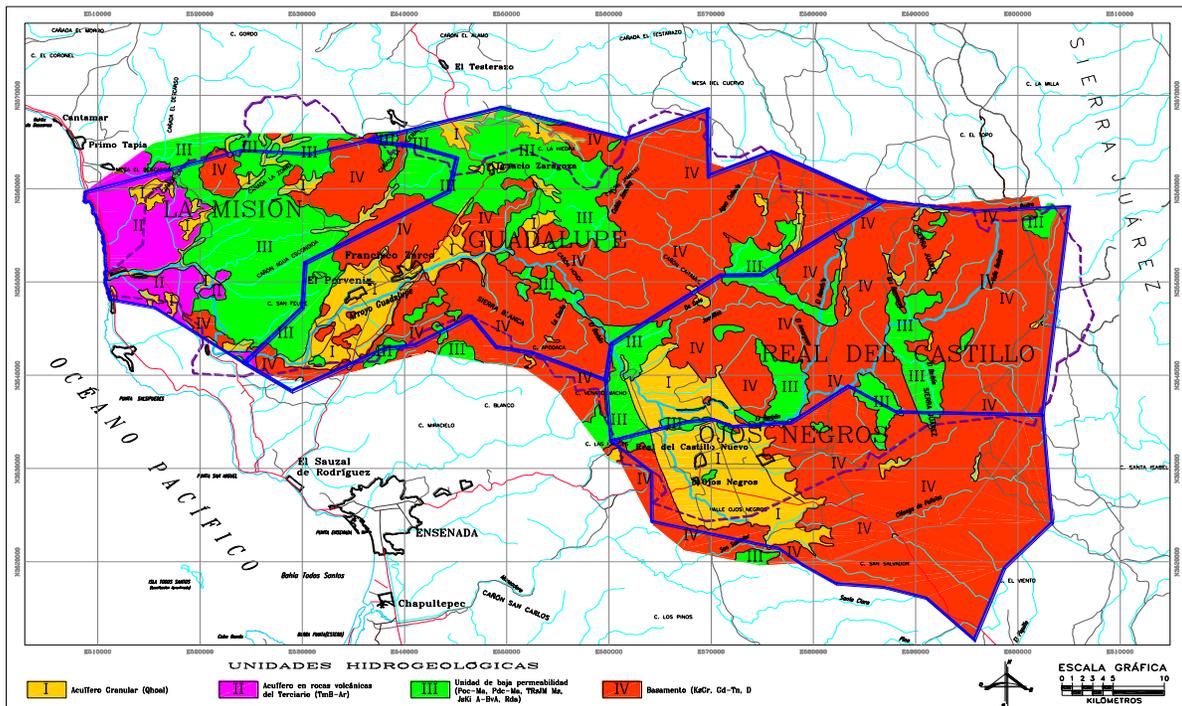


Figura 46. Unidades hidrogeológicas.

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.

La Figura 46 muestra la distribución de las unidades hidrogeológicas en la Cuenca del Arroyo Guadalupe.

4.4.2. Medios por donde circula el agua subterránea.

Medio Poroso

Este medio está 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.

4.4.3. Comportamiento del flujo del agua subterránea en la cuenca del Arroyo

Guadalupe.

Una visión general de la interrelación de los cuatro acuíferos dentro de la Cuenca del Arroyo Guadalupe se describe a continuación, para posteriormente describir con más detalle cada acuífero.

La red de flujo del agua subterránea sigue el patrón mostrado en el modelo de elevación, es decir una serie de bloques que van disminuyendo en altitud desde los acuíferos de Ojos Negros-Real del Castillo, Guadalupe y hasta La Misión, en consecuencia disminuyendo también las elevaciones del nivel estático en este mismo orden (EMETEC S.A. de C.V., 2009).

Un esquema del flujo del agua subterránea se muestra en la Figura 74, donde se puede observar las elevaciones del nivel del agua en los valles de los cuatro acuíferos, Ojos Negros y Real del Castillo (650 m.s.n.m.), Guadalupe (300 m.s.n.m.) y La Misión (20 m.s.n.m.), este solo hecho hace casi imposible una continuidad hidráulica entre las unidades acuíferas, además de encontrarse circundados por rocas ígneas que de no estar fracturadas son impermeables (Medellín, 2009). Además de que la geología de la región indica que las fallas y fracturas tienen distinta alineación en los acuíferos Real del Castillo y Ojos Negros con el de Guadalupe.

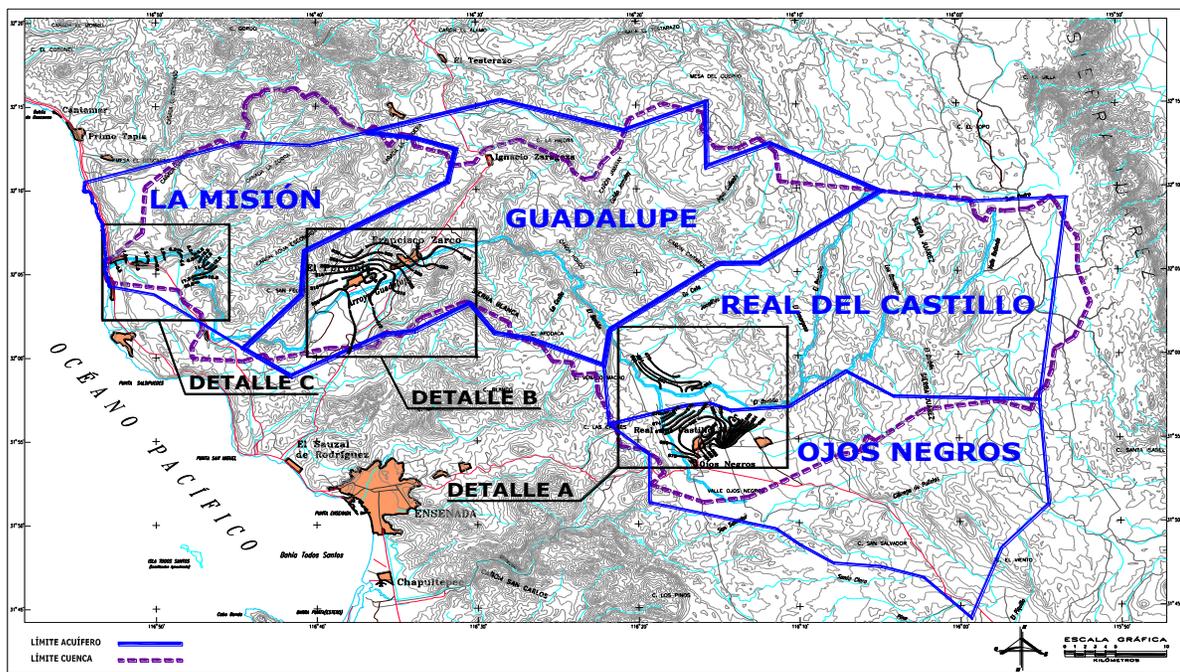


Figura 47. Elevación del nivel estático en los años 1973-1974.

Acuífero Guadalupe

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 esta Figura 48, 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 m.s.n.m.; cerca de 300 m menor que la observada en la garganta localizada al suroeste del límite del acuífero Real del Castillo; 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.

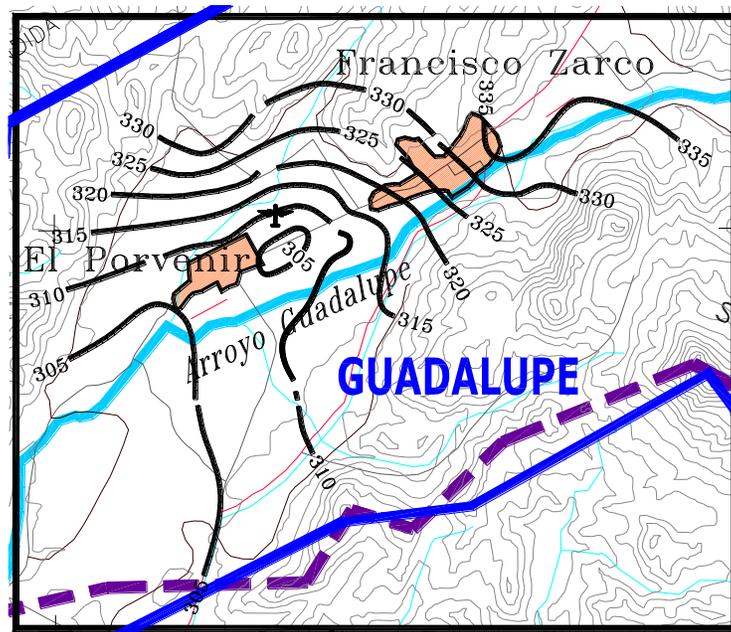


Figura 48. Curvas de igual elevación del nivel estático en 1973. Acuífero Guadalupe.

4.5.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 aún más por efecto de la sobreexplotación de los acuíferos 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 son irrelevantes 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 (Medellín, 2009).

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.

4.6. BALANCE HIDRICO.

A partir de un estudio del balance hídrico es posible hacer una evaluación cuantitativa de los recursos de agua y sus modificaciones por influencia de las actividades del hombre. El conocimiento de la estructura del balance hídrico de lagos, cuencas superficiales y cuencas subterráneas, es fundamental para conseguir un uso más racional de los recursos de agua en el espacio y en el tiempo, así como para mejorar el control y redistribución de los mismos; por ejemplo: trasvases de cuencas, control de máximas crecidas, etc. El balance hídrico ayuda en la predicción de las consecuencias debidas a cambios artificiales en el régimen de ríos, lagos y cuencas subterráneas.

La información que proporciona el balance hídrico de las cuencas de ríos y lagos para cortos periodos de tiempo (estaciones, meses, semanas y días) se utiliza para explotación de embalses y para predicciones hidrológicas. (Sokolov, 1981)

4.6.1. Ecuación del balance hídrico.

El estudio del balance hídrico en hidrología se basa en la aplicación del principio de conservación de masas, expresado en la ecuación de continuidad. Esta establece que, para cualquier volumen arbitrario y durante cualquier período de tiempo, la diferencia entre las entradas y salidas estará condicionada por la variación del volumen de agua almacenada.

En general, el balance hídrico implica mediciones de ambos aspectos, almacenamientos y flujos del agua; sin embargo, algunas mediciones se eliminan en función del volumen y período de tiempo utilizados para el cálculo del balance.

El balance hídrico para cualquier masa de agua y cualquier intervalo de tiempo, en su forma más general, vendrá representado por la siguiente ecuación:

$$P - E - R - G - U - S = 0$$

Donde:

P= Precipitaciones totales.

E=Evapotranspiración.

R=Flujo superficial global.

G=Flujo total sub-superficial.

U=Flujo total subterráneo profundo.

S=Cambios totales en almacenamiento

Para su aplicación a ciertos cálculos, la ecuación del balance hídrico podrá simplificarse o hacerse más compleja, dependiendo de los datos disponibles, del objeto del cálculo, del tipo de masa de agua (cuenca de un río, lago o embalse, etc.), de las dimensiones de la masa de agua, de sus características hidrográficas e hidrológicas, de la duración del balance, y de la fase del régimen hidrológico (crecida, baja crecida) para el cual se calcula el balance hídrico.

4.6.2 Precipitación.

La entrada principal de agua en una zona de estudio es la precipitación, la medición de éste parámetro forma el punto de partida de la mayor parte de estudios concernientes al uso y control del agua.

En México los aparatos más usuales para medir la precipitación son los pluviómetros y los fluviógrafos, para el desarrollo del presente trabajo se obtuvieron datos de precipitación de las estaciones climatológicas distribuidas a lo largo del área de la zona de estudio.

La cantidad de agua que precipita por unidad de tiempo en una superficie determinada se define como intensidad, la cual representa un parámetro importante que favorece o desfavorece la infiltración según el grado de intensidad del evento.

4.6.3. Evapotranspiración.

Evaporación.

La evaporación es el agua perdida en forma de vapor por el terreno adyacente a la planta, por la superficie del agua o por la superficie de las hojas de las plantas. Los factores que

afectan la evaporación de una superficie libre de agua son principalmente climáticos y la naturaleza de la superficie evaporante.

Puesto que la evaporación es un proceso de intercambio de energía, se puede decir que el factor más importante que influye sobre ella es la radiación solar y por consiguiente también variará de acuerdo a la latitud, la estación del año, la hora del día y las condiciones de nubosidad. Otros factores que también influyen son: la temperatura del aire, la presión de vapor, el viento y posiblemente hasta la presión atmosférica.

Transpiración.

Las plantas pierden agua en forma de vapor a través de un proceso llamado transpiración. Después de que las raíces extraen el agua del suelo, pasa a lo largo del xilema hasta llegar a las células del mesófilo de las hojas. Una parte de la superficie epidérmica de la hoja está constituida por un gran número de poros llamados estomas. Los poros estomáticos se abren a los espacios intercelulares de la hoja y al medio externo. Además de la transpiración estomática existe otra en la que el agua se pierde también en forma aparte de la transpiración estomática existe otra en la que el agua se pierde en forma de vapor a través de la epidermis.

El número de estomas en la hoja varía mucho de una especie a otra, pero para una variedad dada es igual por unidad de área.

Realmente no se puede decir cuánta agua pierde una planta al día, pues depende por completo de las condiciones climáticas. Los cuatro factores climáticos principales son: viento, humedad atmosférica, temperatura y radiación solar.

Evapotranspiración.

La evapotranspiración, es la cantidad de agua utilizada por las plantas para realizar sus funciones de transpiración, más el agua que se evapora de la superficie del suelo en el cual se desarrolla.

Thornthwaite (1944) introdujo el concepto de Evapotranspiración Potencial, la cual se define como la evapotranspiración que se produciría si la humedad del suelo y la cobertura vegetal estuvieran en condiciones óptimas. Debido a que los cultivos normales en pocas ocasiones se encuentran en circunstancias óptimas, se maneja el concepto de Evapotranspiración Real.

Existen numerosas fórmulas y procedimientos de cálculo, teóricas o semiempíricas, para evaluar este parámetro. Incluyen valores de temperatura, radiación solar, velocidad del viento, tensión de vapor, etc.

Cuadro 3. Ecuaciones para la estimación de la evapotranspiración.

Ecuación	Medidas necesarias	Otros datos
Thornthwaite	Temperatura	De la latitud a través de tablas de determina el # teórico de horas sol
Blanney-Cridle	Temperatura	De la latitud a través de tablas de determina el # teórico de horas sol, Coeficiente que depende del cultivo
Turc	Temperatura	De las horas sol se obtiene la radiación global incidente (cal/cm ² día) por formula
	Horas reales del sol	
Penman	Temperatura	Por tablas se obtiene datos necesarios

Los procedimientos para estimar la evapotranspiración, pueden clasificarse en Métodos Directos y Métodos Indirectos.

Los primeros proporcionan directamente el consumo total del agua requerida, utilizando para ello aparatos e instrumentos para la determinación. Los segundos en forma indirecta obtienen una estimación de agua a través de todo el ciclo vegetativo, mediante la utilización de fórmulas empíricas.

Cabe aclarar que la mayoría de las fórmulas empíricas en uso, que sirven para estimar el uso consuntivo de los cultivos y que utilizan datos meteorológicos, se basan en una primera estimación de la evaporación potencial y luego en ajuste mediante ciertos coeficientes previamente obtenidos en la zona, para cada cultivo y otras condiciones variantes que afectan el uso consuntivo.

Método de Blaney y Criddle.

Estos autores desarrollaron una fórmula en el oeste de Estados Unidos, en la que hacen intervenir la temperatura media mensual y el porcentaje de horas luz por mes con respecto al total anual. Originalmente los autores diseñaron el método para estimar la evapotranspiración real total de los cultivos y su fórmula es:

$$E_t = KF$$

Donde:

E_t = Evaporación real total del cultivo expresado como lámina, cm.

K = Coeficiente total de ajuste que depende del cultivo y de la ubicación de la zona de estudio.

$$F = \sum_i^n f_i$$

Donde.

$$f = \left(\frac{t + 17.8}{21.8} \right) P$$

4.6.4. Flujo superficial global.

El flujo superficial global está dado por el escurrimiento superficial que se define como el agua proveniente de la precipitación que circula sobre la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida del acuífero. El agua proveniente de la precipitación que llega hasta la superficie terrestre una vez que una parte ha sido interceptada y evaporada sigue diversos caminos hasta llegar a la salida de la cuenca. Conviene dividir estos caminos en tres clases: escurrimiento superficial, escurrimiento subsuperficial y escurrimiento subterráneo. (Aparicio, 1992).

Es sumamente común que no se cuente con registros adecuados de escurrimiento en el sitio de interés para determinar los parámetros necesarios para el diseño y operación de obras hidráulicas. En general, los registros de precipitación son más abundantes que los de escurrimiento y, además, no se afectan por cambios en la cuenca, como construcción de obras de almacenamiento y derivación, talas, urbanización, etc. Por ello, es conveniente contar con métodos que permitan determinar el escurrimiento superficial en una acuifero mediante las características de la misma y la precipitación. Las características del acuifero se conocen por medio de planos topográficos y de uso de suelo, y la precipitación a través de mediciones directas en el caso de predicción de avenidas frecuentes.

Los principales parámetros que intervienen en el proceso de conversión de lluvia a escurrimiento son los siguientes:

- Área de la cuenca.
- Altura total de precipitación.
- Características generales o promedio de la cuenca (forma, pendiente, vegetación, etc.).
- Distribución de la lluvia en el tiempo (intensidad).
- Distribución en el espacio de la lluvia y de las características de la cuenca.

Debido a que, por un lado, la cantidad y calidad de la información disponible varían grandemente de un problema a otro y a que, por otro, no siempre se requiere la misma precisión en los resultados, se han desarrollado una gran cantidad de métodos para analizar la relación lluvia-escurrimiento.

4.6.5. Flujo total sub-superficial.

Una parte del agua de precipitación que se infiltra escurre cerca de la superficie del suelo y más o menos paralelamente a él. A esta parte del escurrimiento se le llama escurrimiento subsuperficial.

El escurrimiento sub superficial puede ser casi tan rápido como el superficial o casi tan lento como el subterráneo, dependiendo de la permeabilidad de los estratos superiores del

suelo; por ello es difícil distinguirlo de los otros dos. Cuando es relativamente rápido se le trata junto con el escurrimiento superficial, y cuando es relativamente lento se le considera parte del subterráneo.

4.6.6. Flujo total subterráneo profundo.

La parte de la precipitación que se infiltra hasta niveles inferiores al freático, se denomina escurrimiento subterráneo. El escurrimiento subterráneo es el que de manera más lenta llega hasta la salida del acuífero (puede tardar años en llegar), y, en general, difícilmente se le puede relacionar con una tormenta particular, a menos que el acuífero sea demasiado pequeño y su suelo muy permeable. Debido a que se produce bajo el nivel freático, es el único que alimenta a las corrientes cuando no hay lluvias y por eso se dice que forma el escurrimiento base.

4.6.7. Cambios totales en almacenamiento.

Se denominan almacenamientos superficiales aquellos cuerpos de agua que permiten la captación de agua de lluvia para su aprovechamiento, éstos pueden ser naturales, tales como lagos, o artificiales, como presas.

4.7. *CONDICIÓN ACTUAL DEL ACUÍFERO.*

El acuífero consiste de al menos dos niveles activos; uno somero y otro profundo o principal, conectados por una infiltración de aguas de recarga (lluvia depositada en las laderas de chaparral, por infiltración en las laderas o por escorrentías en las cañadas laterales cuando la precipitación es superior a la media).

Anteriormente, el acuífero profundo se encontraba saturado y la extracción operaba solamente sobre el acuífero superficial, principalmente por norias o alumbramientos someros y por los cultivos de temporal, de esta forma el volumen extraído podía reponerse en un ciclo de lluvias promedio.

Con la creciente colocación de pozos profundos, actualmente se extrae una cantidad de agua mucho mayor directamente del acuífero inferior, la infiltración profunda resulta insuficiente para reabastecer esas reservas y los niveles de agua se abaten progresivamente.

El problema se intensifica debido a la separación existente entre los acuíferos superficial y principal por fracciones de capas relativamente impermeables que inhiben la infiltración y reposición del acuífero principal, por lo que una avenida considerable de lluvias, aún con escorrentías del Río Guadalupe no influye directamente en el restablecimiento del acuífero profundo. Considerando la diferencia de espesor de la capa freática (más de 20 m) y las 10 mil ha del Valle, entonces se presume un déficit mayor a 2,000 Mm³ ocasionado por las condiciones extraordinarias de la sequía y la sobreexplotación del acuífero, ver Cuadro 4.

Cuadro 4. Balance hídrico del acuífero.

Unidad hidrogeológica	Guadalupe (Mm³)
Recarga anual	23.90
Descarga natural comprometida	0.00
Volumen concesionado de aguas subterráneas	43.367726
Volumen de extracción consignado en estudios técnicos	19.90
Disponibilidad media anual de agua subterránea	0.00
Déficit	-19.467726

La extracción actual se divide en tres partes similares: a) Aporte de agua para la Cd. de Ensenada; b) Extracción para los viñedos intensivos; c) Suma de extracciones de todas las demás actividades en el Valle. Cualquiera de ellas equivale a la sobre extracción del acuífero, por lo que la suspensión de una de ellas restablecería el equilibrio del acuífero (Waller, 2009). En la Figura 49 se presenta la proporción en la cual es distribuida el agua en el Valle de Guadalupe.

Finalmente, cabe mencionar que la concentración de sales en las pozas de extracción de arena del acuífero, superiores a 7,000 ppm, al igual que las concentraciones de iones, incluyendo los nitratos en la región centro-occidental de la cuenca, superan los límites de las normas oficiales para aguas destinadas al consumo humano, y dada la intensa extracción de agua para la ciudad de Ensenada, se hace urgente la realización del estudio que proporcione de manera integral una visión de la problemática a la que se enfrentan los habitantes y empresarios de la Región del Valle de Guadalupe, sentando bases firmes en la planeación de estrategias encaminadas a una solución real del problema en su totalidad.

Una investigación reciente del acuífero del Valle de Guadalupe es la de Campos y Kretzschmar (2008), quienes desarrollaron un modelo del flujo de agua subterránea para estudiar el comportamiento del nivel freático y evaluar distintas alternativas de manejo del agua subterránea a futuro en el Acuífero del Valle de Guadalupe, Baja California, México.

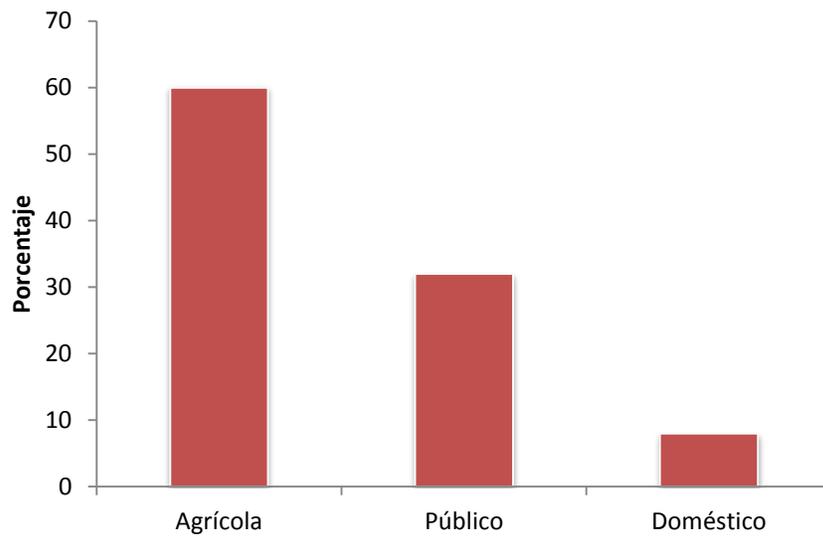


Figura 49. Distribución del uso del agua.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología utilizada se dividió en 4 etapas fundamentales: elaboración del Sistema de Información Geográfica, estimación de la descarga del Acuífero, Balance Hídrico y Análisis químico del suelo y agua en el Valle, mismas que se describen a continuación.

5.1. ELABORACIÓN DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.

Para la elaboración del Sistema de Información Geográfica del Acuífero del Valle de Guadalupe, Municipio de Ensenada, B.C., se desarrollaron las siguientes actividades:

- Se adquirieron imágenes del Satélite SPOT, pancromáticas con una resolución de 2.5 m correspondientes al lugar, en este caso del Estado de Baja California, con escala 1:20,000 similar a las ortofotos del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Dichas imágenes se procesaron e integraron en un mosaico para ser manejadas en el Programa de Sistema de Información Geográfica ArcView versión 3.2.
- Los planos topográficos de la zona se contrastaron y georreferenciaron con un Modelo de Elevación Digital (MED) desarrollado a partir de la información de INEGI, misma que produce dos tipos de datos altimétricos para la República Mexicana, los Modelos Digitales de Terreno en escala 1:50,000 y los Geomodelos de Altimetría del Territorio Nacional en escala 1:250,000 (GEMA), los primeros, son mallas regulares a cada 50 metros en proyección UTM. Estos modelos constan de un archivo de elevaciones y otro de documentación, por lo que es muy fácil importarlos a cualquier SIG. Los segundos son mallas regulares a cada 3 segundos de arco, de aproximadamente 90 m., y se encuentran en 255 archivos. En estos archivos, las elevaciones se encuentran compactadas y por lo tanto no es posible importarlas de manera directa a ningún Sistema de Información Geográfica (SIG), ya que se requiere un proceso previo de conversión. Esta información fue procesada mediante el programa SIGMA del Colegio de Postgraduados.
- Los planos de catastro actualizados se georreferenciaron a partir del mosaico fotogramétrico, ubicando toda la información de interés: Aprovechamientos, parcelas, poblados, ríos, red de carreteras, caminos, cuerpos de agua, entre otros.

- Se llevaron a cabo diversos recorridos en los que se georreferenciaron todas las obras e instalaciones, que con la ayuda de levantamientos de campo previos e imágenes de satélite sirvieron de base en la delimitación de los predios agrícolas.
- La digitalización tanto de parcelas, poblados, caminos, cuerpos de agua ríos y demás información que constituyen al Sistema de Información Geográfica, además de la alimentación de la base de datos relacional, se fue llevando a cabo de manera paralela durante los recorridos y recopilación de la información existente en el Valle de Guadalupe.

5.2. ESTIMACIÓN DE LA DESCARGA DEL ACUÍFERO.

5.2.1. Aprovechamientos Hidráulicos.

Para determinar de manera cuantitativa el nivel de descarga del acuífero, mediante un primer recorrido, se realizó la identificación de los aprovechamientos hidráulicos existentes en la región del Valle de Guadalupe, localizando y geoposicionando con ayuda del GPS, tomando como base la información contenida en el Censo de aprovechamientos del Valle de Guadalupe, proporcionado por el Comité Técnico de Aguas Subterráneas del Valle de Guadalupe (COTAS), elaborado por la CONAGUA en el año 2006.

Posteriormente, para cada aprovechamiento localizado e incorporado al Sistema de Información Geográfica, se recopiló información concerniente a su nivel estático (791 aprovechamientos) y dinámico (495 aprovechamientos), características eléctricas de los equipos de bombeo, a fin de calcular las eficiencias electromecánicas, y la relación consumo de energía-extracción del agua. Del mismo modo, se realizó el aforo de 541 equipos, de los cuales se obtuvieron sus volúmenes de extracción.

5.2.2. Modelo conceptual.

Básicamente el modelo conceptual de funcionamiento elaborado para el acuífero del Valle de Guadalupe presenta la interpretación conjunta de las características geológicas, geoquímicas e hidrodinámicas de la región, de manera que se ha descrito en forma general su funcionamiento a través del desarrollo cualitativo de algunos elementos tales como

geometría general del acuífero, características hidrodinámicas, condiciones climatológicas, forma de recarga, forma de descarga y, condiciones de funcionamiento antes y después del inicio de la explotación.

5.2.3. Piezometría regional del acuífero Guadalupe.

A pesar de que en el acuífero del Valle de Guadalupe se dispone de información de niveles de agua subterránea para diferentes años, no se cuenta con una identificación clara de los pozos existentes, de modo que el seguimiento no resulta confiable. Así, para el presente trabajo se utilizó información proporcionada por el COTAS Acuífero Guadalupe, consistente en un listado que data del año 1972.

Dicha información, también carece de continuidad y se encuentra incompleta; sin embargo, esta lista si se considera 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 contemplaron 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 GPS, tomando como referencia algunas altitudes del terreno ya conocidas.

De la información piezométrica, se realizó en primer lugar una revisión, a efecto de dar validez a la misma y posteriormente elaborar hidrógrafos con datos históricos desde el año 1972 hasta 2009.

Con base en la primera 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 como final de la calibración.

5.2.4. Profundidad del nivel estático acuífero Guadalupe.

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.

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 adecúe con mayor información, de tal manera que no se tenga que esperar del orden de otros 30 años para su recalibración y así disponer cada vez de una herramienta que permita proponer opciones de manejo adecuado del acuífero en estudio.

Es importante también manifestar que para poder efectuar la simulación del acuífero es necesario que dentro de las condiciones iniciales se cuente con información de la explotación del mismo, al respecto no se cuenta con una información detallada de las extracciones para años anteriores a 1990, e incluso para esta fecha, que es más reciente, donde se estimó con base en la información disponible de esa época, como son las imágenes de satélite que permitan cuantificar superficies de riego.

Como resultado, se elaboraron mapas de igual profundidad del nivel estático de los años 1990 y 2009, para hacer un comparativo de la evolución de los niveles estáticos en el Valle después de 19 años.

5.2.5. Elevación del nivel estático 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 del Google Earth. 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.

5.2.6. 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 dos configuraciones con curvas de igual evolución del nivel estático una para el periodo 1990-2009 y otra para el periodo 2001-2009.

5.3. BALANCE DEL ACUÍFERO.

5.3.1. Ecuación del balance hídrico.

Para determinar el balance hídrico de la zona de estudio se empleó la siguiente ecuación:

$$P - E - R - G - U - S = 0$$

Donde:

P= Precipitaciones totales.

E=Evapotranspiración.

R=Flujo superficial global.

G=Flujo total sub-superficial.

U=Flujo total subterráneo profundo.

S=Cambios totales en almacenamiento

5.3.2 Balance hídrico del acuífero.

En general la ecuación del balance hídrico del acuífero se compone del análisis de las entradas así como de las salidas del mismo, las cuales se pueden expresar mediante la siguiente ecuación.

$$S = P - E - R - G - U$$

Se calculó el balance global del acuífero mediante la determinación de las entradas verticales así como horizontales al acuífero.

5.3.3 Entradas verticales.

Las entradas verticales se determinaron a través del balance superficial del acuífero mediante la siguiente ecuación.

$$0 = P - E - R - I_f$$

Donde:

If= Infiltración

La infiltración, a su vez se determinó como sigue:

$$I_f = P - E - R$$

Dado que no se detectaron almacenamientos superficiales en la zona de estudio, $S=0$.

Finalmente las entradas verticales totales al acuífero se calcularon empleando la siguiente ecuación:

$$E_v = I_f + E_r$$

Donde:

E_r = Entradas de retorno

Se consideró el componente de entradas de retorno ya que se supone que: del agua que se extrae del acuífero para uso urbano o agrícola una cantidad de ésta regresa al acuífero. A continuación se describe el cálculo de los componentes: precipitación, evapotranspiración y flujo superficial global para las entradas verticales.

Precipitación.

Para determinar la cantidad de agua aportada al sistema por la precipitación se consultaron los datos climatológicos de lluvia en las estaciones localizadas dentro del área de estudio.

La precipitación media anual del área de estudio se determinó como el promedio de los datos de cada una de las estaciones consultadas. Así el volumen llovido se determinó:

$$V_{ll} = A \times P$$

Donde:

V_{ll} =Volumen llovido.

A =Área del acuífero.

P =Precipitación media anual en el acuífero.

A través del trazo de polígonos de Thiessen, se estimó el área de influencia de cada estación climatológica consultada para así calcular la precipitación media en el área de estudio.

$$P_m = \frac{\sum(P \times S)}{S_T}$$

Donde:

P_m =Precipitación media del área de estudio.

P =Precipitación media de la estación correspondiente a cada polígono trazado.

S =Superficie de correspondiente a cada polígono de trazado.

S_T =Superficie del área del acuífero Guadalupe.

Evapotranspiración.

Los procedimientos para estimar la evapotranspiración, pueden clasificarse en Métodos Directos y Métodos Indirectos.

Los primeros proporcionan directamente el consumo total del agua requerida, utilizando para ello aparatos e instrumentos para la determinación. Los segundos en forma indirecta obtienen una estimación de agua a través de todo el ciclo vegetativo, mediante la utilización de fórmulas empíricas.

Cabe aclarar que la mayoría de las fórmulas empíricas en uso, que sirven para estimar el uso consuntivo de los cultivos y que utilizan datos meteorológicos, se basan en una primera estimación de la evaporación potencial y luego en ajuste mediante ciertos coeficientes previamente obtenidos en la zona, para cada cultivo y otras condiciones variantes que afectan el uso consuntivo.

En el presente trabajo se emplea el método de Blaney y Criddle para determinar la evapotranspiración de la zona de estudio. Originalmente los autores diseñaron el método para estimar la evapotranspiración real total de los cultivos y su fórmula es:

$$E_t = KF$$

Donde:

E_t = Evaporación real total del cultivo expresado como lámina, cm.

K = Coeficiente total de ajuste que depende del cultivo y de la ubicación de la zona de estudio.

$$F = \sum_i^n f_i$$

Donde.

$$f = \left(\frac{t + 17.8}{21.8} \right) P$$

Flujo superficial global.

El flujo superficial global está dado por el escurrimiento superficial que se define como el agua proveniente de la precipitación que circula sobre la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida del acuífero.

Para el presente trabajo se obtuvo el volumen escurrido a través de un coeficiente de escurrimiento “ C_e ” determinado a partir de porcentajes de cobertura vegetal presentados en

la zona de estudio. A continuación se muestra la expresión a partir de la cual se determinó el valor de C_e .

Para $K \leq 0.15$

$$C_e = \frac{K(P - 250)}{2000}$$

Donde:

K = Coeficiente de cobertura vegetal (de tablas).

P = Precipitación media anual en metros.

Para $K > 0.15$

$$C_e = \frac{K(P - 250)}{2000} + \frac{(K - 0.15)}{1.5}$$

El valor del coeficiente “ K ” se seleccionó de tablas a partir de la cobertura y tipo de suelo presente en la zona de estudio. Dichas tablas corresponden a la NOM-011-CNA-2000. Conocido el coeficiente de estudio se calculó el volumen de escurrimiento superficial como se muestra a continuación:

$$V_{Es} = C_e \times V_{ll}$$

Donde:

V_{Es} =Volumen de escurrimiento superficial.

C_e =Coeficiente de escurrimiento.

V_{ll} =Volumen llovido.

5.3.3 Entradas horizontales

Las entradas horizontales se definen como el flujo horizontal que ingresa al acuífero proveniente de acuíferos adyacentes, a través de flujos sub-superficiales o subterráneos profundos, el cálculo de este componente requiere de un estudio profundo de la estructura y forma de las fronteras entre un acuífero y otro.

Flujo total sub-superficial.

Una parte del agua de precipitación que se infiltra escurre cerca de la superficie del suelo y más o menos paralelamente a él. A esta parte del escurrimiento se le llama escurrimiento subsuperficial.

El flujo subsuperficial de acuíferos adyacentes pueden representar una recarga al acuífero, sin embargo dada las condiciones de frontera del acuífero Guadalupe se considera ésta entrada como nula.

Flujo total subterráneo profundo.

La parte de la precipitación que se infiltra hasta niveles inferiores al freático, se denomina escurrimiento subterráneo. El escurrimiento subterráneo es el que de manera más lenta llega hasta la salida del acuífero (puede tardar años en llegar), y, en general, difícilmente se le puede relacionar con una tormenta particular, a menos que el acuífero sea demasiado pequeño y su suelo muy permeable. Debido a que se produce bajo el nivel freático, es el único que alimenta a las corrientes cuando no hay lluvias y por eso se dice que forma el escurrimiento base.

5.3.4. Cambios totales en almacenamiento.

En la zona de influencia del acuífero Guadalupe no se presentan almacenamientos superficiales, por lo que se considera el cambio total del almacenamiento como el balance global del acuífero, así finalmente el balance global se determinó con la ecuación:

$$S = E_v + E_h - S_v - S_h$$

Donde

E_h = Entradas horizontales dadas por el flujo subterráneo profundo.

S_v =Salidas Verticales.

S_h =Salidas horizontales.

Salidas horizontales del acuífero.

Las salidas horizontales del acuífero, análogamente a las entradas horizontales, se consideran como los flujos de agua subterráneos del acuífero en estudio a un acuífero adyacente o simplemente su transporte subterráneo a otras zonas ajenas al mismo acuífero, para nuestra zona de estudio éstas se consideró como cero, ya que no se presentan salidas horizontales dadas las características del acuífero Guadalupe

Salidas verticales.

Las salidas verticales del acuífero se determinaron a través del cálculo de las descargas, naturales o artificiales del mismo, es decir por actividades agrícolas, industriales o para consumo humano. Éste dato se obtuvo a través del censo de las extracciones del acuífero.

5.4. ANÁLISIS QUÍMICO DEL SUELO Y AGUA EN EL VALLE.

Se realizó una colecta de 29 muestras de suelo compuestas (5 submuestras por muestra compuesta) de 0-20 cm de profundidad a lo largo del cauce del arroyo de Guadalupe con una separación aproximada de 1 km entre cada una de ellas.

Además se colectaron 119 muestras compuestas de suelo (5 submuestras por muestra compuesta) de 0-20 cm de profundidad en sitios con actividad agropecuaria (agostaderos y producción de cultivos) dentro del Valle de Guadalupe, aproximadamente una muestra por kilómetro cuadrado. Complementariamente se colectaron 20 muestras compuestas de suelo (5 submuestras por muestra compuesta) de 0-20 cm de profundidad en sitios sin actividad agropecuaria.

Una vez colectadas las muestras de suelo fueron secadas al aire y a la sombra para posteriormente molerlas y pasarlas por un tamiz de 2 mm de abertura.

Los análisis químicos y físicos de cada una de las muestras de suelo colectadas se efectuaron en el Laboratorio de Ciencias Ambientales del Colegio de Postgraduados, determinando los siguientes parámetros: textura (bouyoucos); capacidad de campo y punto de marchitez permanente (membrana y olla de presión); pH (relación suelo:agua 2:1);

conductividad eléctrica (relación suelo:agua 5:1); bases intercambiables (calcio, magnesio, sodio y potasio); capacidad de intercambio catiónico (Acetato de amonio pH 7, 1 N), materia orgánica (Walkley & Black); nitrato y amonio (KCl 2N); fósforo (Olsen); hierro, zinc, manganeso y cobre (DTPA), boro. En el extracto de pasta de saturación se analizó pH, conductividad eléctrica, carbonato, bicarbonato, cloruro, sulfato, boro, fósforo, nitrato, calcio, magnesio, sodio, potasio, amonio.

Se colectaron muestras de agua subterránea en 66 pozos agrícolas y de abastecimiento urbano con longitud de exploración entre 3 y 90 m de profundidad. Debido a que la tubería presenta ranuras, la muestra obtenida está integrada de todo el espesor ranurado. En los sitios donde el pozo de muestreo no ha sido utilizado recientemente, como el agua almacenada pudiese haber sufrido algunas alteraciones físico-químicas (temperatura, pH, O₂ disuelto, entre otras variables), se colectó la muestra después de haber bombeado un volumen de agua triple del almacenado en el sondeo.

La composición del agua se estudió sólo en el conjunto de sustancias inorgánicas incorporadas al agua por procesos naturales o incluso inducidas a través de la actividad de grupos humanos.

Se emplearon recipientes de polietileno para la toma de muestras de agua, los cuales se eligieron de acuerdo con los parámetros que se determinaron en el laboratorio.

Se evitó que hubiese pérdidas por evaporación en los envases para que no disminuyera la concentración de determinados constituyentes por adsorción.

Los recipientes se limpiaron previos al muestreo enjuagándolos tres veces y luego llenándolos con una solución de ácido clorhídrico 1 M (10% en volumen), dejándolos entre 10 y 12 horas y finalmente se enjuagaron con agua destilada, empleando aproximadamente 1/3 del volumen de la botella en cada enjuagado, hasta que se haya eliminado el ácido en la misma.

No se emplearon detergentes para evitar que quedaran adsorbidos en las paredes de la botella.

Para la colecta de la muestra se enjuagó varias veces cada botella con el agua de muestreo para eliminar posibles residuos en la botella, evitando burbujas de aire en la muestra para que no se modificara la concentración de iones como el calcio o bicarbonatos. Esto se logró llenando la botella totalmente hasta conseguir un menisco, y cerrar fuertemente con el tapón lleno de agua.

Los análisis químicos que se determinaron en cada una de las muestras de agua fueron los siguientes: pH, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, cloruro, sulfato, carbonato, bicarbonato, calcio, magnesio, sodio, potasio, fósforo, cobre, hierro, manganeso, zinc, boro, cadmio, arsénico, plomo, nitrato y amonio.

Para evaluar el efecto del riego sobre la acumulación de sales en el suelo, en tres plantaciones de uva del Valle de Guadalupe se colectaron muestras de suelo a 0, 50 y 100 cm de distancias al emisor y cada una a tres profundidades distintas (0 a 30, de 30 a 60 y de 60 a 90 cm) y se analizaron de la misma forma que las muestras de suelo mencionadas anteriormente.

5.5. ELABORACIÓN DEL PLAN DE MANEJO SUSTENTABLE DEL ACUÍFERO.

Con base en los resultados obtenidos del procesamiento de la información recabada en cada una de las etapas del proyecto, se analizó de manera integral la situación en la que se encuentra actualmente el acuífero del Valle de Guadalupe, para posteriormente elaborar el plan de manejo. Las propuestas de manejo del acuífero se presentan al final de esta investigación, constituyen una alternativa viable en la recuperación del dicho acuífero y contemplan algunas modificaciones al manejo del agua en sus diferentes usos.

6. RESULTADOS

6.1. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.

El Sistema de Información Geográfica elaborado para el Valle de Guadalupe ha sido integrado con información relativa a los aprovechamientos existentes, parcelas, tipo de tenencia, patrón de cultivos, tecnificación del riego, red de caminos y sitios de muestreo de suelo y agua del Acuífero.



Figura 50. Delimitación de la Cuenca del Valle de Guadalupe en el Sistema de Información Geográfica.

6.1.1. Aprovechamientos subterráneos y superficiales.

Como resultado de los recorridos de campo realizados a lo largo del Acuífero del Valle de Guadalupe, se georreferenciaron un total de 1,422 aprovechamientos, de los cuales 1,374 son de origen subterráneo y 48 de origen superficial, todos ellos incorporados al Sistema de Información Geográfica (SIG), verFigura 51.

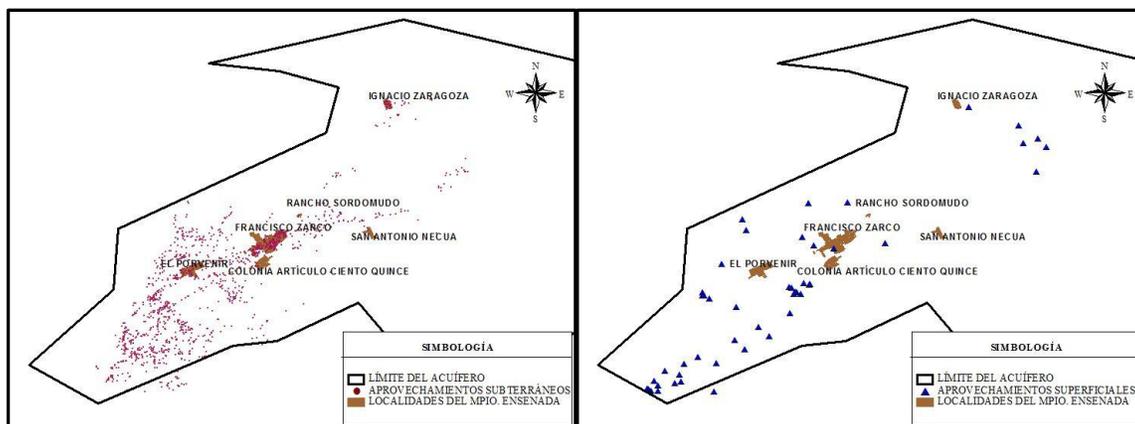


Figura 51. Aprovechamientos subterráneos (izquierda) y superficiales (derecha) contenidos en el SIG del Acuífero del Valle de Guadalupe.

6.1.2. Tipo de Tenencia.

Del total de la superficie dominada por las unidades de riego del Valle de Guadalupe, 2,965.92 ha corresponden al tipo de tenencia Ejidal (35 %), 5,259.65 ha a la Pequeña Propiedad (63 %), 103.69 ha (1 %) al Posesionario y 81.79 ha al tipo de tenencia Comunal (1 %), Figura 52.

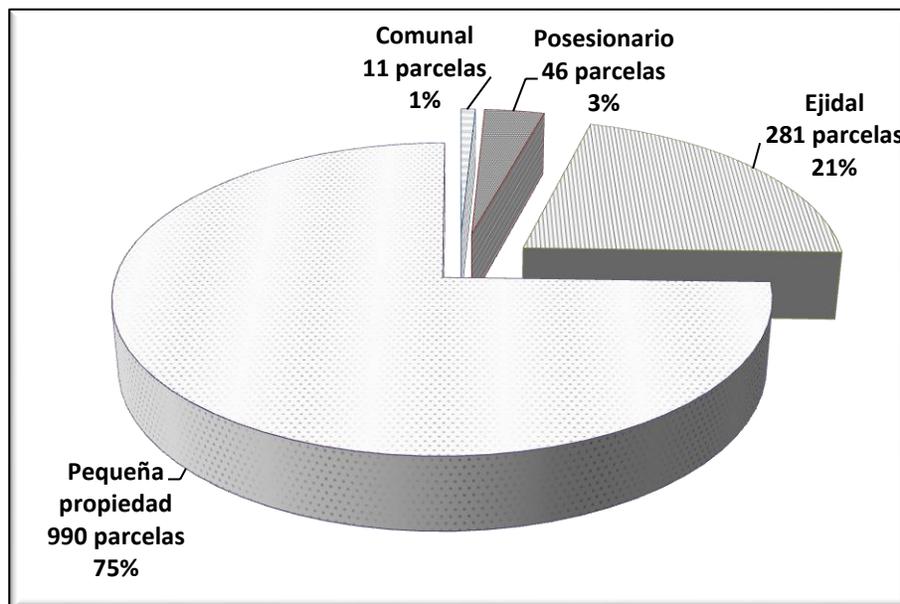


Figura 52. Tipo de tenencia de las parcelas pertenecientes al Valle de Guadalupe.

6.1.3. Patrón de Cultivos.

En las Unidades de Riego del Valle de Guadalupe, se tiene reportada la siembra de diversos cultivos, entre los que destacan por su superficie la uva, el olivo y la cebada (Figura 53).

Cuadro 5. Patrón de cultivos del Valle de Guadalupe.

Tipo de cultivo	Número de parcelas	Superficie calculada con el SIG (ha)
Vid	470	2,378.11
Olivo	107	1,274.89
Cítricos	103	194.19
Cebada	71	1,235.75
Hortalizas	18	99.50
Cultivos Asociados	30	317.84
Otros	106	527.01
Sin Cultivo	423	2,383.76
Total	1,328	8,411.05

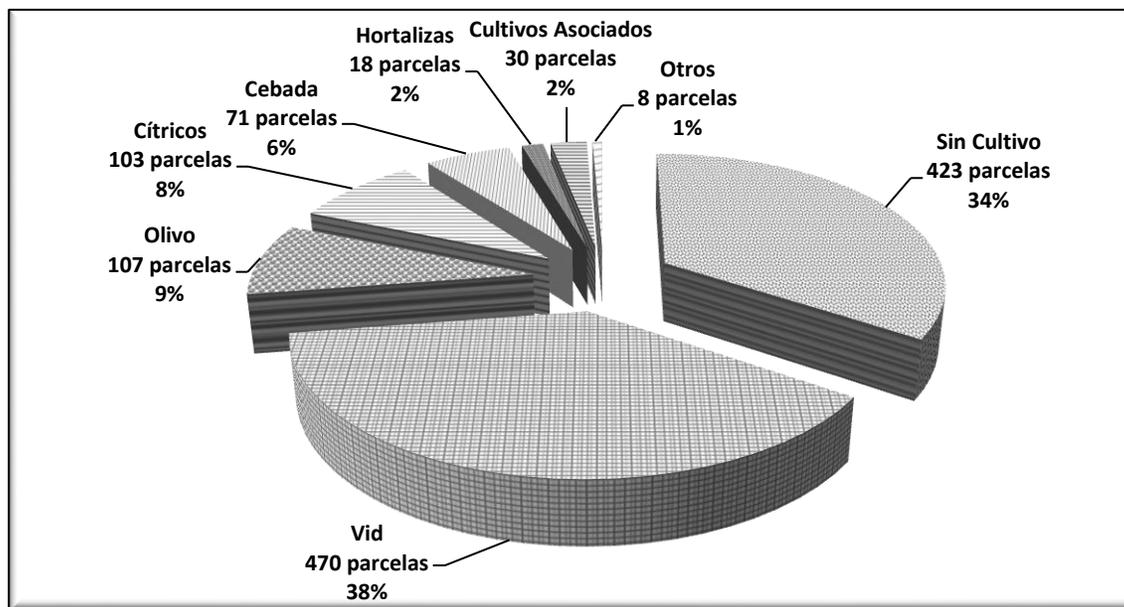


Figura 53. Patrón de cultivos por número de parcelas en las Unidades de Riego del Valle de Guadalupe.

6.1.4. Tecnificación del Riego.

Como consecuencia directa de la información recabada en el inventario de las Unidades de Riego del Valle de Guadalupe, se obtuvo la superficie sembrada con temporal, la cual corresponde a 2,645.63 ha, además de la primera aproximación de las superficies en las que

se utiliza sistema de riego, entre los que se encuentran: Goteo (3, 225.81 ha), aspersión (152.07 ha) y microaspersión (3.78 ha), ver Figura 54yFigura 55.

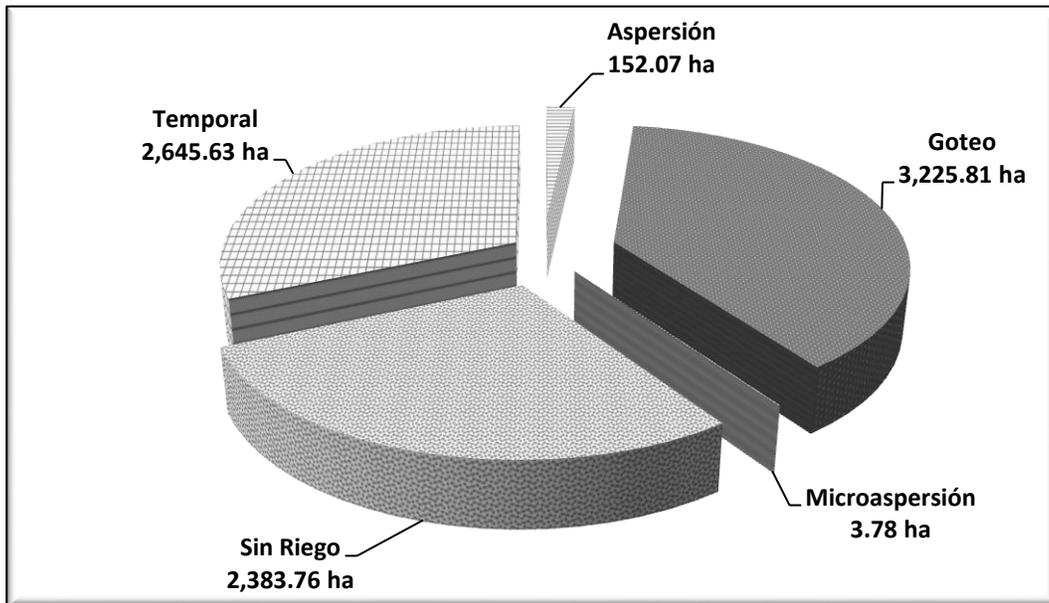


Figura 54. Sistemas de Riego utilizados en el Valle de Guadalupe.

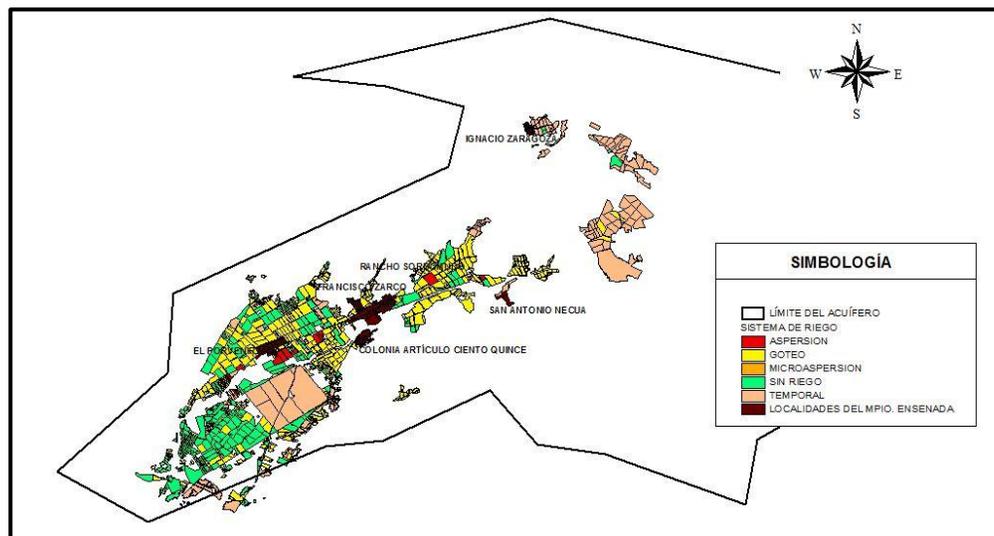


Figura 55. Sistemas de Riego utilizados en las parcelas del Valle de Guadalupe, SIG.

6.1.5. Red de caminos.

La longitud total de caminos, calculada a partir del Modelo de Sistema de Información Geográfica, es de 144.42 km, de los cuales 52.64 km son de acceso e intercomunicación, 4.09 km de operación y 87.68 km son caminos rurales, Figura 56.

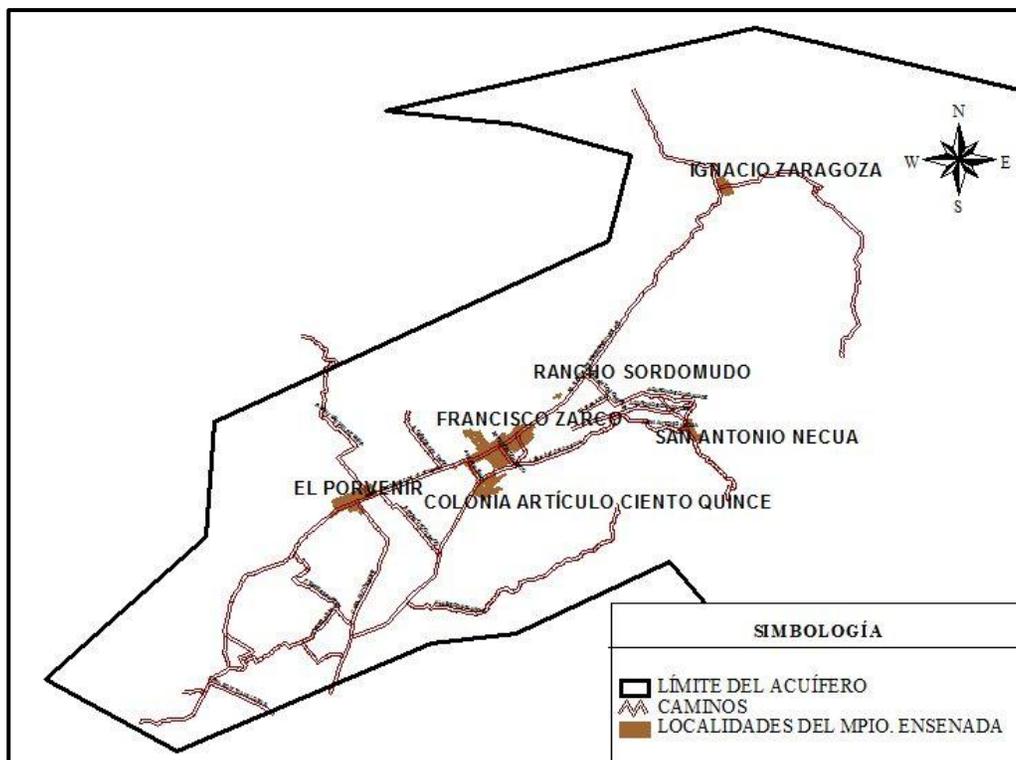


Figura 56. Caminos existentes en el Valle de Guadalupe, contenidos en el SIG.

6.2. ESTIMACIÓN DE LA DESCARGA DEL ACUÍFERO.

6.2.1. Aprovechamiento del agua en el acuífero Guadalupe.

6.2.1.1. Volúmenes de extracción y características de los aprovechamientos.

Del inventario de los aprovechamientos de agua realizados durante los trabajos de campo plasmado en el sistema de información geográfica, se encontró que 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 6 se muestra un resumen de dicho censo.

Cuadro 6. 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	Jaguey	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 7 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 7. 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 8.

Es importante mencionar que de los 1,374 aprovechamientos de agua subterránea, solo 567 estaban funcionando en el segundo recorrido, debido a que del orden de 167 adicionales estaban funcionando en el primer recorrido que se efectuó durante los primeros meses del año de 2009. Lo anterior refleja el estado tan grave en que se encuentra el acuífero, ya que solo unos meses después 167 estaban inactivos temporalmente, de estos 132 son norias, que extraen volúmenes muy bajos.

Cuadro 8. Volúmenes utilizados de agua subterránea.

Subterráneos		
Uso	Número de aprovechamientos	Volumen hm³/año
Venta de agua	1	0.006
Sin uso	6	0.006
Recreativo	2	0.012
Público urbano	18	7.147
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 9.

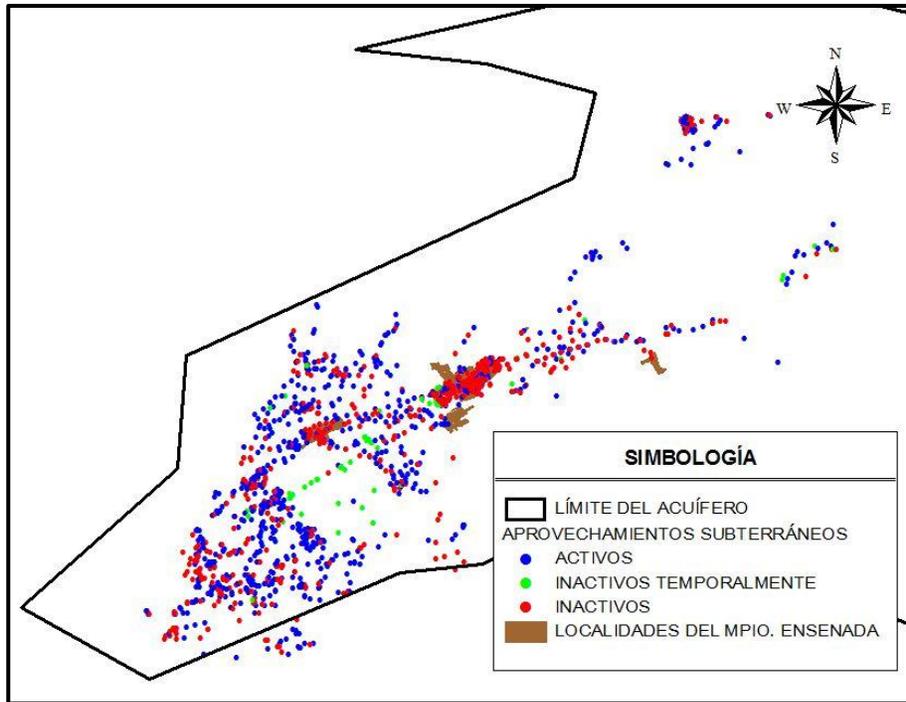


Figura 57. Situación actual de los aprovechamientos subterráneos existentes en el Valle de Guadalupe.

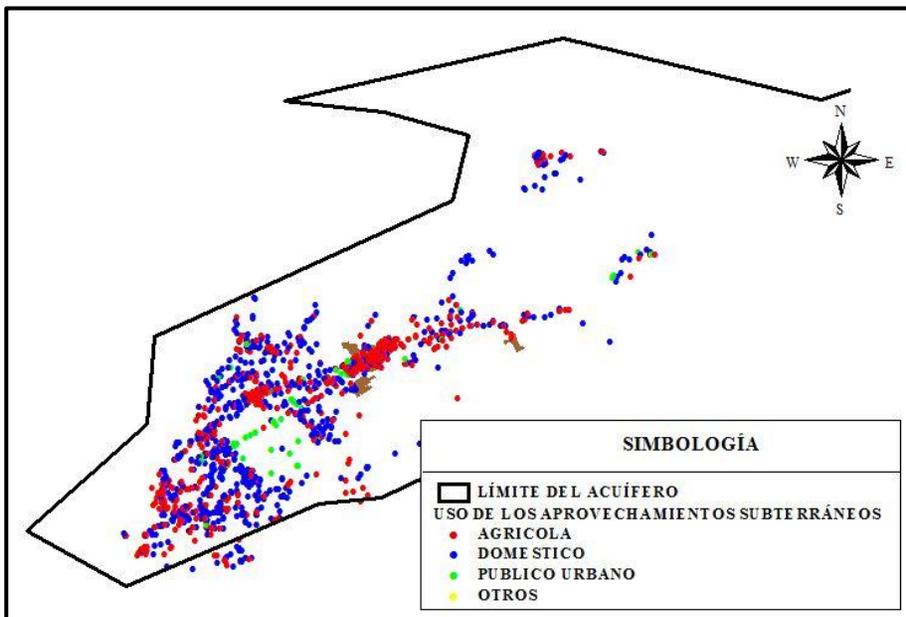


Figura 58. Uso de los aprovechamientos activos en el Valle de Guadalupe.

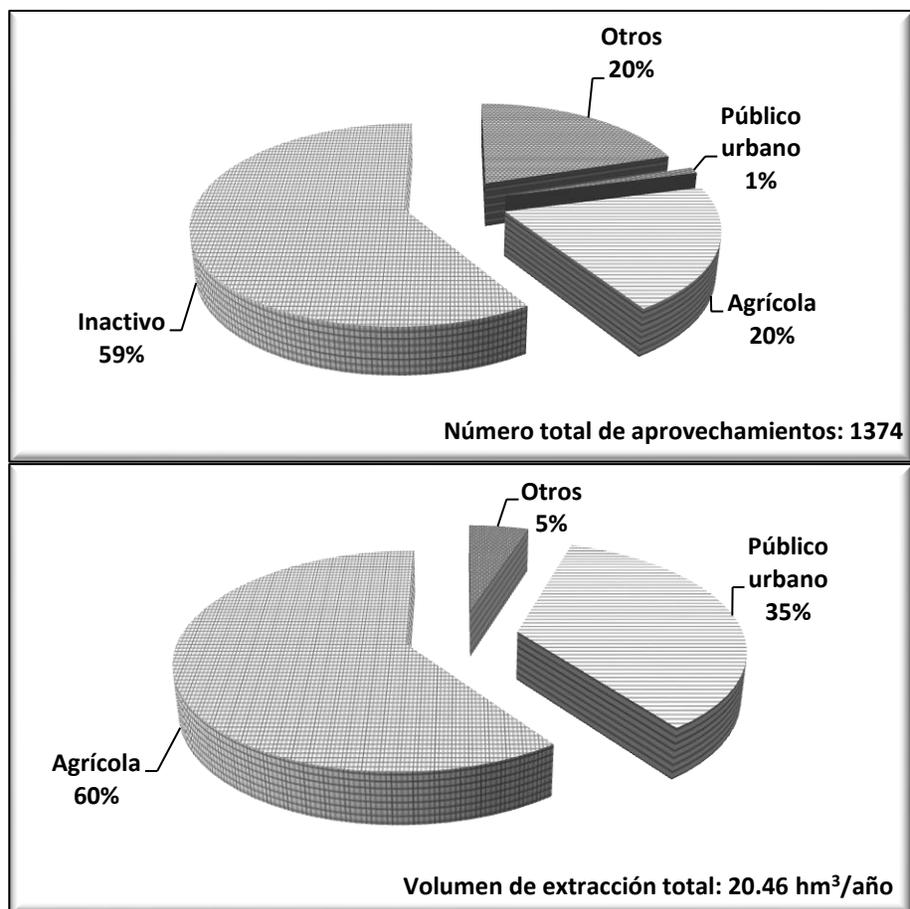


Figura 59. Aprovechamientos y usos del agua subterránea.

Cuadro 9. Medidas eléctricas en los equipos de bombeo.

	Volt medido	Amperios medido	FP medido	KW medido	Eficiencia %	m³/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
# de equipos	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, tal como se muestra en el Cuadro 10.

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 10. 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
# de aprovechamientos	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 Jun-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.

6.2.1.2. Uso público-urbano.

Como se mencionó anteriormente los volúmenes de extracción se obtuvieron en su mayoría mediante caudal aforado y tiempo de operación este último dato informado por los usuarios. En el caso del uso público exportado a Ensenada se tomaron los volúmenes reportados por el Organismo Operador, complementados con los datos de la tesis de maestría de Gaeta Lara. El Cuadro 12 presenta la estadística del volumen de extracción, realizada por CESPE (2008), cuya instalación de los 10 pozos con que cuenta iniciaron operación en el año de 1985. Se puede ver una gran variación año con año, lo que puede deberse a dificultades en la operación de los pozos y debido a los abatimientos continuos que sufre el acuífero. Efecto que se ve mejor en la Figura 59.

Para efectos de extracción del volumen extraída por CESPE se tomó el promedio entre los años de 2002 a 2008, ya que fueron los datos que nos proporcionó directamente dicho organismo.

Cuadro 11. Exportación a la ciudad de Ensenada. Comisión Estatal de Servicios Públicos de Ensenada.

Año	Volumen hm ³ /año	Año	Volumen hm ³ /año
1990	5.3	2002	8.09
1991	6.0	2003	6.57
1992	6.3	2004	5.02
1993	6.6	2005	8.95
1994	9.8	2006	8.27
1995	5.7	2007	5.63
1996	9.9	2008	3.85
1997	8.0		
1998	8.9		
1999	9.7		
2000	9.3		
2001	10.3	Media	6.63

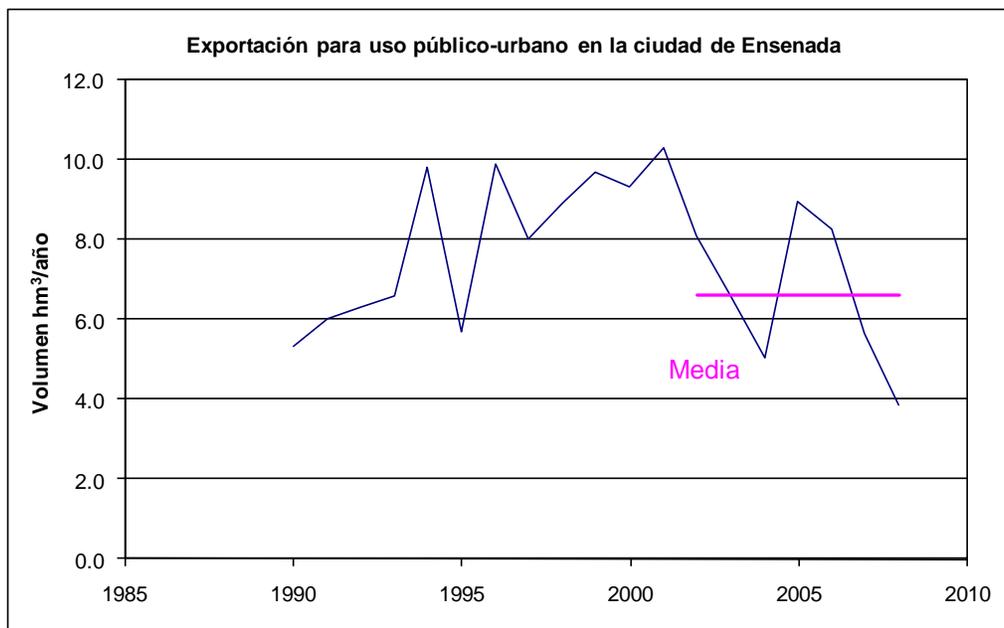


Figura 60. Volúmenes exportados hacia la ciudad de Ensenada.

Dentro de los límites del acuífero el uso para el uso público-urbano resultó de 521,264 m³, lo que arroja una dotación diaria de 286/hab/día, para los 5,000 habitantes que se asientan dentro de los límites del acuífero.

6.2.1.3. Sector agrícola.

Cuadro 12. Estadística de cultivos, según el censo de aprovechamientos.

Agrícola		m³/año
agave y cítricos	1	6,221
alfalfa y maíz	4	162,864
almendra y cítricos	1	4,104
avena	3	124,209
avena y cítricos	1	5,400
calabaza	2	103,853
calabaza, nopal, maíz y vid	1	4,925
ciruela, nectarina, durazno, pistacho	1	31,104
cítricos	20	168,876
cítricos y ornamentales	2	21,617
cítricos y olivo	1	10,109
cítricos y vid	3	66,355
cítricos, olivo y vid	3	34,085
cítricos, sandía	1	8,294
flor	5	97,265
frutales	3	27,648
haba	1	8,074
ornamental	3	27,648
hortalizas	11	651,650
maíz	3	22,482
manzanos y olivo	1	4,860
naranja, limón, nopal, vid	1	7,258
nopal	1	2,160
olivo	31	531,278
olivos y frutales	3	15,943
olivo y vid	1	0
pasto	7	87,480
pepino	1	2,106
plantas de ornato	2	4,774
vid	115	7,750,378
vid y olivo	17	1,433,238
vid y pastos	1	202,176
sin cultivo	29	646,630
Suma	280	12,275,063

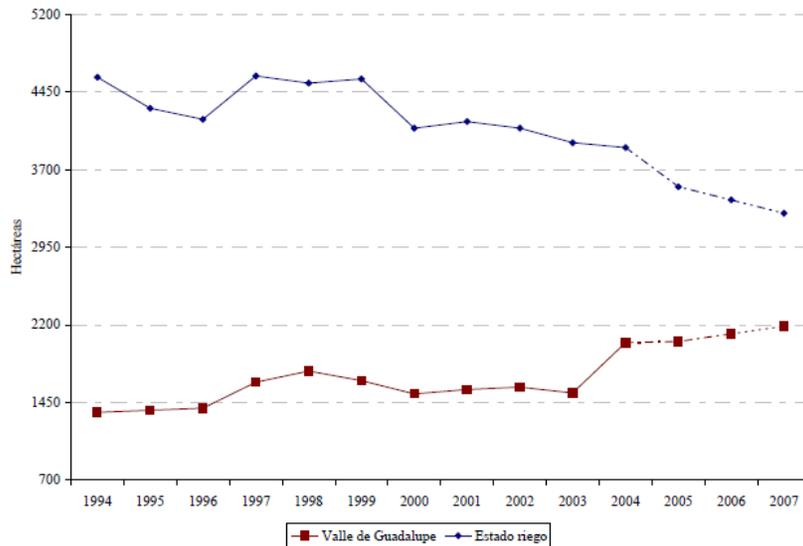


Figura 61. Evolución de la producción de vid en el acuífero Guadalupe.

6.2.1.4. Otros usos.

Existen además una gran cantidad de pozos y norias que tienen uso pecuario y doméstico en su gran mayoría, la extracción estimada resulta apenas de un poco más del millón de metros cúbicos anuales.

6.2.2. 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 (Campos y Kretzschmar, 2008).

Para el caso que nos ocupa es necesario tomar en cuenta toda la información referente a los acuíferos de Ojos Negros, Real del Castillo, Guadalupe y La Misión a fin de integrarla para formular el modelo conceptual de funcionamiento de cada uno de ellos. Esta formulación será la base principal para la elaboración de los modelos matemáticos de simulación hidrodinámica de cada acuífero.

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.

Conviene recordar lo que se ha comentado anteriormente, en el sentido de que se puede considerar, sin cometer algún efecto no deseado, que no existe comunicación

hidrogeológica entre los acuíferos Real del Castillo, Guadalupe y La Misión, por lo que se pueden manejar como independientes.

6.2.2.1. Funcionamiento.

El acuífero Guadalupe es el más importante de la zona por su área como por la extracción del agua subterránea.

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, con una profundidad estimada en más o menos de 350, esta fosa en general está 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 (Gaeta, 2006).

Una fosa más es la denominada Fosa El Provenir, 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 62).

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 estas 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, tal como se muestra en la piezometría.

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 m.s.n.m. en la parte más alta y con una cota mínima de 285 m.s.n.m. 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

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.

6.2.2.2. El efecto de la explotación de bancos de arena.

Dentro de los límites del acuífero Guadalupe se tienen en explotación zonas de arenas de buena calidad, limpias y con granulometría uniforme (INIFAP, 2005). Las zonas de explotación se muestran en la Figura 63 y con mayor detalle en la Figura 64.

Recientemente la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), realizó un Plan de Manejo Integrado del Agua, en el que participaron usuarios y autoridades involucradas en el manejo del agua, documento que refleja la inquietud de los usuarios por el abatimiento de los niveles y el consecuente agotamiento continuo de los recursos hídricos y que una de las causas importantes es la explotación de arenas en el lecho del Arroyo Guadalupe.

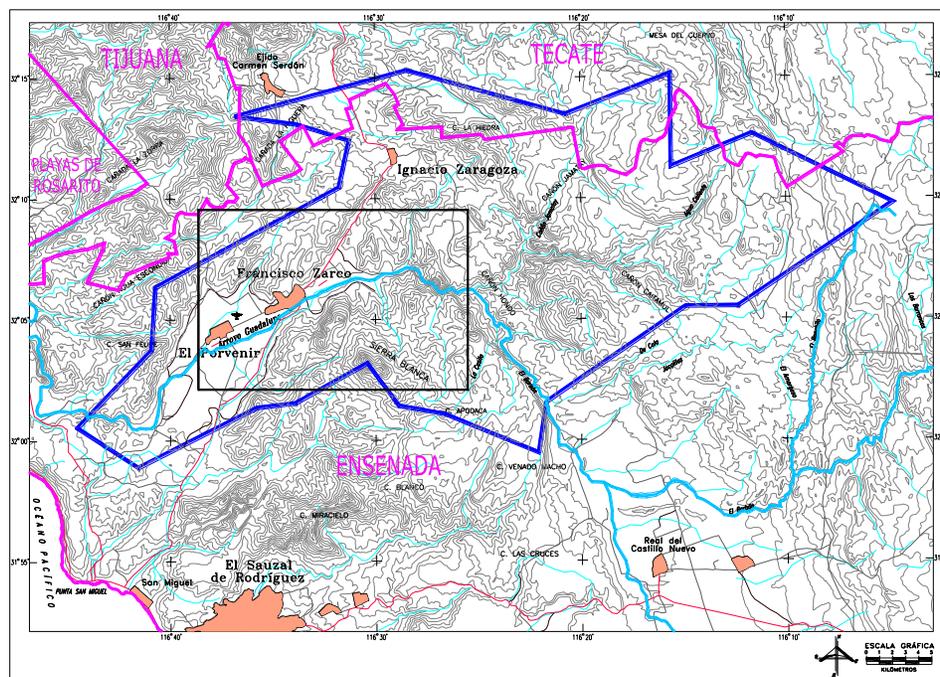


Figura 63. Acuífero Guadalupe, Dentro del rectángulo se encuentra zona de explotación de bancos de arena.

Estos bancos se encuentran ubicados sobre el cauce del Arroyo Guadalupe y en las inmediaciones de Francisco Zarco. Como parte de los trabajos realizados se hizo un recorrido por esta zona explotada. Su localización se muestra en la Figura 64 y sus coordenadas en el Cuadro 13. La zona en explotación tienen una longitud del orden de 1.7 km, con un ancho promedio de 30 m dentro del cauce del arroyo y un espesor promedio extraído de 2 m, por lo que resulta un volumen de arena explotada del orden de los 100,000 m³.

Cuadro 13. Ubicación de bancos de materiales en explotación.

Punto	Longitud oeste			Latitud norte			Banco
	Grados	Minutos	Segundos	Grados	Minutos	Segundos	
BC-1	116	29	15.7	32	6	50.7	Banco A
BC-2	116	29	8.3	32	6	53.9	
BC-3	116	29	26.5	32	6	51.9	
BC-4	116	31	42.9	32	6	27.8	Banco D
BC-5	116	32	58.3	32	6	61.2	
BC-6	116	33	38.5	32	5	57.2	Banco B
BC6A	116	33	29	32	5	50.5	
BC-7	116	34	50.1	32	4	57.5	Banco C
BC-8	116	34	39.6	32	5	54.7	

El objetivo de este escrito es determinar, a partir de un análisis, el efecto que se presente por la explotación de bancos de materiales y en la recarga del acuífero Guadalupe.

Los bancos que se han explotado se localizan con las coordenadas mostradas en el Cuadro 13 y su distribución en planta se muestra en la Figura 64, en donde también viene referida la sección longitudinal que corre a lo largo del cauce del arroyo.

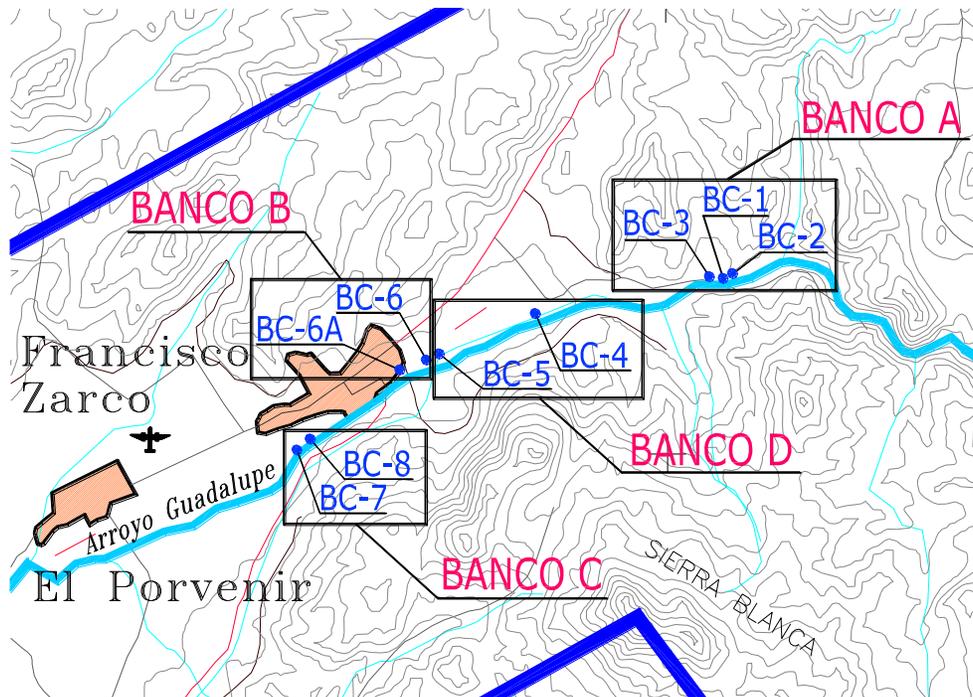


Figura 64. Localización de bancos de arena.

Dentro de la zona del acuífero Guadalupe, en las inmediaciones de la población de Francisco Zarco, específicamente sobre el cauce del Arroyo Guadalupe se detectaron cuatro sitios que extraen arena o habían extraído en algún tiempo, de los cuales actualmente están en operación dos bancos y los dos restantes se encuentran inactivos (Ponce, 2009).

Banco de material A (inactivo)

Este banco se encuentra hacia el extremo nororiente, durante los trabajos de campo se observó que ya no se encuentran extrayendo arena, de tal forma que está inactivo. Tiene una longitud de 480 m y el cauce del arroyo en este tramo tiene una amplitud de 30 m, de donde han extraído un espesor promedio 2 m (Figura 65).



Figura 65. Profundidad que ha alcanzado la explotación de arena en el banco de material A. Localidad BC-1.

Banco de material D (inactivo)

Este sitio ya se encuentra totalmente abandonado, observándose crecimientos de vegetación sobre el cauce del arroyo (Figura 66) y apilamientos de arena en lo que fue el área de extracción más intensa (Figura 67).



Figura 66. Banco de material inactivo, nótese el crecimiento de vegetación sobre el cauce del arroyo. Localidad BC-4.



Figura 67. Banco de material inactivo, nótese el incipiente crecimiento de vegetación sobre los montículos de arena. Localidad BC-5.

Banco de material B

Este banco se localiza en las inmediaciones de Francisco Zarco, presenta una longitud de 590 m, en donde el cauce del arroyo tiene una amplitud de 30 m y la profundidad que ha alcanzado la extracción de arena varía de 1.80 m en su margen derecha a 2.2 m en su margen izquierda (Figura 68 y Figura 69).



Figura 68. Vista hacia el suroeste del cauce del Arroyo Guadalupe, mostrando el estado en que se encuentra su explotación en el banco de material B. Localidad BC-6.



Figura 69. Vista hacia el noroeste de los trabajos de explotación que se llevan a cabo sobre el banco de material B. Localidad BC-6A.

Banco de material C

Este banco se ubica hacia el extremo SW del poblado de Francisco Zarco, sus límites lo definen los puntos BC-7 y BC-8, tiene una longitud de 354 m, en donde el cauce del arroyo presenta una amplitud de 35 m en su extremo SW y de 15 m hacia su sector NE, la

profundidad hasta donde ha llegado la explotación de arena varía de 1.2 m a 1.7 (Figura 70).



Figura 70. Vista hacia el noroeste del banco de material C, mostrando el estado de socavamiento por la extracción de arena que presenta el cauce del arroyo.

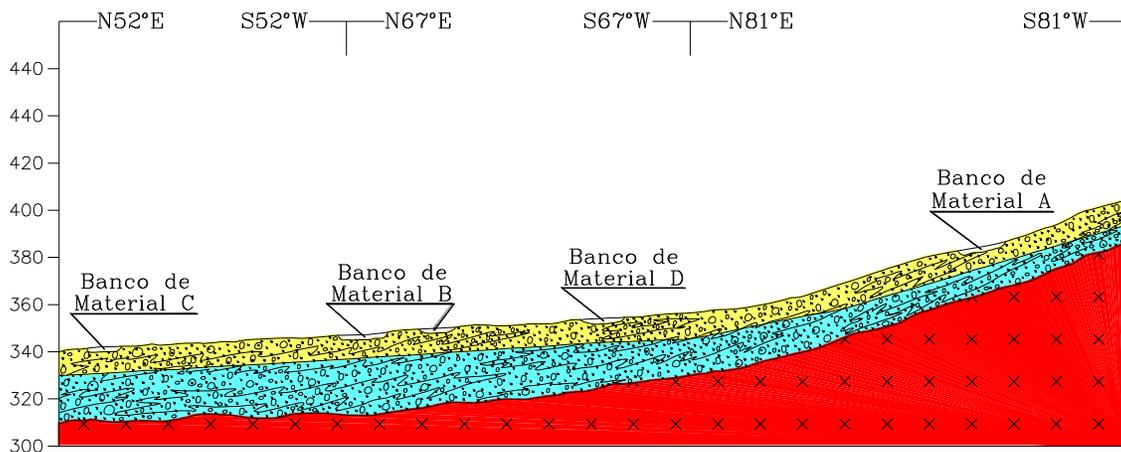


Figura 71. Corte longitudinal del Arroyo Guadalupe. Mostrando la distribución de los bancos de material a lo largo de su cauce y la profundidad a la que han llegado. El nivel del agua subterránea se muestra en color azul.

La longitud de la zona explotada hasta la fecha por los bancos llega a 1.7 km, con un ancho promedio de 30 m del cauce del arroyo y un espesor promedio extraído de 2 m, dando por resultado un volumen aproximado de arena extraída de 100,000 m³.

Por otra parte, atendiendo a la evolución del cauce del Arroyo Guadalupe desde su formación hasta la fecha, se debe considerar que su cauce actual no ha permanecido siempre en el mismo sitio que ocupa actualmente, ya que por lo regular estas corrientes fluviales en épocas de grandes avenidas producidas por lluvias extraordinarias (asociadas con huracanes) tienden a divagar y a formar nuevos cauces cuando se llegan a colmatar de sedimentos, de tal forma que se descarta la existencia en el subsuelo de paleocauces que estén comunicados hidráulicamente a la corriente actual del arroyo. Ahora bien, la profundidad del nivel del agua en el cauce es mayor que el fondo de las excavaciones realizadas hasta la fecha, por lo que las pérdidas por evaporación directa, al exponer al nivel del agua subterránea a los rayos del sol, no ocurre (Figura 71).

Además, la explotación de los bancos de arena no debe impactar la recarga al acuífero, debido a que esta extracción de material apenas representa una mínima parte del depósito aluvial y por otro lado, los materiales que subyacen a las arenas son de granulometría más gruesa, por lo que en todo caso propician una recarga mayor cuando ocurren los escurrimientos.

En su generalidad, el acuífero recibe una recarga por lluvia a través del sistema de fallas y fracturas que se presentan en las unidades volcánicas intrusivas, mediante flujos potenciales que están circulando por este medio fracturado, el cual de acuerdo al patrón de lineamientos que se encuentran dentro de la superficie estudiada, se considera que están comunicados hidráulicamente con el acuífero granular del valle, representando una alimentación constante a la reserva del acuífero, un ejemplo de esta situación sería los humedales ubicados sobre la traza de la falla Puerto Blanco en las inmediaciones entre el límite de los acuíferos Guadalupe y Ojos Negros.

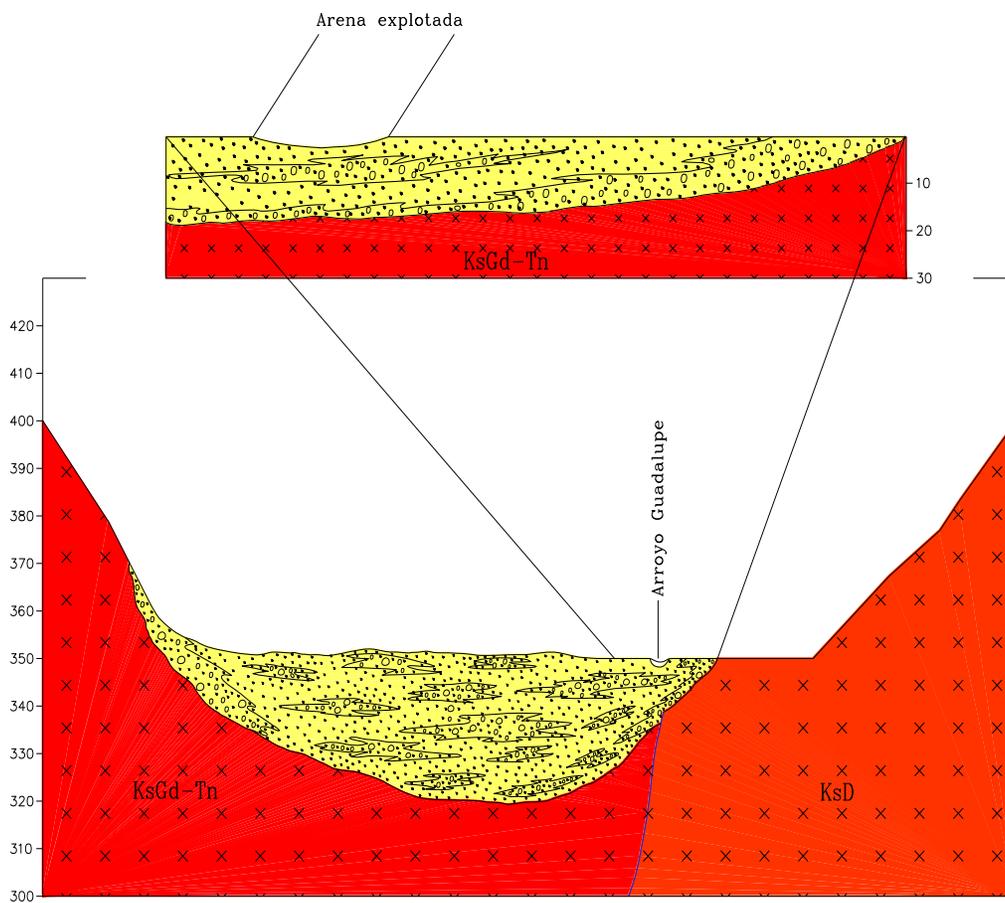


Figura 72. Sección del Arroyo Guadalupe. Mostrando los efectos tanto regional como a detalle de la explotación de los bancos de arena, en donde se interpretan los paleocauces que se encuentran en subsuelo, derivados de la migración vertical y horizontal. La fotografía es la expresión superficial del arroyo.

Por otro lado, en un trabajo de investigación realizado en el CICESE (2007), analiza el proceso de formación de los banco de arenas, con resultados de periodos de retorno del orden de 50 años, por lo que para dar sustentabilidad a estas explotaciones de arena, como un recurso renovable, es necesario implementar una serie de normas sobre su manejo, análisis que está bien comentado en este trabajo.

6.2.3. 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, en este sentido a continuación se presentan las condiciones de piezometría que se obtuvieron con el proceso de la información disponible.

6.2.3.1. 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 73, se ubican dentro de la zona que contienen la mayoría de los aprovechamientos de aguas subterránea.

En el Cuadro 14, 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.

De los diez registradores, sólo dos presentan abatimientos importantes, ubicados noreste del poblado de Francisco Zarco. Los demás han registrado abatimientos prácticamente nulos, como se puede observar en la Figura 74 hasta la Figura 83.

Cuadro 14. 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			
Faltan datos		P-197-Ago-08	12-Mar-08	P-167-Ago 08	01-Jul-08
			29-Jul-08		08-Jul-08
259 070709	02-Mar-09	Faltan datos		Faltan datos	
	07-Jul-09			CNA A 167 061009	03-Mar-09
		P 197 290709	02-Mar-09		06-Oct-09
			29-Jul-09		
P-166 abril-07	02-Abr-07	197 061009	29-Jul-09	P117 190908	01-Ago-08
	27-Abr-07		06-Oct-09		19-Sep-08
P 166-jun07	27-Abr-07			Faltan datos	
	28-Jun-07			117 070709	02-Mar-09
P-166-20- nov 07	28-Jun-07	130 070709	03-Mar-09		07-Jul-09
	14-Nov-07		07-Jul-09		
Faltan datos		P-CNA-213 20 nov07	07-Jul-07	P-122-01-Ago-08	01-Jul-08
			20-Nov-07		01-Ago-08
P-166-Ago-08	12-Mar-08	Faltan datos		Faltan datos	
	29-Jul-08			P-122-061009	02-Mar-09
Faltan datos		P-213-01-Ago-08	12-Mar-08		06-Oct-09
			27-Jul-08		
CNA 166 061009	03-Mar-09	Faltan datos		P-452-20 nov07	01-Ago-07
	06-Oct-09				20-Nov-07
		CNA-A-213 06/10/09	03-Mar-09	Faltan datos	
			06-Oct-09		
				P 452 290709	02-Mar-09
					29-Jul-09
				452 061009	29-Jul-09
					06-Oct-09

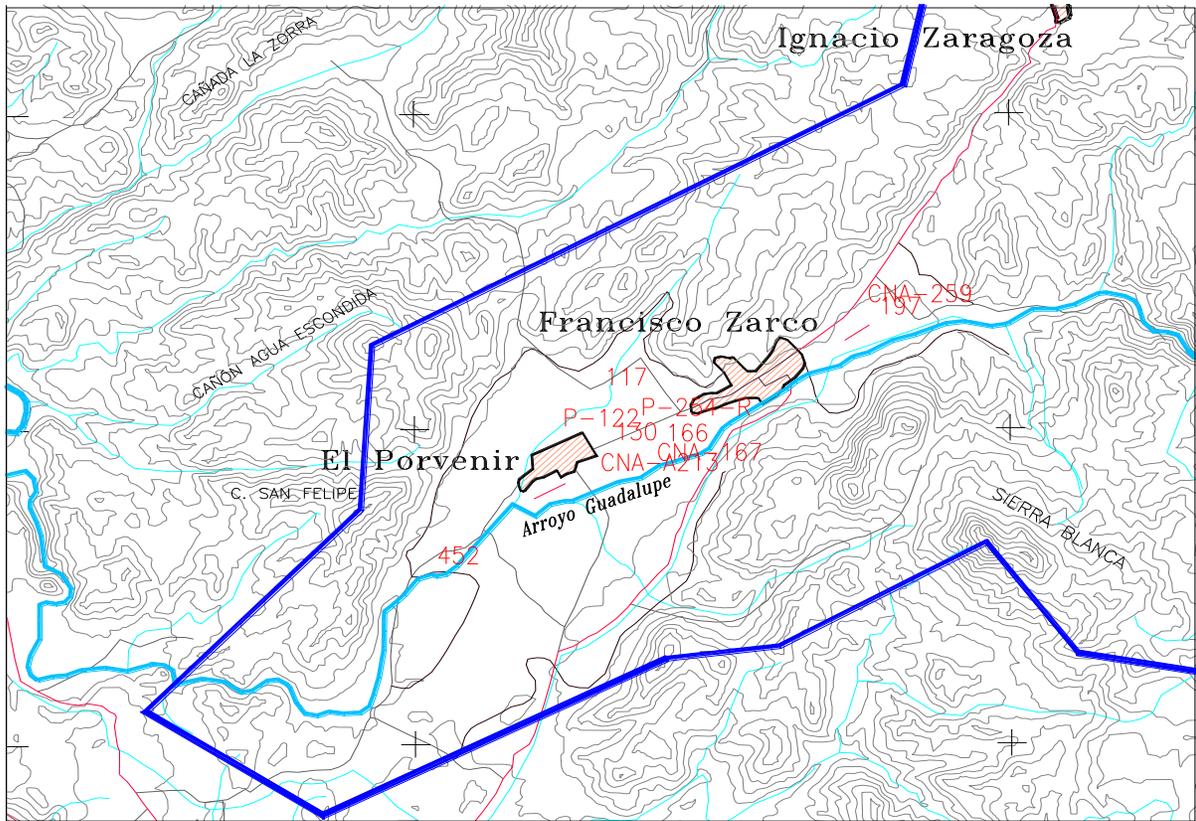


Figura 73. Localización de pozos con registrador continuo del nivel del agua.

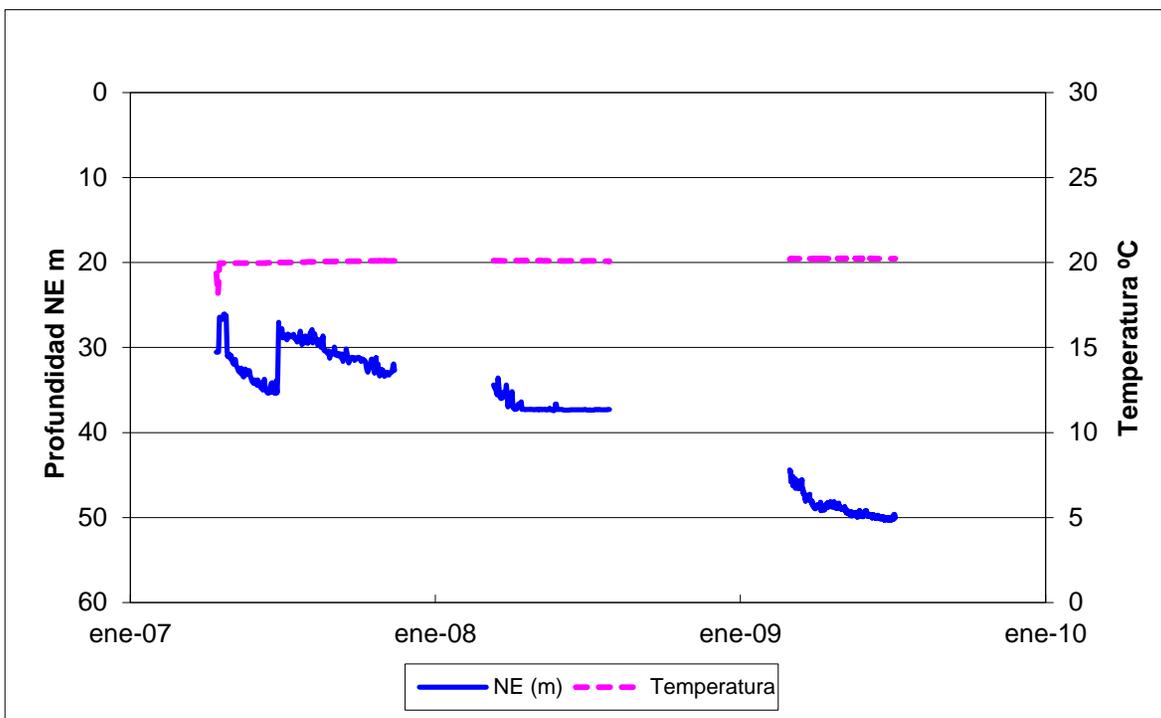


Figura 74. Hidrógrafo pozo 259.

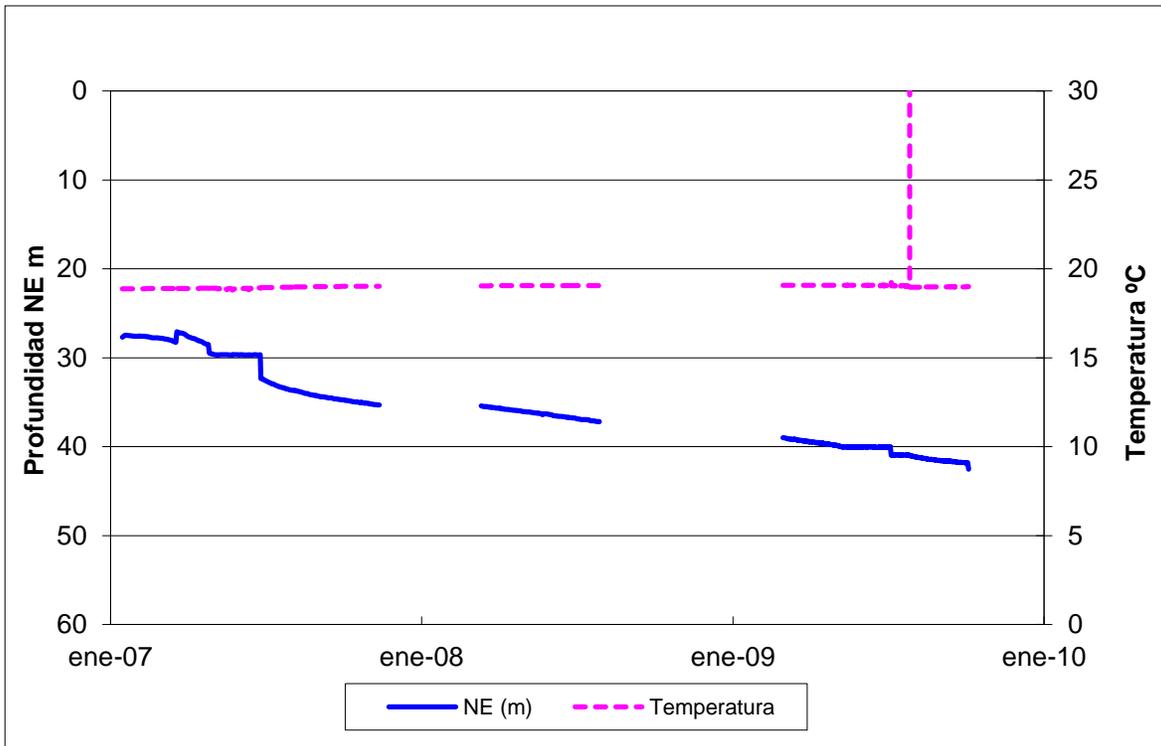


Figura 75. Hidrógrafo pozo 197.

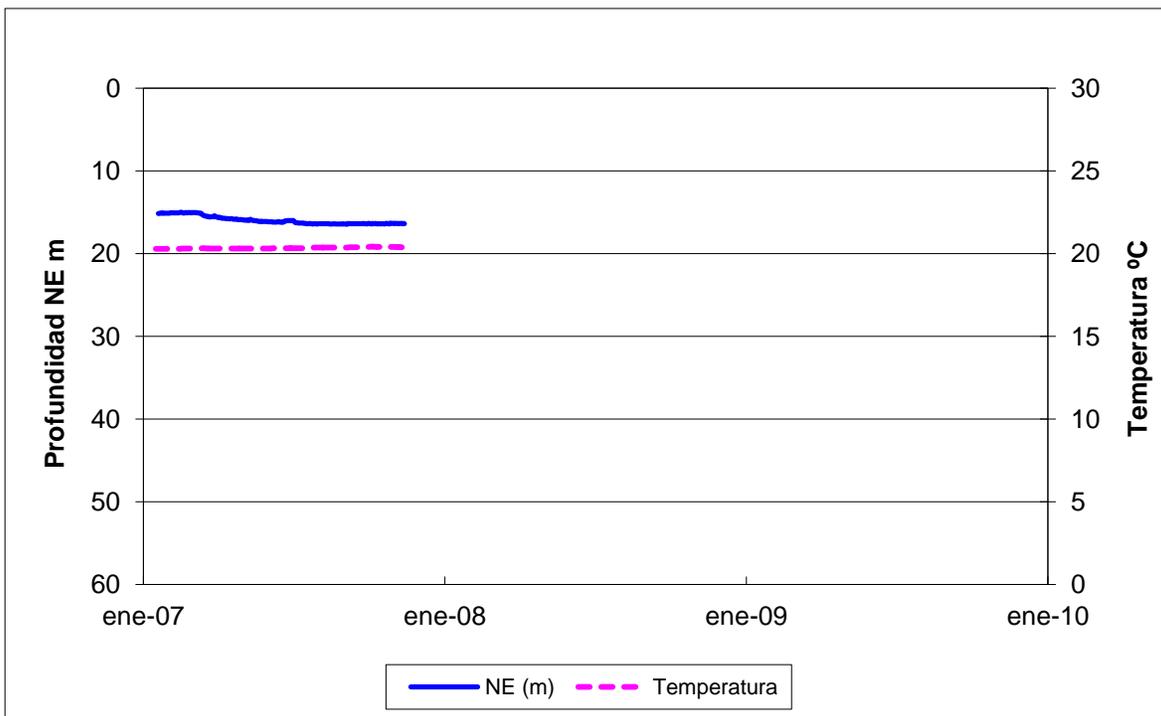


Figura 76. Hidrógrafo pozo 254 R.

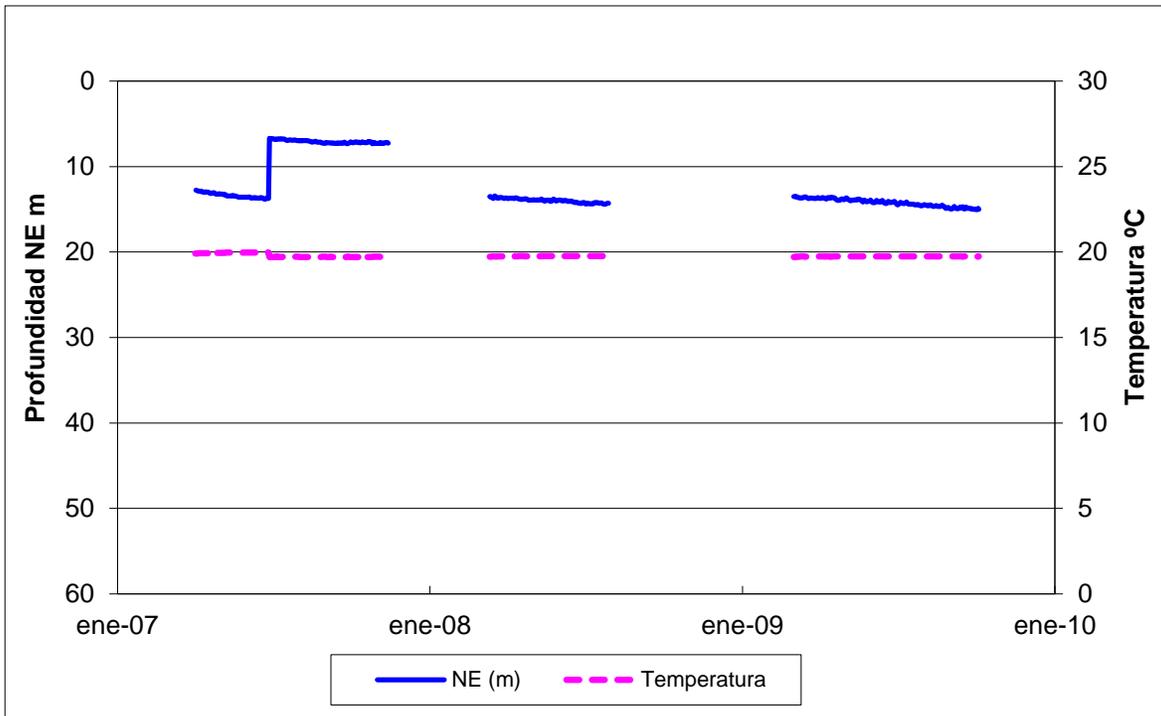


Figura 77. Hidrógrafo pozo 166.

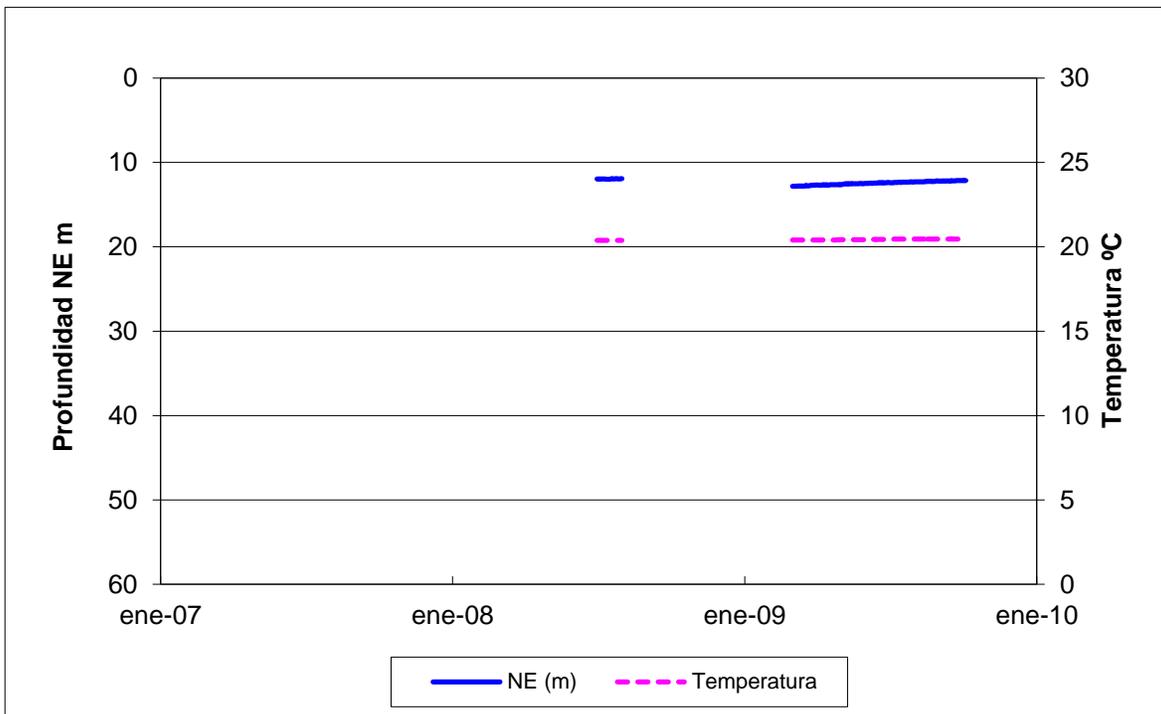


Figura 78. Hidrógrafo pozo 167.

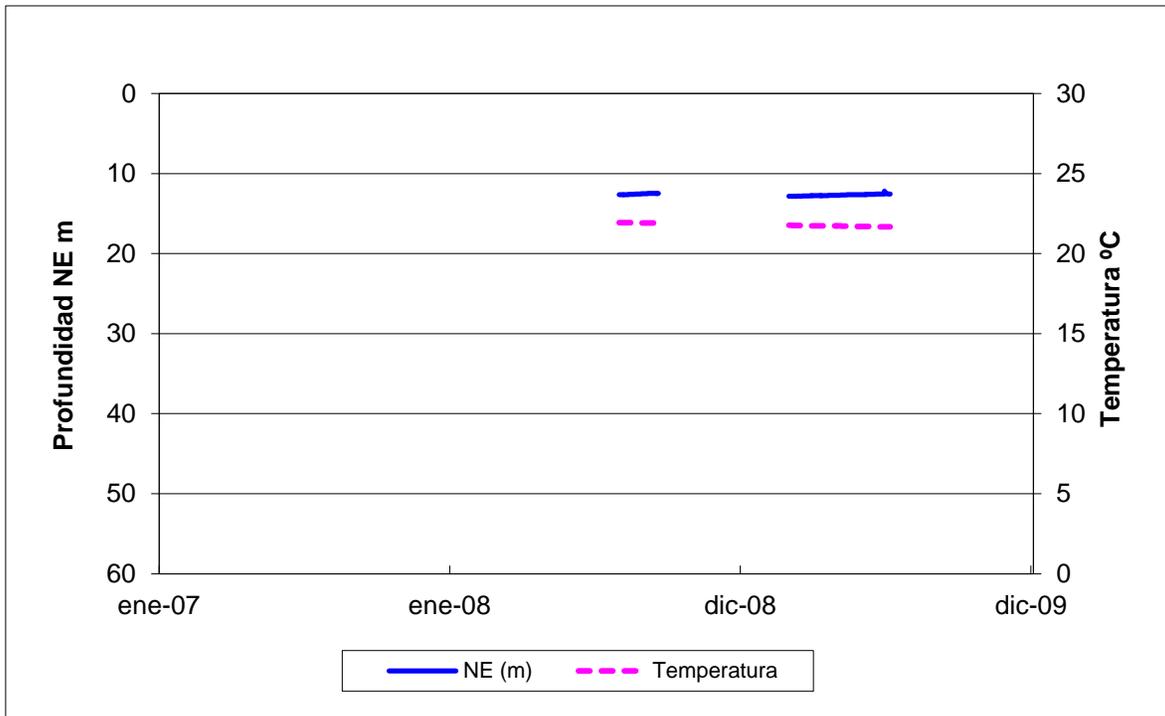


Figura 79. Hidrógrafo pozo 117.

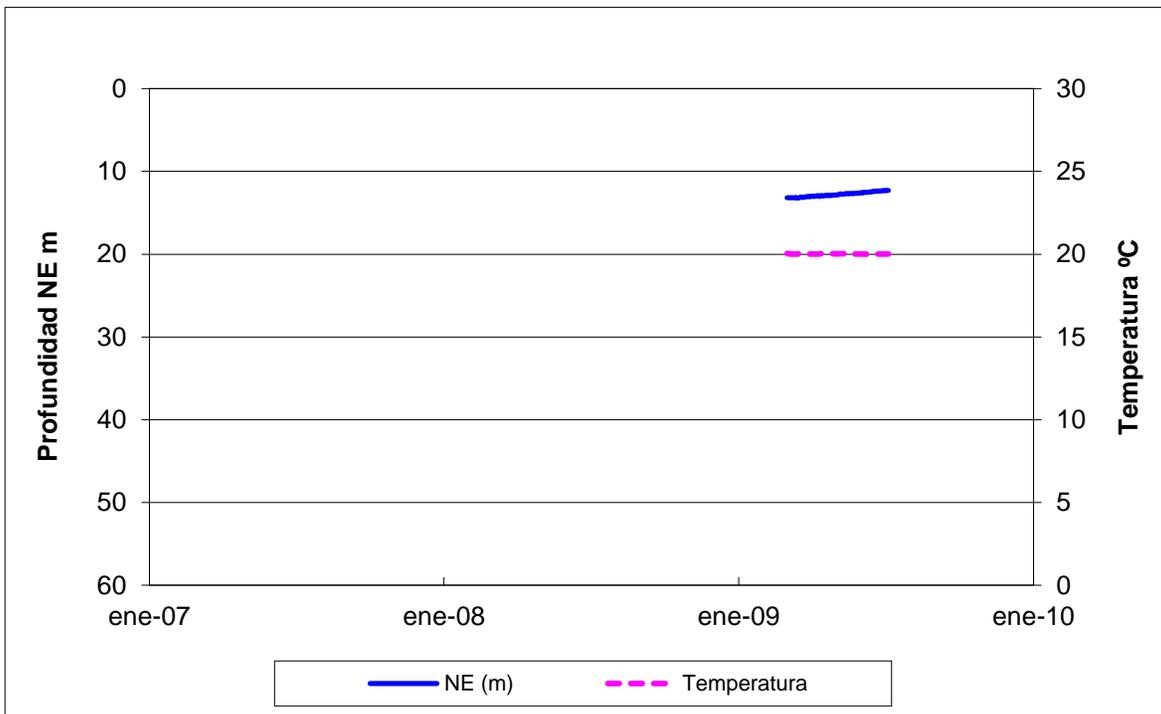


Figura 80. Hidrógrafo pozo 130.

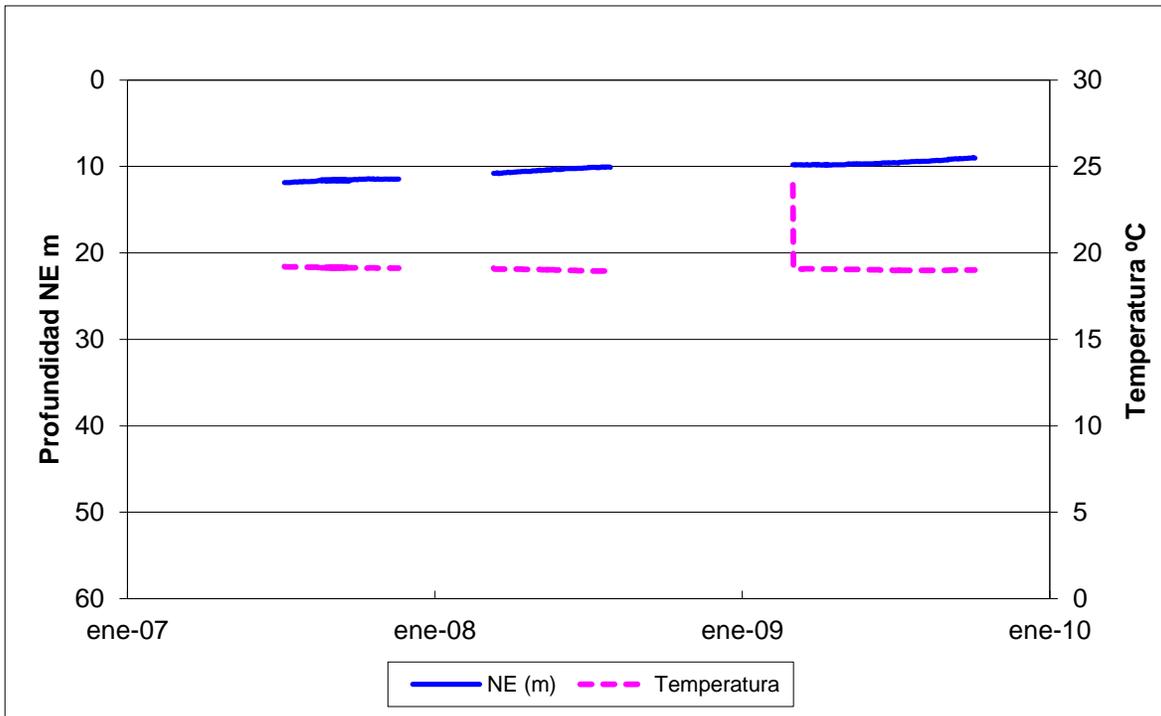


Figura 81. Hidrógrafo pozo 213.

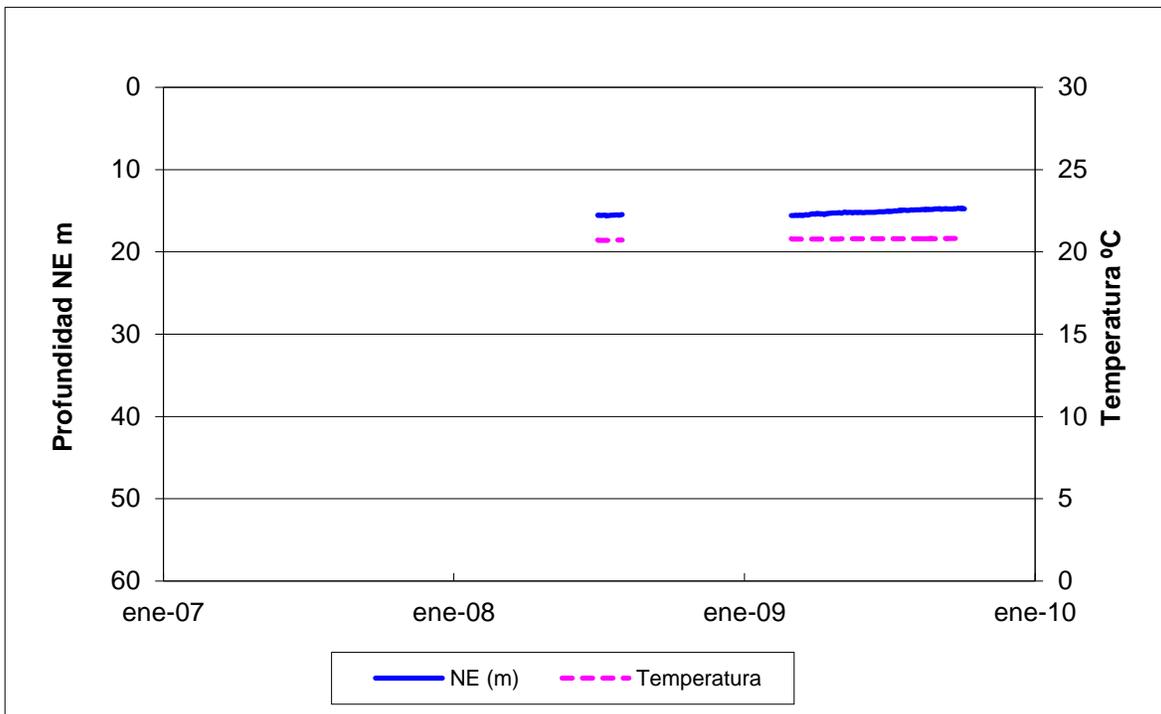


Figura 82. Hidrógrafo pozo 122.

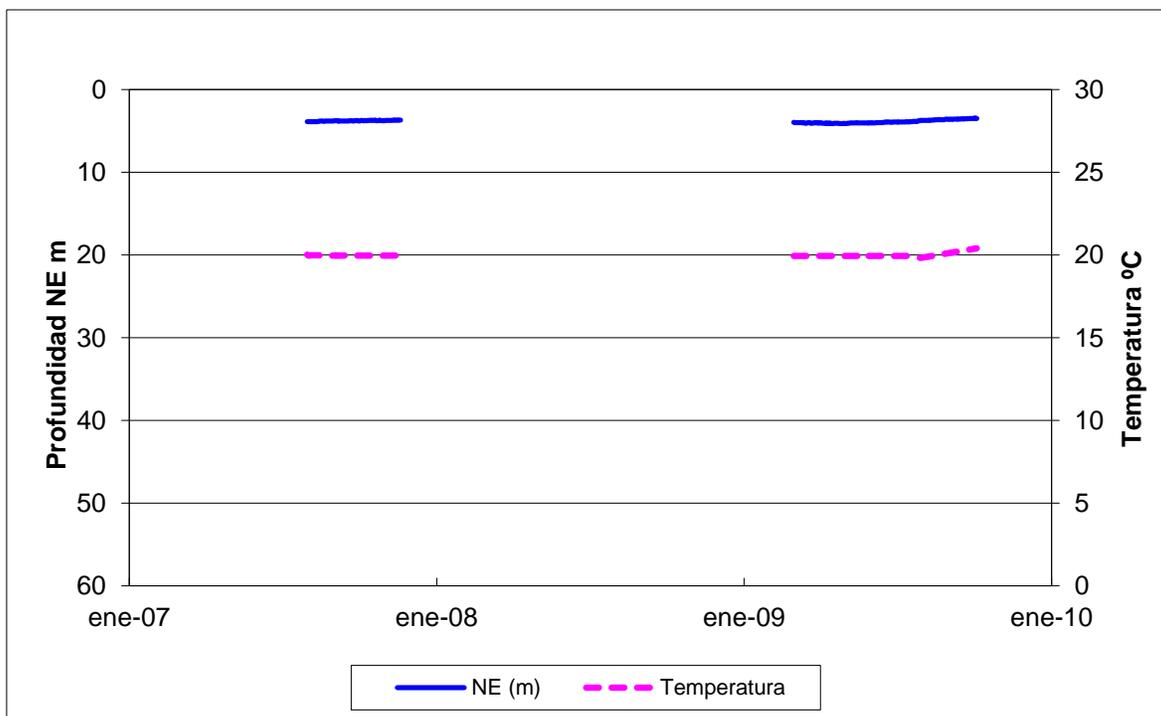


Figura 83. Hidrógrafo pozo 452.

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.

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.

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.

6.2.3.2. Piezometría regional del acuífero Guadalupe.

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.

La Figura 84 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 85 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 86 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.

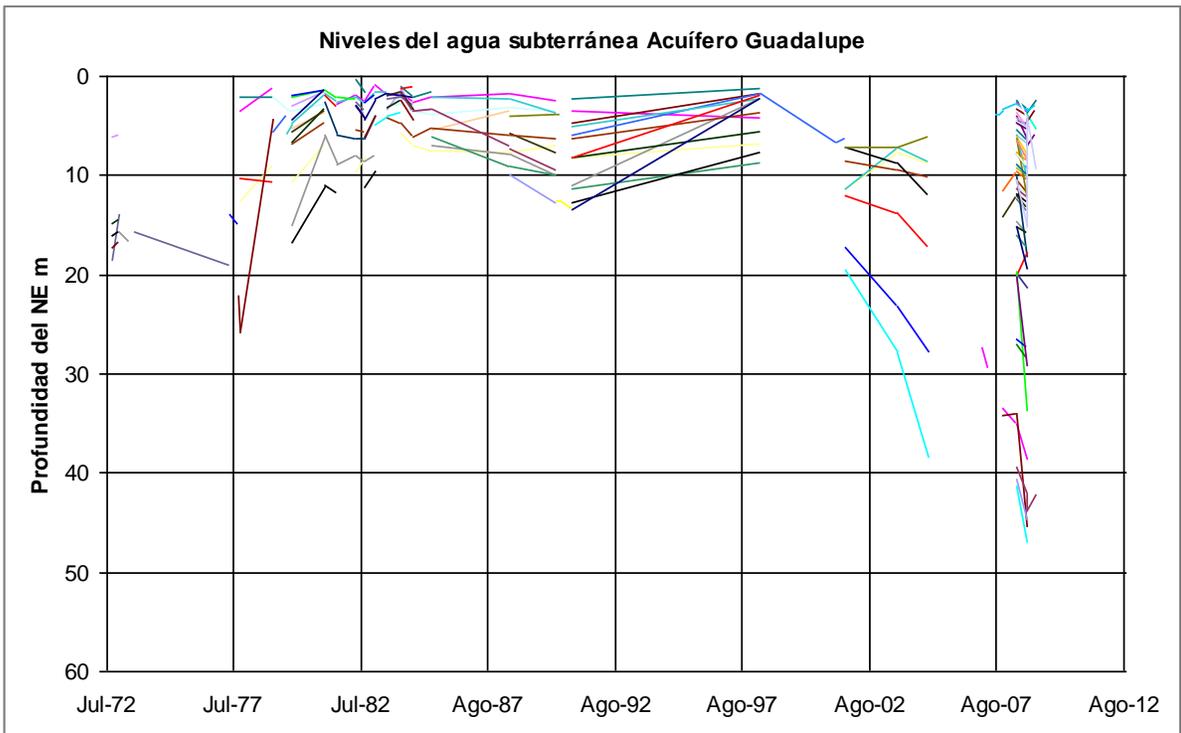


Figura 84. Hidrógrafo de pozos piloto.

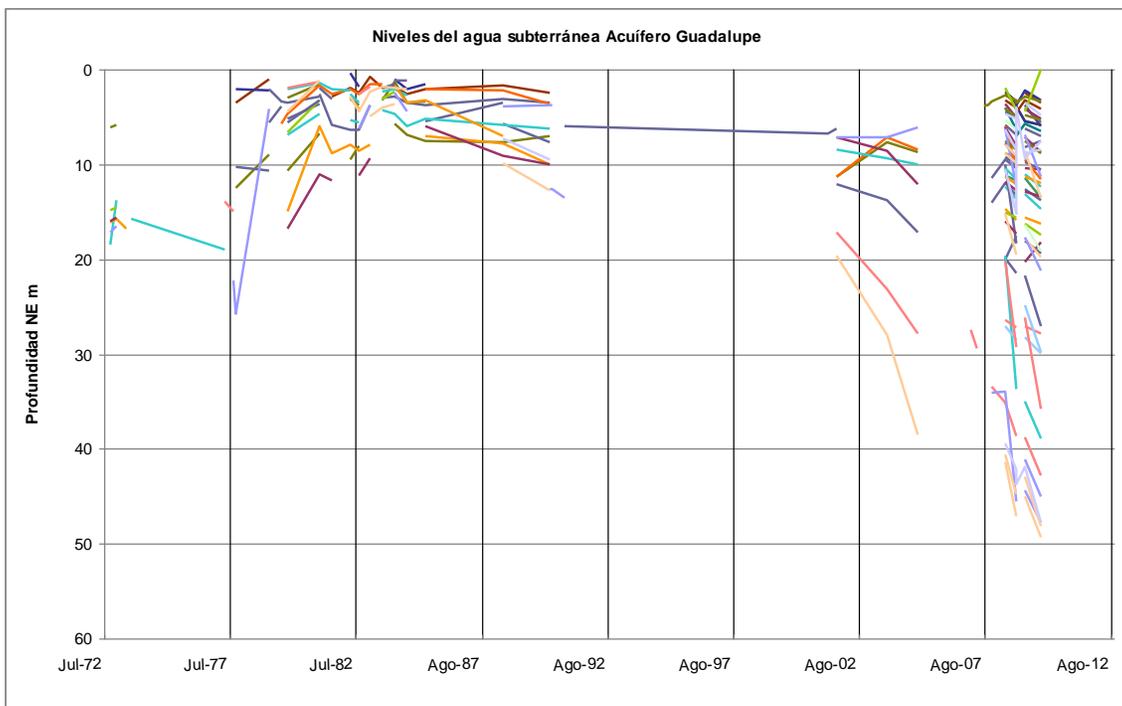


Figura 85. Hidrógrafo de pozos piloto (sin año 1998).

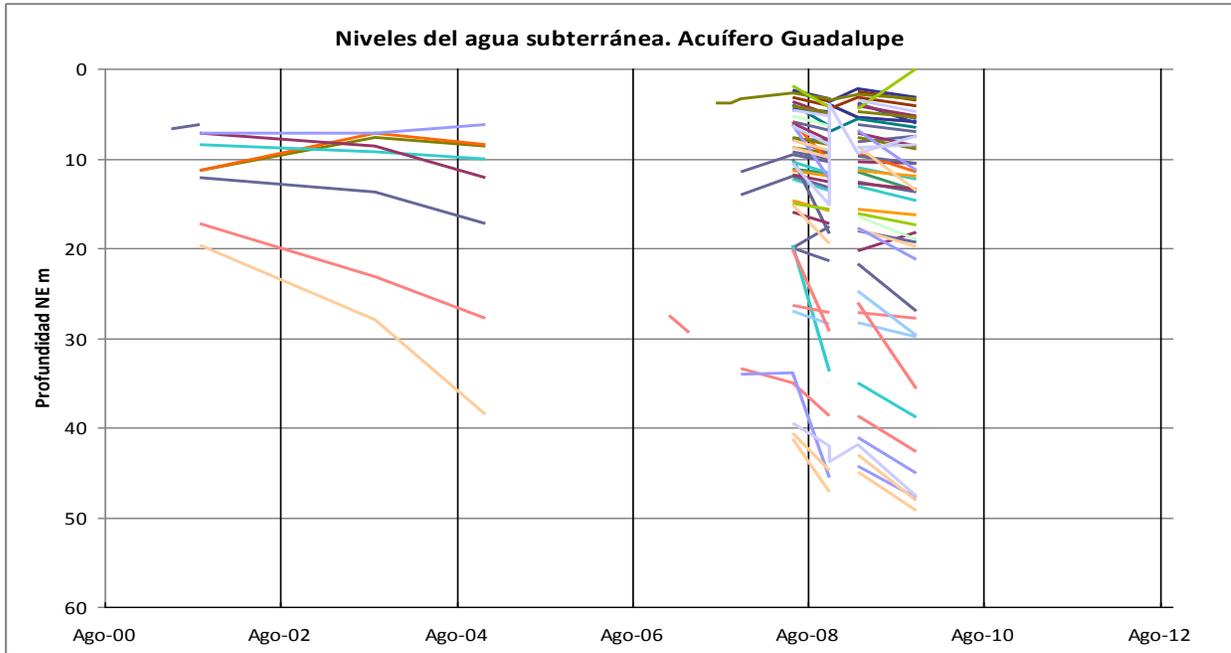


Figura 86. Hidrógrafo de pozos piloto (2001-2009).

Profundidad del nivel estático acuífero Guadalupe

La configuración de curvas de igual profundidad al nivel estático elaboradas con información del año 1990 se presentan en la Figura 87, misma donde se observa 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 87 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.

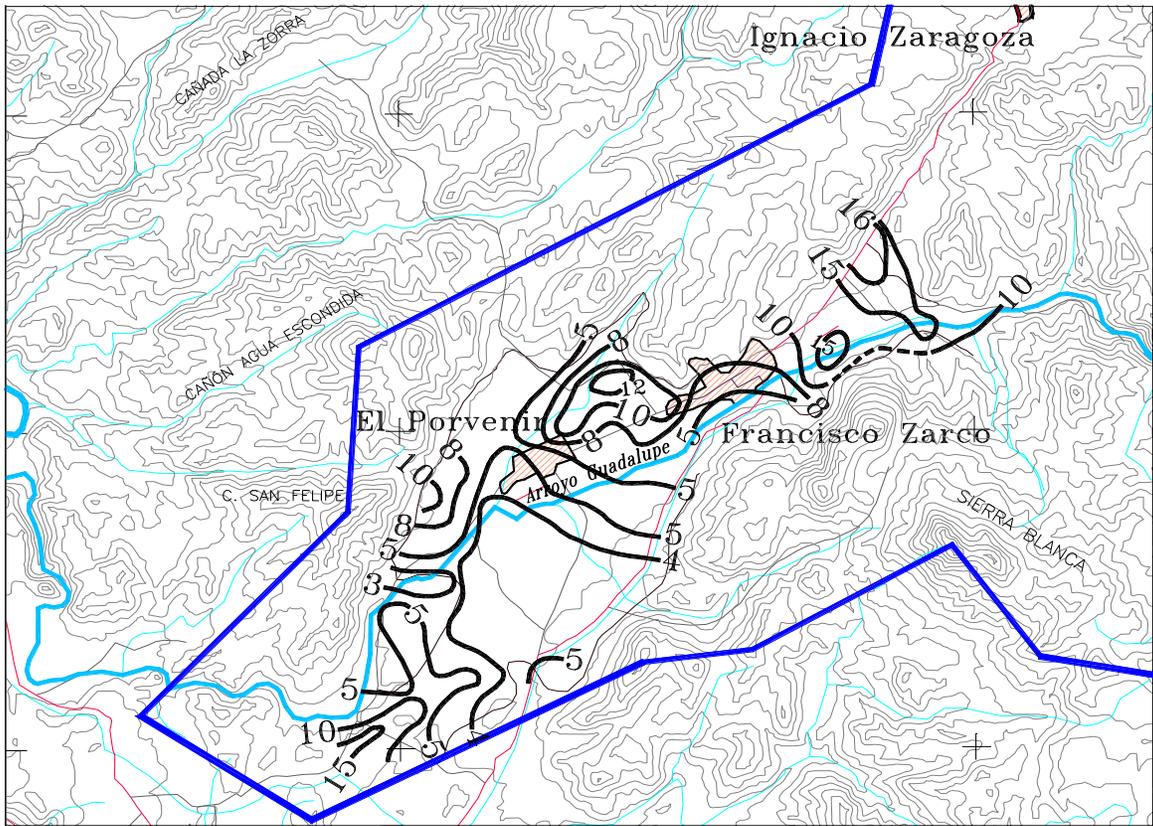


Figura 87. Curvas de igual profundidad del nivel estático en 1990.

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 88 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.

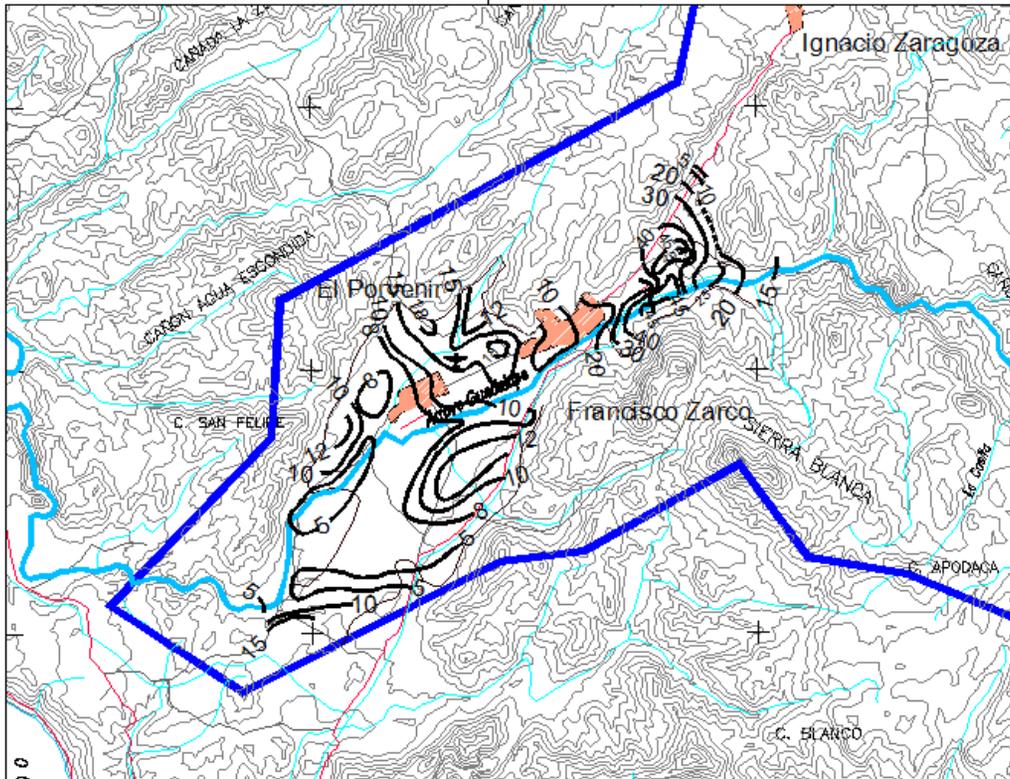


Figura 88. Curvas de igual profundidad del nivel estático en 2009.

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 88, hacia los alrededores del límite de la Fosa Calafia así como con las formaciones geológicas que lo 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 88.

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.

Elevación del nivel estático en el acuífero Guadalupe

De acuerdo con la configuración del año 1990 que se presenta en la Figura 89 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 m.s.n.m., mientras que la cota más baja, que se localiza a la salida del arroyo Guadalupe con el límite del acuífero fue de 285 m.s.n.m., lo que indica que en esta parte existe una pequeña salida de agua subterránea.

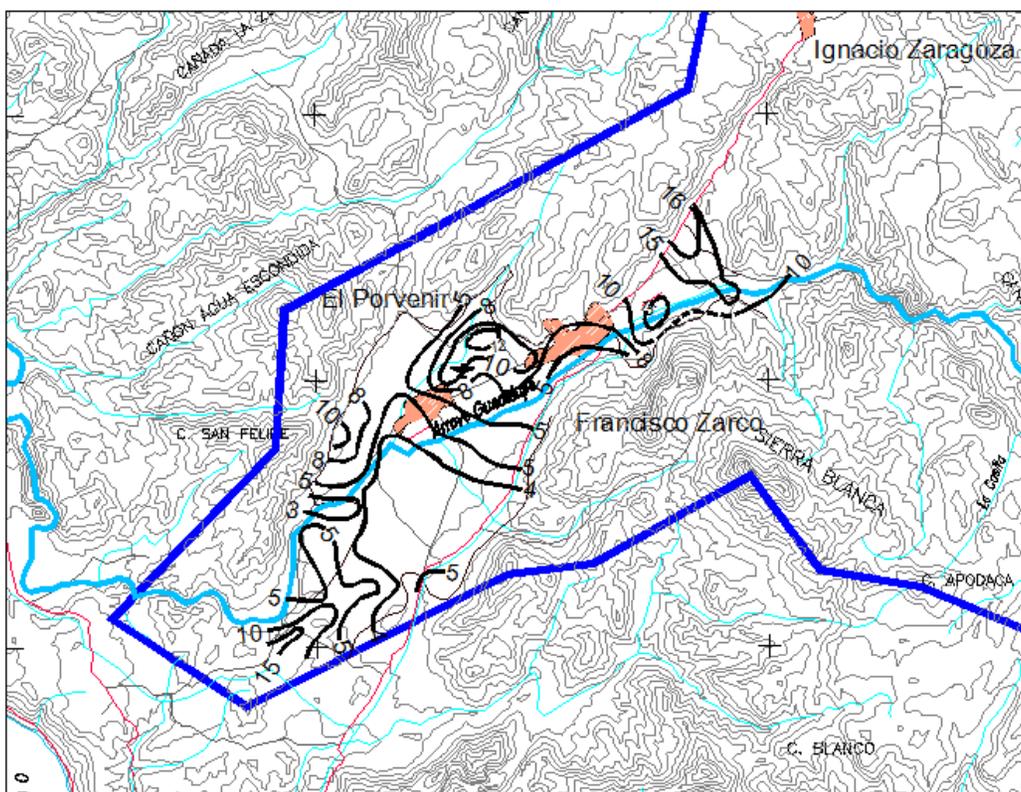


Figura 89. Curvas de igual elevación del nivel estático en 1990.

Al observar la Figura 90 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 m.s.n.m., dado que en tanto en la parte noreste de esta fosa las altitudes más altas del nivel estático son del orden de 380 m.s.n.m. 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 m.s.n.m. Hacia el sur de este poblado las altitudes descienden desde los 315 m.s.n.m. hasta 285 y 260 m.s.n.m. y a la salida del Arroyo Guadalupe en los límites del acuífero en estudio, donde sigue persistiendo la pequeña salida de agua subterránea.

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.

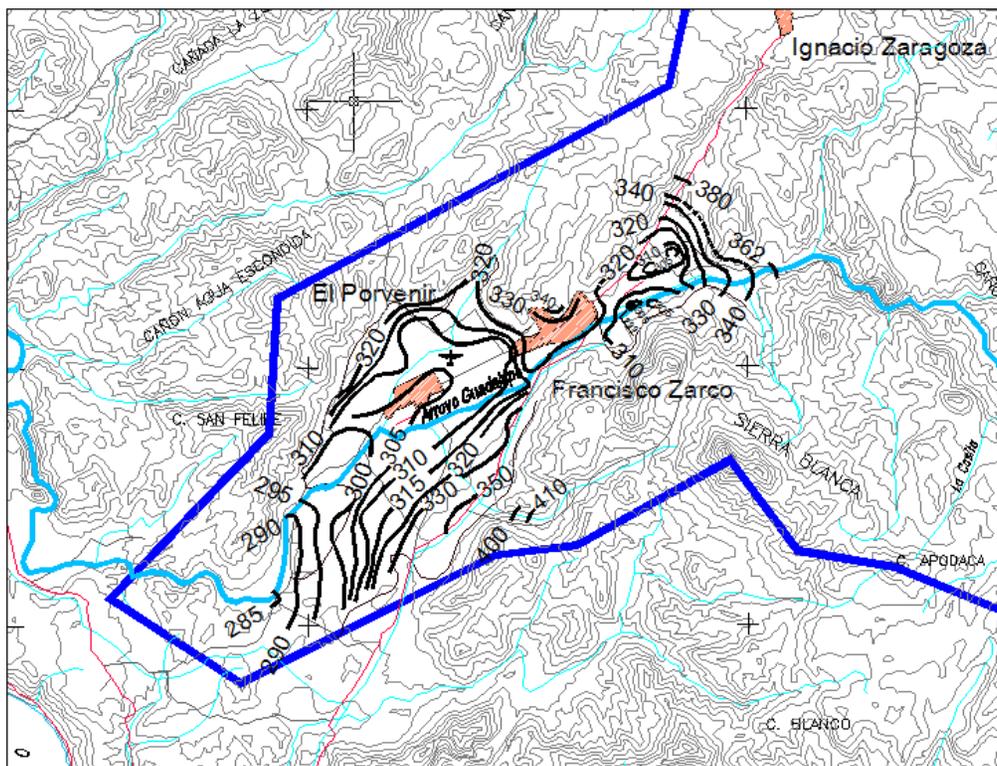


Figura 90. Curvas de igual elevación del nivel estático en 2009.

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 $0.15 \text{ hm}^3/\text{año}$, no necesariamente seguirían el curso del arroyo Guadalupe, sino que era posible que tuviera otra dirección. Sin embargo de ser esta la posibilidad de salida se considera que no son volúmenes relevantes que afecten el funcionamiento del acuífero La Misión.

Evolución del Nivel estático

Como se mencionó en la metodología, 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, Figura 91 y Figura 92, respectivamente. En los 20 años que abarca el periodo 1990-2009, como se observa en la Figura 91 se presentan 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.

Los abatimientos que se presentan, son un claro indicador de la sobreexplotación que está sufriendo el acuífero.

Además se formó la Figura 92, 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.

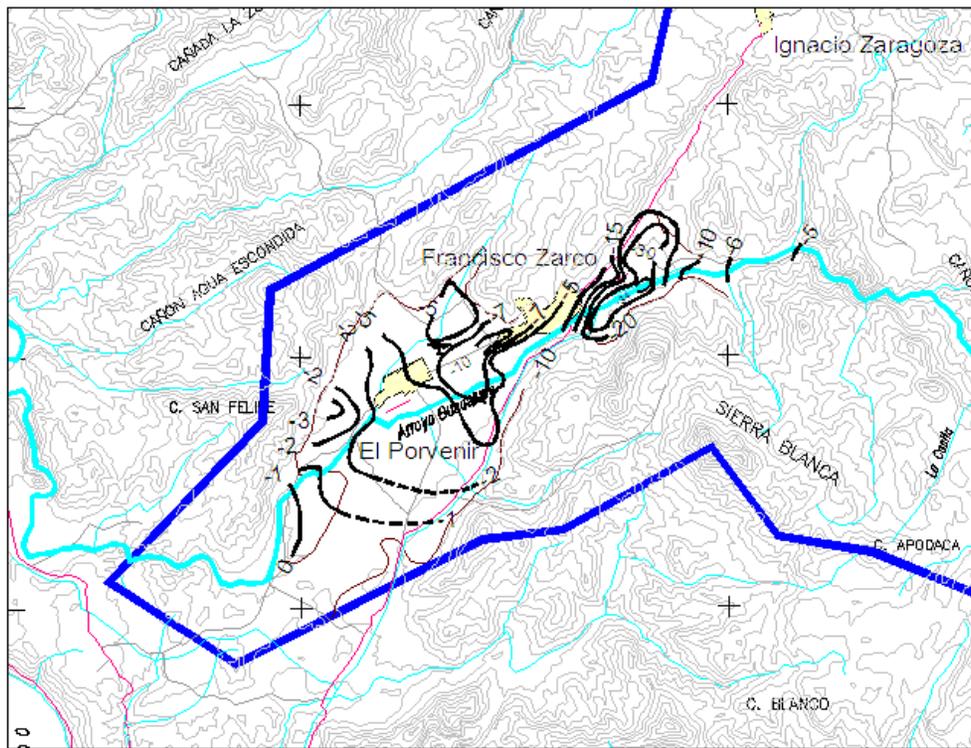


Figura 91. Curvas de igual evolución del nivel estático 1990-2009.

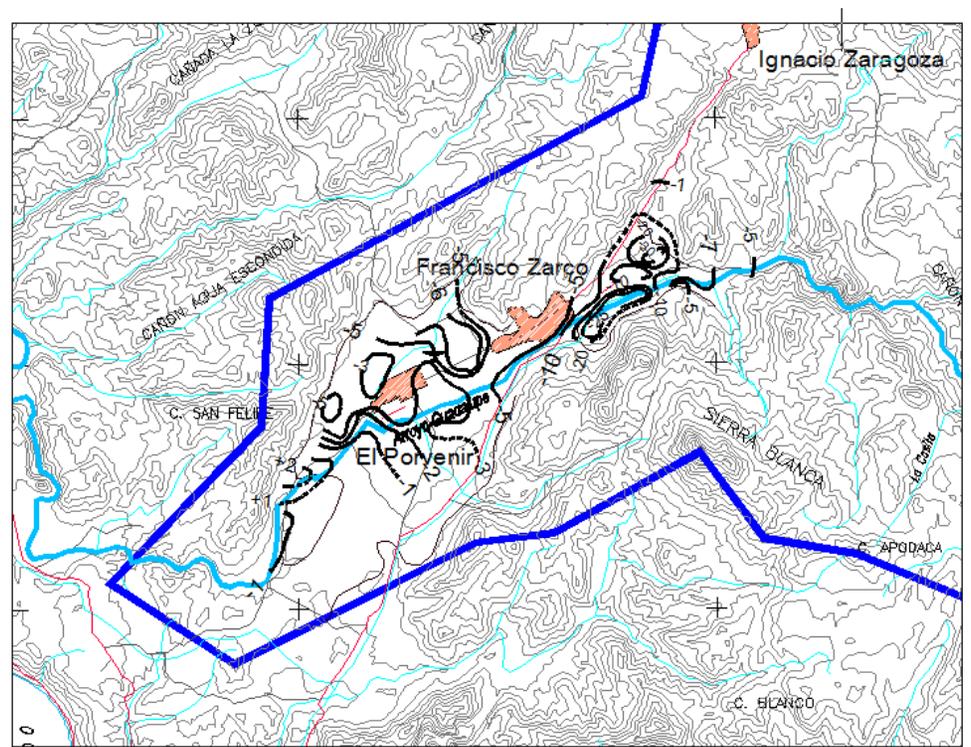


Figura 92. Curvas de igual evolución del nivel estático 2001-2009.

6.3. BALANCE HÍDRICO DEL ACUÍFERO.

6.3.1. Precipitación.

Las estaciones climatológicas consultadas, distribuidas en el área de estudio, se muestran en el Cuadro 15, así como los valores de precipitación reportados en las mismas.

Cuadro 15. Precipitación en el acuífero Guadalupe.

PRECIPITACIÓN EN EL ACUIFERO GUADALUPE (mm)							
Año	Agua Caliente	Ignacio Zaragoza Belem	Boquilla Santa Rosa	El Pinal	Olivares Mexicanos	La Misión	Ejido Carmen Serdán
1950			99.5				
1951			287.3				
1952			419.8				
1953			83.2				
1954			185.9				
1955			150.9		309.1		
1956					94.0		
1957			291.4		360.8		
1958			205.4		358.2		
1959			96.8		118.0		
1960			164.8		159.4		
1961			83.9		133.5		
1962					240.2		
1963					233.5		
1964			140.7		156.5		
1965		545.7			510.5		
1966		111.7	295.8		241.4		
1967		283.0	312.3		244.2		
1968		145.2	147.3		121.8		
1969	261.7	455.1	384.0	552.6	354.2		
1970	238.0	303.1	280.6	342.9			
1971	160.0	269.4	264.8	361.6	207.5		
1972	190.5	227.6	180.3	173.5	169.0		
1973	249.0	379.7	300.5	396.6	308.5		
1974		253.5	212.8	362.6	204.5		
1975	200.4	230.6	224.3		237.5		
1976	350.9	424.5	388.0	546.5	428.5		
1977	319.4	354.6	263.0	505.0	294.0		
1978	589.2	791.6	709.0	1110.3	801.1		

PRECIPITACIÓN EN EL ACUIFERO GUADALUPE (mm)							
Año	Agua Caliente	Ignacio Zaragoza Belem	Boquilla Santa Rosa	El Pinal	Olivares Mexicanos	La Misión	Ejido Carmen Serdán
1979	304.0	385.0			301.3		
1980	522.7	696.8	649.8	943.2	626.8		
1981	231.1	293.0	274.3	391.6	283.9		
1982			401.5	717.0	426.6		557.0
1983	554.8		735.8	1040.7	651.3		810.8
1984	142.5		251.5	323.3	176.3		
1985	241.6	250.7	317.9	491.4	316.6		
1986		289.9	295.6	385.3	212.1		
1987	379.8	441.9		567.0	503.4		
1988	209.7				288.1		
1989	59.0			143.7	82.5		38.0
1990	183.3	233.6					
1991	306.4						484.0
1992	438.1						
1993	433.6				459.6		232.5
1994	249.1	274.5			220.3		386.3
1995	378.0						
1996	172.9	241.5					123.0
1997	282.3						513.5
1998	515.7	586.6		218.3			141.0
1999	123.2						140.1
2000	172.0	174.2	206.7			206.7	
2001	280.5	266.7	265.5			265.5	74.5
2002	103.1		143.1			143.1	203.5
2003	246.7		319.2			319.2	370.5
2004	383.5	321.0	441.5			441.5	
2005	183.5		272.8			272.8	144.0
2006	137.9		174.1			174.1	99.5
2007	134.0				182.5	140.7	
2008					231.6	377.2	

De la colecta de información de precipitación de diferentes años en las estaciones climatológicas ubicadas en el Valle de Guadalupe y puntos aledaños se generó un resumen, el cual se presenta en el Cuadro 16.

Cuadro 16. Identificación y ubicación de las estaciones climatológicas que se emplearon para analizar la información de precipitación pluvial en el Valle de Guadalupe, B.C. y puntos de referencia aledaños.

Nombre de la Estación	Longitud	Latitud	Altitud	Años
			m.s.n.m.	
La Misión	-116.81111	32.10194	40	9
Presa Emilio López Zamora	-115.59722	31.89583	55	64
Boquilla Sta. Rosa de La Misión	-116.77694	32.02167	250	39
Olivares Mexicanos	-116.68083	32.04917	315	38
Agua Caliente	-116.45417	32.10750	400	36
Ignacio Zaragoza -Belén-	-116.48556	32.19528	555	27
El Pinal	-116.29167	32.18333	1350	19

6.3.1.1. Evaluación de la precipitación en el Valle de Guadalupe.

Los registros climáticos en las distintas estaciones que se pudo disponer son muy variados y no están reportados todos los años. Hay estaciones como la de la “Presa Emilio López Zamora” que incluye datos desde 1926, hasta la más reciente “La Misión” la cual cuenta con sólo nueve años de operación. En el Cuadro 17 se presentan los valores estadísticos obtenidos de los registros de precipitación pluvial de las distintas estaciones climatológicas ubicadas en el área de estudio.

Cuadro 17. Parámetros estadísticos calculados con base en los registros de precipitación pluvial total anual de las distintas estaciones climatológicas ubicadas en el área de estudio.

Nombre de la Estación	Precipitación Pluvial Anual				Registro
	Mínimo	Promedio	Mediana	Máximo	
	Mm	mm	mm	mm	Años
La Misión	141	260	266	442	9
Presa Emilio López Zamora	71	267	230	677	64
Boquilla Sta. Rosa de la Misión	83	280	266	736	39
Olivares Mexicanos	83	296	243	801	38
Agua Caliente	59	276	248	589	36
Ignacio Zaragoza –Belén-	112	342	290	792	27
El Pinal	144	504	397	1110	19

La distribución de frecuencia de la precipitación pluvial total anual registrada en cada una de las estaciones evaluadas en el área de estudio se presenta en el Cuadro 18.

El rango de precipitación anual más frecuente en el Valle de Guadalupe fluctúa entre 150 y 250 mm. Con el propósito de identificar la variación en la precipitación en la región, se relacionó la precipitación total anual que registró la estación más completa (Presa Emilio López Zamora) con la información reportada por las demás estaciones. Esta información se presenta en el Cuadro 19. La tendencia de la precipitación pluvial a través de los años varía de manera similar entre las estaciones climatológicas evaluadas, cuyas diferencias se modifican de manera proporcional, esto es, no hubo discrepancias notables en cuanto a la cantidad registrada en cada una de ellas a excepción de lo que ocurre en la estación El Pinal, donde llueve más de 70% que en la ciudad de Ensenada, lo cual es natural por la posición geográfica de cada estación y altitud sobre el nivel del mar.

Cuadro 18. Distribución de frecuencia de la precipitación pluvial total anual registrada en cada una de las estaciones evaluadas en el área de estudio.

Frecuencia	Presa Emilio López Zamora	Boquilla Sta. Rosa de La Misión	Olivares Mexicanos	Agua Caliente	Ignacio Zaragoza - Belén-	El Pinal
mm	%	%	%	%	%	%
<150	14.1	17.9	13.2	16.7	7.4	5.3
150 a 200	15.6	12.8	13.2	16.7	3.7	5.3
200 a 250	26.6	10.3	26.3	22.2	14.8	5.3
250 a 300	12.5	28.2	7.9	8.3	29.6	0.0
300 a 350	9.4	10.3	10.5	8.3	7.4	10.5
350 a 400	6.3	5.1	7.9	11.1	11.1	26.3
>400	15.6	15.4	21.1	16.7	25.9	47.4
	Rangos con mayor porcentaje de precipitación pluvial					
150 a 250	56.3		52.6	55.6		
200 a 300		51.3				
250 a 350					51.9	
>400						84.2

La tendencia del efecto de la posición topográfica sobre la distribución de la lluvia se puede apreciar con mayor claridad en el 0, donde se presenta cada uno de los parámetros de las ecuaciones de regresión obtenidas de la tendencia de la precipitación pluvial total anual (mínima, promedio, mediana y máxima) con la altura sobre el nivel del mar.

Cuadro 19. Parámetros de regresión de la tendencia entre la precipitación pluvial total anual registrada en la estación climatológica Presa Emilio López Zamora (PPELZ) con cada una de las estaciones (PP) ubicadas en el área de estudio.

Nombre de la Estación	$PP=f(P_{PELZ})$	
	Pendiente	R^2
	mm	
La Misión	1.132	0.85
Boquilla Sta. Rosa de la Misión	1.112	0.84
Olivares Mexicanos	1.154	0.92
Agua Caliente	0.965	0.90
Ignacio Zaragoza –Belén-	1.186	0.80
El Pinal	1.705	0.86

Cuadro 20. Ecuaciones de regresión obtenidas de la tendencia de la precipitación pluvial total anual (P_p) con la altura sobre el nivel del mar (A_{SNM}), empleada esta última como variable independiente.

Variable dependiente	$P_p=f(A_{SNM})$		R^2
	Intercepto	Pendiente	
	mm	$mm\ m^{-1}$	
P_p mínima	0.057	69.4	0.96
P_p promedio	0.194	232.3	0.96
P_p mediana	0.131	214.4	0.95
P_p máxima	0.326	658.2	0.96

La distribución de las lluvias a través del tiempo obedece también a fenómenos cíclicos, como es el caso de la oscilación del sur El Niño que se presenta en diciembre en el Océano Pacífico la cual altera la presión atmosférica, cambiando la dirección y velocidad de los vientos y con ello el desplazamiento de las lluvias. Este fenómeno se conoce que ha estado

ocurriendo desde hace varios miles de años, el cual se detecta por los cambios en la temperatura que ocurre en la superficie del océano.

Cuando no ocurre dicho fenómeno, los vientos que circulan de Este a Oeste (vientos Alisios) acumulan agua y calor en la zona occidental del Océano Pacífico, dando lugar a características específicas en las condiciones climáticas, pero cuando se presenta “El Niño” se modifica el ambiente afectando la circulación atmosférica, se incrementa la temperatura de las aguas costeras y con ello la vida marina. Las zonas con lluvias abundantes se tornan escasas y en las áreas donde suelen ser secas se producen precipitaciones intensas.

En el caso del fenómeno conocido como “La Niña” es contrario a lo que ocurre con “El Niño”, el cual hace descender las temperaturas y provoca intensas sequías en las zonas costeras del Pacífico. Esto se detectó desde inicios del siglo XX y se ha registrado su presencia en los años 1903, 1906, 1909, 1916, 1924, 1928, 1938, 1950, 1954, 1964, 1970, 1973, 1975, 1988 y 1995.

De acuerdo con el enólogo Hugo D’Acosta, los valles vitivinícolas de Baja California presentan por lo general variaciones moderadas, algunas veces medias y rara vez extremas entre sus añadas, lo que hace que la calidad de los vinos que ahí se producen suela ser consistente. Un año seco repercute en la cantidad de vino que es factible producir; sin embargo, cambia la calidad de la uva por lo que dicha situación favorece obtener vinos con mayor concentración de sabores. En 1998 el año de "El Niño" ocasionó una precipitación poco usual por su abundancia y, en contraste, en 1999 “el año de La Niña" ocasionó un invierno frío con precipitaciones escasas.

A través del trazo de polígonos de Thiessen se determinó el área de influencia de cada estación, con el fin de calcular la precipitación media en el acuífero Guadalupe.

Cuadro 21. Precipitación en la zona del acuífero Guadalupe.

NOMBRE	Precipitación media (mm)	Superficie (Km2)
Agua caliente	275.80	289.00
Ignacio Zaragoza -Belen	341.90	153.80
Boquilla santa rosa de la	280.00	3.04
El Pinal	503.80	338.61
Olivares Mexicanos	296.00	159.48
La Mision	260.10	12.58
Ejido Carmen Serdan	287.90	6.83
Total	2245.50	963.33
PRECIPITACIÓN MEDIA (mm)		369.73

6.3.2. Evaporación y transpiración.

En el Cuadro 22 se presentan las tablas de datos de temperatura obtenidos de las estaciones climatológicas distribuidas a lo largo de la zona de estudio.

Cuadro 22. Valores de temperatura en el acuífero Guadalupe.

TEMPERATURA MEDIA EN EL ACUIFERO GUADALUPE (°C)							
Año	Agua Caliente	Ignacio Zaragoza-Belem	Boquilla Santa Rosa	El Pinal	Olivares Mexicanos	La Misión	Ejido Carmen Serdán
1950			14.7				
1951			15.1				
1952			14.8				
1953			15.2				
1954			15.5				
1955			14.8		16.8		
1956					17.8		
1957			15.2		17.6		
1958			15.9		18.1		
1959			16.0		18.9		
1960			14.8		17.9		
1961			15.0		17.3		
1962							
1963					17.3		
1964			14.4		16.3		
1965		15.6			16.6		
1966		16.6	14.9		17.0		
1967		17.2	14.1		17.1		
1968		16.4	14.2		17.1		
1969	17.9	16.3	14.7	14.3	17.0		

TEMPERATURA MEDIA EN EL ACUIFERO GUADALUPE (°C)							
Año	Agua Caliente	Ignacio Zaragoza-Belem	Boquilla Santa Rosa	El Pinal	Olivares Mexicanos	La Misión	Ejido Carmen Serdán
1970	18.0	17.2	14.7	13.8			
1971	17.4	15.5	14.0		15.5		
1972	18.1		14.6		16.1		
1973	17.0	16.1	13.9	12.3	15.4		
1974			14.6	12.7	16.1		
1975	17.0	16.6	14.1		15.4		
1976	17.9	17.4	14.9	10.9	16.7		
1977	18.4	17.3	15.1	10.8	16.7		
1978	18.1	16.1	15.1	9.5	16.6		
1979	17.9	15.6			16.2		
1980	18.5	16.6	17.5	11.6	16.8		
1981	18.9	16.7	17.1	12.9	17.0		
1982			15.2	10.6	15.8		16.4
1983	17.7		16.0	11.8	16.4		17.1
1984	18.2		16.5	12.7	16.8		
1985	17.8	16.1	15.8	11.2	16.2		
1986		15.1	15.9	10.6	16.7		
1987	17.3	14.9		11.8	15.9		
1988	18.0				15.9		
1989	18.7			14.2	16.9		18.6
1990	18.2	17.2					
1991	17.4						18.4
1992	18.4						
1993	17.9				16.6		
1994	17.7	15.0			15.5		11.3
1995	18.6	16.8					
1996	18.7						
1997	18.3						10.3
1998	16.8	12.9					12.1
1999	17.1						12.6
2000	18.3		17.4			17.4	
2001	17.9		16.8			16.8	
2002	17.9		16.8			16.8	13.0
2003	18.6		17.4			17.4	13.5
2004	17.6	23.4	17.2			17.2	
2005	18.3		17.0			17.0	15.5
2006	19.1		17.2			17.2	
2007	18.5				15.8	17.4	
2008						17.6	
Promedio	18.0	16.4	15.4	12.3	16.7	17.2	14.9

TEMPERATURA MEDIA EN EL ACUIFERO GUADALUPE (°C)							
Año	Agua Caliente	Ignacio Zaragoza-Belem	Boquilla Santa Rosa	El Pinal	Olivares Mexicanos	La Misión	Ejido Carmen Serdán
Años completos	36.0	23	39	16	36	9	11
Promedio 1975-1985	18.0	16.5	15.5	12.0	16.7	17.2	14.4

Cuadro 23. Valores estadísticos de la Temperatura en el acuífero Guadalupe.

Nombre de la Estación	Temperatura media anual (°C)				Registro
	Mínimo	Promedio	Mediana	Máximo	Años
La Misión	16.8	17.2	17.2	17.6	9
Ejido Carmen Serdán	10.3	14.9	13.5	18.6	64
Boquilla Sta. Rosa de la Misión	13.9	15.4	15.1	17.5	39
Olivares Mexicanos	15.4	16.7	16.7	18.9	36
Agua Caliente	16.8	18	18	19.1	36
Ignacio Zaragoza –Belén-	12.9	16.4	16.4	23.4	23
El Pinal	9.5	12.3	11.8	14.3	16

En base a los datos disponibles de precipitación y temperatura se empleó el Método de Blaney y Criddle para estimar la evapotranspiración en el acuífero..

Cuadro 24. Evapotranspiración calculada para la estación Olivares Mexicanos.

Olivares Mexicanos			
Mes	Eto (cm)	Kc	Etr(cm)
Enero	5.86	0.2	1.17
Febrero	5.91	0.23	1.36
Marzo	7.34	0.25	1.83
Abril	8.48	0.25	2.12
Mayo	10.58	0.35	3.70
Junio	12.22	0.50	6.11
Julio	14.64	0.6	8.78
Agosto	14.39	0.25	3.60
Septiembre	12.00	0.24	2.88
Octubre	9.72	0.23	2.23
Noviembre	7.07	0.2	1.41
Diciembre	5.77	0.2	1.15
Total	113.97		36.36

Cuadro 25. Evapotranspiración calculada para la estación Agua Caliente.

Agua Caliente			
Mes	Eto (cm)	Kc	Etr(cm)
Enero	6.30	0.2	1.26
Febrero	6.44	0.2	1.29
Marzo	8.14	0.2	1.63
Abril	9.85	0.2	1.97
Mayo	12.78	0.2	2.56
Junio	15.71	0.55	8.64
Julio	19.24	0.25	4.81
Agosto	18.84	0.2	3.77
Septiembre	15.53	0.2	3.11
Octubre	11.63	0.2	2.33
Noviembre	7.97	0.2	1.59
Diciembre	6.14	0.2	1.23
Total	138.55		34.17

Cuadro 26. Evapotranspiración calculada para la estación El Pinal.

El Pinal			
Mes	Eto (cm)	Kc	Etr(cm)
Enero	3.66	0.2	0.73
Febrero	3.82	0.2	0.76
Marzo	4.63	0.2	0.93
Abril	6.22	0.2	1.24
Mayo	8.05	0.2	1.61
Junio	11.35	0.58	6.58
Julio	13.73	0.55	7.55
Agosto	12.58	0.25	3.15
Septiembre	9.78	0.2	1.96
Octubre	7.03	0.2	1.41
Noviembre	4.84	0.2	0.97
Diciembre	3.81	0.2	0.76
Total	89.49		27.64

Cuadro 27. Evapotranspiración calculada para la estación Ignacio Zaragoza.

Ignacio Zaragoza			
Mes	Eto (cm)	Kc	Etr(cm)
Enero	5.47	0.2	1.09
Febrero	5.36	0.2	1.07
Marzo	6.84	0.2	1.37
Abril	8.42	0.2	1.68
Mayo	11.37	0.3	3.41
Junio	14.55	0.35	5.09
Julio	18.75	0.55	10.31
Agosto	18.38	0.25	4.59
Septiembre	14.14	0.2	2.83
Octubre	10.44	0.2	2.09
Noviembre	6.95	0.2	1.39
Diciembre	5.24	0.2	1.05
Total	125.92		35.98

Cuadro 28. Evapotranspiración calculada para la estación La Misión

La Misión			
Mes	Eto (cm)	Kc	Etr(cm)
Enero	6.73	0.2	1.35
Febrero	6.67	0.2	1.33
Marzo	8.54	0.25	2.13
Abril	9.75	0.35	3.41
Mayo	12.57	0.35	4.40
Junio	13.93	0.65	9.05
Julio	16.28	0.6	9.77
Agosto	15.71	0.2	3.14
Septiembre	13.27	0.2	2.65
Octubre	10.90	0.3	3.27
Noviembre	8.00	0.2	1.60
Diciembre	6.31	0.2	1.26
Total	128.67		43.38

Para el cálculo de la evapotranspiración se descartan la estación Boquilla Sta. Rosa de la Misión así como Ejido Carmen Serdán por tener un área de influencia no considerable para el cálculo, además de no presentar cobertura vegetal.

A continuación se presenta una tabla resumen de los cálculos de evapotranspiración.

Cuadro 29. Evapotranspiración, Blaney Criddle.

Evapotranspiración Blaney Criddle				
Estación	Superficie (km²)	ET₀ (cm)	ETr (cm)	Volumen (hm/año)
Boquilla santa rosa	3.04	113.89	0	0
Olivares mexicanos	159.48	113.97	36.36	57.99
Agua caliente	289	138.55	34.17	98.75
El pinal	338.61	89.49	27.64	93.60
Carmen Serdan	6.83	110.67	0	0
Ignacio Zaragoza	153.8	125.92	35.98	55.34
La mision	12.58	128.67	43.38	5.46
TOTAL				311.14

6.3.3. Flujo superficial global.

El factor “K” está en función de la cobertura y tipo de suelo que se presenta en la zona de estudio, el Cuadro 30 muestra los valores empleados para el cálculo.

Cuadro 30. Valor del facto "K" según cobertura del suelo.

Suelo	Cobertura vegetal (K)			Factor "K" global
	Pastizal del 25 al 50%	Bosque cerca 50 %		
		Bajo	Alto	
Tipo B	0.26	0.26	0.28	0.27

Cuadro 31. Esgurrimiento calculado en el acuífero Guadalupe.

Cálculo del Esgurrimiento superficial		
Coficiente de esgurrimiento	0.09	
Volumen esgurrimiento medio anual	32.86	hm ³ /año

6.3.4. Infiltración.

Como parte del balance se considera que el residuo de la precipitación que no es evapotranspirada así como aquella que no escurre, se infiltra en el acuífero, a continuación se presenta el resultado de recarga por infiltración.

Cuadro 32. Cálculo del volumen de infiltración.

CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE INFILTRACIÓN		
Área total del acuífero	963.30	Km ²
Volumen anual precipitado	353.46	hm ³ /año
Evapotranspiración	311.06	hm ³ /año
Escurrimiento medio anual	32.86	hm ³ /año
Volumen de Infiltrado	11.54	hm ³ /año

6.3.4. Entradas de retorno.

Las entradas de retorno se determinaron a través de un coeficiente de retorno para la zona agrícola, así como para el uso público urbano, los cuales son 0.07 y 0.1 respectivamente.

6.3.5 Flujo sub-superficial.

El flujo subsuperficial de acuíferos adyacentes pueden representar una recarga al acuífero, sin embargo dada las condiciones de frontera del acuífero Guadalupe se considera ésta entrada como nula.

6.3.6 Flujo subterráneo profundo.

EL flujo subterráneo profundo se considera como una entrada horizontal de agua al acuífero, para nuestro caso se considera un volumen de 0.92 hm³/año.

6.3.7 Salidas horizontales.

En cuanto a salidas horizontales, dada las características del acuífero éstas se consideran como cero, por lo que no interfieren en el balance del mismo

6.3.7. Resultados del balance hídrico.

Conocidos los datos de entrada y salida de agua en la zona del acuífero Guadalupe, se realizó el balance hídrico el cual se representa en los siguientes cuadros..

Cuadro 33. Entradas verticales al acuífero.

Entradas Verticales	hm³/año
Precipitación	355.46
Evapotranspiración	311.14
Flujo superficial global	32.86
Infiltración	11.54
*Recarga inducida de agua subterránea en el uso agrícola	0.87
**Recarga inducida de agua subterránea en el uso público urbano	0.05
Entradas Verticales	12.46

*Se considera un coeficiente de retorno para la zona agrícola de 0.07 **Se considera un coeficiente de retorno para la zona urbana de 0.1

Cuadro 34. Entradas horizontales al acuífero.

Entradas Horizontales	hm³/año
Flujo subsuperficial	0.92
Entradas horizontales	0.92

Cuadro 35. Salidas verticales del acuífero..

Salidas Verticales	hm³/año
Salidas verticales	20.46

Cuadro 36. Resultados del balance hídrico.

CONCEPTO	hm³/año
Entradas Verticales	12.46
Entradas horizontales	0.92
Entradas totales	13.38
Salidas verticales	20.46
Salidas totales	20.46
Minado	-7.08

6.3.6. Cálculo de volumen minado a través de curvas del nivel de evolución estático.

Una forma diferente para determinar el volumen minado del acuífero del Valle de Guadalupe es a través de las curvas de evolución del nivel estático del mismo. Conocida el área de influencia de cada curva se determina un volumen que se multiplica por el

coeficiente de almacenamiento para conocer el volumen total minado. En el Cuadro 37 se presentan distintos valores según el material permeable del suelo, de acuerdo con las características del suelo del acuífero, se empleó un coeficiente de almacenamiento de 0.05 con el que se calculó un volumen minado de 7.65 hm³/año. Existe una variación del volumen minado con respecto al calculado en el apartado 6.3.5, pero se puede llegar a un mejor cálculo determinando el coeficiente de almacenamiento del acuífero a través de pruebas hidrogeológicas.

Cuadro 37. Coeficientes de almacenamiento.

Valores de coeficientes de almacenamientos según el tipo de suelo		
Material permeable	Acuífero	Coeficiente de almacenamiento (valores medios)
Kárstico: Calizas y dolomías jurásicas	Libre	2×10^{-2}
	Semiconfinado	5×10^{-4}
	Confinado	5×10^{-5}
Calizas y dolomías cretácicas y terciarias	Libre	2×10^{-2} - 6×10^{-2}
	Semiconfinado	10^{-3} - 5×10^{-4}
	Confinado	10^{-4} - 5×10^{-5}
Poroso intergranular gravas y arenas	Libre	5×10^{-2} - 15×10^{-2}
	Semiconfinado	10^{-3}
	Confinado	10^{-4}
Kársticos y porosos: Calcarenitas marinas terciarias	Libre	15×10^{-2} - 18×10^{-2}

Fuente: Iglesias (2002).

6.4. ANÁLISIS QUÍMICO.

Para el análisis químico se consideraron un total de 205 sitios, de los cuales 139 corresponden a muestras de suelo y 66 a muestras de agua (todos ellos incorporados al Sistema de Información Geográfica), Figura 93.

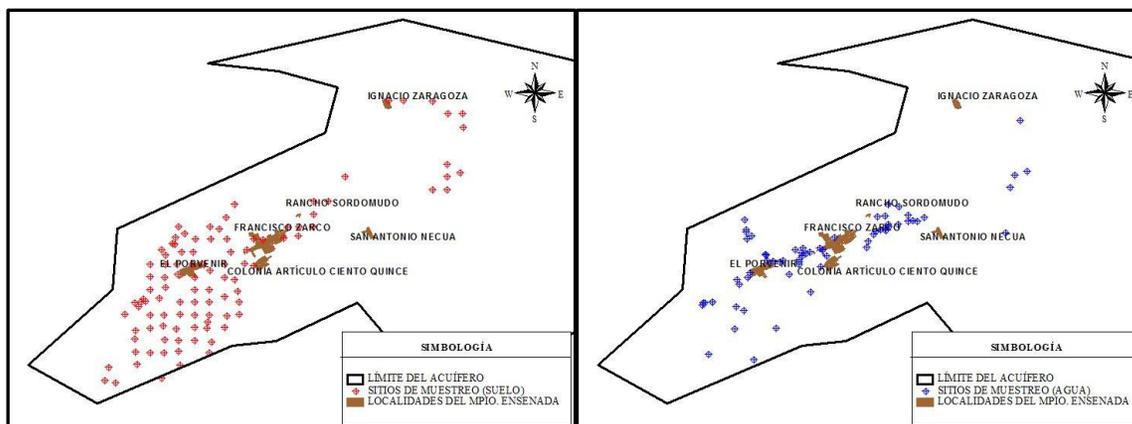


Figura 93. Sitios de muestreo de suelo (izquierda) y agua (derecha).

6.4.1. Análisis de muestreo de suelo.

De la colecta de muestras de suelo compuestas (5 submuestras por muestra compuesta) de 0-20 cm de profundidad en el cauce del arroyo de Guadalupe y en terrenos sin actividad agropecuaria dentro del Valle de Guadalupe, se geoposicionaron los sitios de muestreo que se enlistan en el Anexo 1.

Del mismo modo, se realizó una nueva colecta de muestras compuestas de suelo (5 submuestras por muestra compuesta) de 0-20 cm de profundidad en sitios con actividad agropecuaria (agostaderos y producción de cultivos) dentro del Valle de Guadalupe, ver Anexo 2.

Una vez colectadas las muestras, se prepararon y realizaron los análisis químicos señalados en el apartado 5.4 del presente estudio. Respecto a las 66 muestras de agua subterránea en 66 pozos agrícolas y de abastecimiento urbano con longitud de exploración entre 3 y 90 m de profundidad, cuyos sitios fueron georreferenciados e incorporados al Sistema de Información Geográfica, en el Anexo 3 se presenta su clave de identificación y coordenadas geográficas.

6.4.2. Resultados del muestreo de suelos.

6.4.2.1. Evaluación de los suelos.

En la Figura 94 se presentan la ubicación geográfica de los sitios donde se colectaron las muestras de suelo en el área de estudio, identificando las zonas agrícolas, no agrícolas, el cauce del arroyo de Guadalupe y los puntos de referencia, esto es, en los Valles de Ojos Negros, La Misión y la zona norte del acuífero, fuera de los límites del Valle de Guadalupe.

En la zona de estudio se aprecia un severo problema de erosión a causa del efecto del viento, el cual ha sido evaluado por la Comisión Nacional de Zonas Áridas (Gobierno de B.C., 2007), quienes calculan que se pierden al año 200 toneladas de suelo por hectárea. En contraste, dicha Institución estimó que la lluvia ocasiona una serie de escurrimientos que ocasionan una erosión hídrica moderada, perdiéndose entre 10 y 50 toneladas de suelo anuales por hectárea. Existen otros factores que agravan el problema de la erosión, como son el cambio de uso del suelo en áreas conurbadas y agrícolas, asentamientos humanos no planificados, el ensalitramiento y el abandono de grandes superficies agrícolas, ganadería de bajo nivel de tecnificación y el cambio en la composición de la flora del área, también son factores que contribuyen a la desertificación. El efecto de los procesos de erosión se aprecia en la textura de los suelos del Valle de Guadalupe, donde predominan las clases entre arenosa y franco-arenosa, mientras que el cauce del arroyo de Guadalupe es totalmente arenoso. La distribución de frecuencia de las partículas minerales entre 50 μm y 2 mm en el área de estudio se presenta en el Cuadro 38.

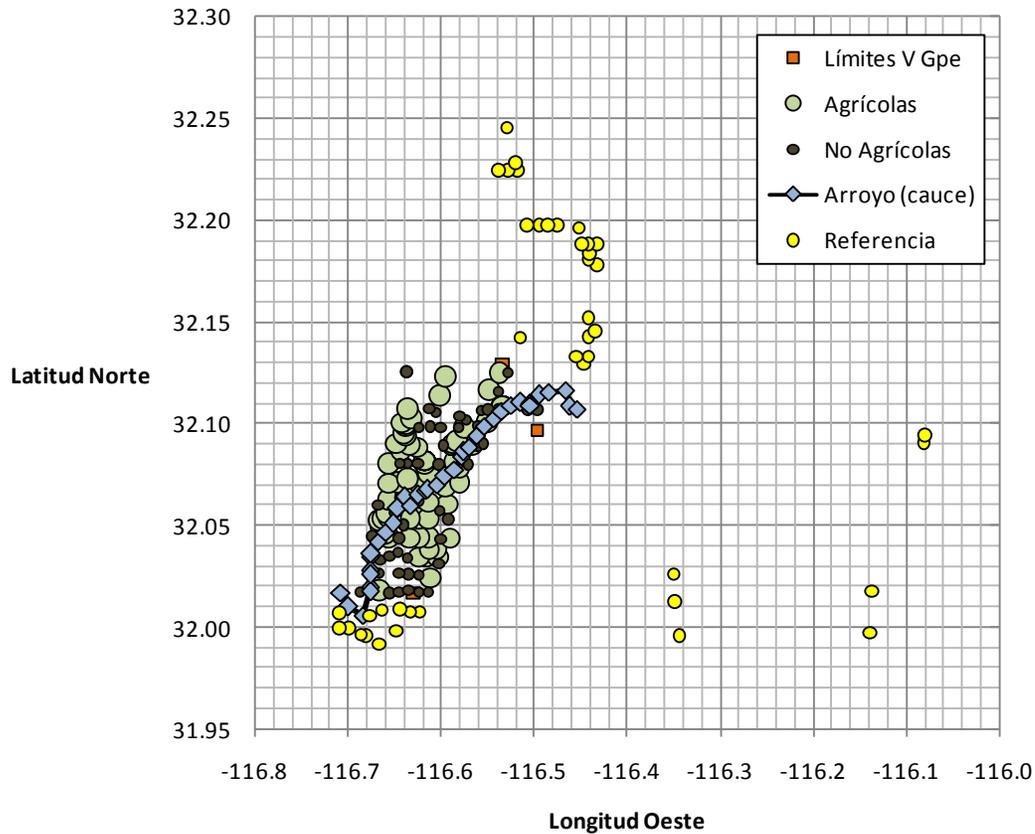


Figura 94. Ubicación geográfica de los sitios donde se colectaron las muestras de suelo en el área de estudio, identificando las zonas agrícolas, no agrícolas, el cauce del arroyo de Guadalupe y los puntos de referencia.

En contraste a la concentración de arena, los suelos en general presentan un contenido muy bajo de arcilla, cuya distribución de frecuencia se muestra en el Cuadro 39.

Cuadro 38. Distribución de frecuencia del contenido de arena en los suelos en el área de estudio y cauce del arroyo de Guadalupe.

Arena	Todos los suelos	Suelos Agrícolas	Cauce del arroyo	No Agrícolas
%	----- % -----			
<30	0	0	0	1
30 a 60	40	45	8	49
60 a 90	51	53	59	44
>90	9	2	32	6

Cuadro 39. Distribución de frecuencia del contenido de arcilla en los suelos en el área de estudio y cauce del arroyo de Guadalupe.

Arcilla	Todos los suelos	Suelos Agrícolas	Cauce del arroyo	Suelos no Agrícolas
%	----- % -----			
<5	22	7	76	15
5 a 10	41	54	22	32
10 a 15	24	28	0	31
>15	13	10	3	22

Las clases texturales permiten ver que los suelos de la región tienen una capacidad amortiguadora muy baja, de tal manera que el medio de cultivo es totalmente vulnerable a las modificaciones que se realicen a través del manejo, haciendo a las plantas más susceptibles al efecto de los insumos aplicados. Esto es, la condición natural edáfica facilitará la mejoría de la producción si las técnicas agrícolas que se llevan a cabo son las convenientes, pero en caso contrario implicará mayores riesgos de inducir efectos indeseables o tóxicos cuando no se proceda adecuadamente.

El tiempo de residencia breve de los cambios en la composición química del suelo no depende de manera exclusiva de la capacidad amortiguadora edáfica que, aunque es exigua en el caso de la región en estudio, la condición ambiental (temperatura y humedad) juegan un papel preponderante como catalizadores de las reacciones que se lleva a cabo en el medio. En el Cuadro 40 se presenta la distribución de frecuencia del pH y conductividad eléctrica como indicadores del ambiente químico edáfico en las muestras de suelo colectadas en el área de estudio y cauce del arroyo de Guadalupe.

El pH en este caso se evaluó en el extracto de la pasta de saturación, donde el ámbito de exploración fluctuó entre 6.0 y 9.1, detectando la mayor alcalinidad en los suelos ubicados en el cauce del arroyo de Guadalupe. En contraste, la conductividad eléctrica (C_E) en dichos suelos fue muy baja (en 92% de los suelos se detectó un valor inferior a 1.0 dS m^{-1}).

La C_E es un indicador de la concentración total de sales solubles presentes en el medio edáfico, que en este caso también fue medida en el extracto de la pasta de saturación.

Cuadro 40. Distribución de frecuencia de indicadores del ambiente químico edáfico (pH y conductividad eléctrica, C_E) en los suelos en el área de estudio y cauce del arroyo de Guadalupe.

pH	TS*	SA	SCA	SNA	CE	TS	SA	SCA	SNA
	----- % -----				dS m ⁻¹	----- % -----			
<7.0	14	15	0	19	<0.5	39	31	46	47
7.0 a 7.5	24	30	3	27	0.5 a 1.0	35	30	46	36
7.5 a 8.0	35	36	30	37	1.0 a 1.5	9	14	0	5
>8.0	27	20	68	17	>1.5	18	25	8	12

TS=Todos los suelos; SA=Suelos Agrícolas; SCA=Suelos del cauce del Arroyo; SNA=Suelos no agrícolas

Algo interesante es que considerando a todos los suelos estudiados (agrícolas, no agrícolas, del cauce del arroyo), el valor de la mediana de la C_E fue de 0.58 dS m⁻¹, lo cual indica que definitivamente los suelos de la región no deben considerarse como salinos. Si esta información la analizamos con mayor detalle, apreciamos que en 83% de los suelos donde no se tienen actividades humanas de ningún tipo (agrícolas, pecuarias, urbanas, industriales, etc.) se detectaron valores bajos de C_E (menores a 1.0 dS m⁻¹). En contraste, los terrenos agrícolas en que se colectaron muestras de suelo presentan en promedio valores de 1.75 dS m⁻¹, aunque esto se distorsiona por el efecto de algunos sitios donde hay una excesiva acumulación de sales porque la mediana es de 0.72 dS m⁻¹, prácticamente 40% de los terrenos agrícolas presentan valores con más de 1.0 dS m⁻¹. Para visualizar con mayor claridad esta situación, se evaluó la concentración de los sólidos disueltos totales en la solución del suelo a través de la distribución de frecuencia de dicha variable, la cual se presenta en la Figura 95 y el Cuadro 41.



Figura 95. Distribución de la concentración de los sólidos disueltos totales (S_{DT}) en la solución del suelo.

Más de 50% de las muestras colectadas en los terrenos agrícolas presentan valores de S_{DT} mayores a 500 mg kg^{-1} , porcentaje superior a la detectada tanto en el cauce del arroyo de Guadalupe como en los suelos que no están afectados de manera directa por actividades humanas (8% y 23%, respectivamente).

Cuadro 41. Distribución de frecuencia de la concentración de los sólidos disueltos totales (S_{DT}) en la solución del suelo.

S_{DT}	Todos los suelos	Suelos Agrícolas	Cauce del arroyo	Suelos no Agrícolas
mg kg-1	----- % -----			
<250	28	22	43	29
250 a 500	37	25	49	48
500 a 750	15	24	0	9
>750	20	28	8	14

Para evaluar la tendencia entre la conductividad eléctrica y la concentración de sólidos disueltos totales en la solución del suelo (obtenida del extracto de la pasta de saturación) de todas las muestras colectadas en el área de estudio, sin importar la procedencia de las

mismas (terrenos agrícolas o no), se elaboró la Figura 96, la cual se presenta a continuación.

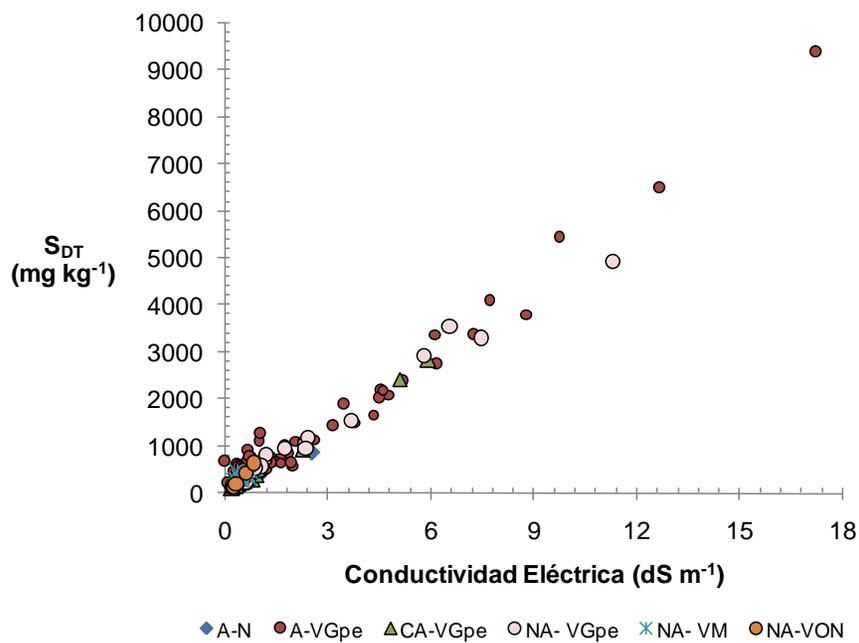


Figura 96. Relación entre la conductividad eléctrica y la concentración de sólidos disueltos totales (S_{DT}) en la solución del suelo. A=suelos agrícolas; NA=suelos no agrícolas; N=norte del acuífero; VGpe=Valle de Guadalupe; VM=Valle La Misión; VON=Valle Ojos Negros.

Como se aprecia en la figura en discusión, la variación de la concentración de sólidos disueltos totales (S_{DT}) en la solución del suelo sigue una tendencia lineal y directa respecto a la conductividad eléctrica (C_E) medida en el extracto de la pasta de saturación, independientemente del tipo de suelo que se trate. El análisis de la regresión entre ambas variables indica que los cambios en los S_{DT} es explicada en 97% por la C_E , incrementándose en 497 mg kg^{-1} los S_{DT} por cada unidad de C_E expresada en dS m^{-1} .

La información obtenida apunta a que la salinidad que se está presentando en el Valle de Guadalupe sólo ocurre en algunos de los terrenos agrícolas, la cual incluso llega a valores excesivamente altos y que la magnitud de sales en el medio edáfico se encuentran en tal magnitud que muy probablemente incidirán de manera negativa sobre la calidad y cantidad

de los productos agrícolas que ahí se cultivan. En el Cuadro 42 se presenta la distribución de frecuencia de la concentración de los principales aniones que se detectaron en la solución del suelo de las muestras colectadas en los suelos en el área de estudio.

Cuadro 42. Distribución de frecuencia de la concentración de carbonato (CO_3^{2-}), bicarbonato (HCO_3^-), cloruro (Cl^-) y sulfato (SO_4^{2-}) en la solución del suelo de las muestras colectadas en los suelos en el área de estudio.

CO_3^{2-}	TS*	SA	SCA	SNA	HCO_3^-	TS	SA	SCA	SNA
mg L ⁻¹	----- % -----				mg L ⁻¹	----- % -----			
<30	99	97	100	100	<50	3	3	3	4
30 a 60	0	1	0	0	50 a 100	27	25	32	26
60 a 90	1	2	0	0	100 a 150	29	26	35	30
>90	0	0	0	0	>150	41	46	30	39
Cl^-	TS*	SA	SCA	SNA	SO_4^{2-}	TS	SA	SCA	SNA
mg L ⁻¹	----- % -----				mg L ⁻¹	----- % -----			
<50	41	28	65	48	<30	75	66	88	78
50 a 100	22	17	24	28	30 a 60	10	12	6	10
100 a 150	11	13	5	12	60 a 90	2	1	3	2
>150	26	42	5	13	>90	13	21	3	10

TS=Todos los suelos; SA=Suelos Agrícolas; SCA=Suelos del cauce del Arroyo; SNA=Suelos no agrícolas

Sólo en casos muy puntuales se detectó presencia de carbonato en la solución del suelo, mientras que el bicarbonato varió de manera similar sin distinguir del tipo o condición del suelo colectado. En contraste, hubo diferencias notorias en la acumulación de cloruro y sulfato entre los suelos, siendo los terrenos agrícolas en donde se detectó la mayor concentración de ambos aniones y en particular la del cloruro. La distribución de frecuencia de la concentración de los cationes que se detectaron en la solución del suelo de las muestras colectadas en los suelos en el área de estudio se presenta en el Cuadro 43.

Hubo una relación estrecha entre el calcio y magnesio de la solución del suelo, sin importar la procedencia de cada una de las muestras analizadas, sin que hubiese una variación importante entre terrenos agrícolas o del ecosistema. En el caso del potasio hay una cierta tendencia a mostrarse valores relativamente altos de este elemento en áreas agrícolas, pero

poco menos de 80% de las muestras tienen valores inferiores a 30 mg L⁻¹. En donde sí se detectó un contraste notorio fue en el caso de la concentración de sodio, cuya acumulación es altamente significativa en los terrenos agrícolas en comparación con los demás sitios evaluados y en particular aquellos que se ubican en el Valle de Guadalupe.



Figura 97. Concentración de Sodio (Na) en la solución del suelo en el área de estudio.

Los iones que mayor relación tienen con la conductividad eléctrica de la solución del suelo fueron el cloruro, sodio, magnesio, calcio y sulfato. Las ecuaciones de regresión entre estas variables se presentan a continuación.

Anión o Catión =f(C_E)

$\text{Cl}^- = 200(\text{C}_E)$	$\text{R}^2=0.94$
$\text{Na}^+ = 95(\text{C}_E)$	$\text{R}^2=0.91$
$\text{Mg}^{2+} = 35(\text{C}_E)$	$\text{R}^2=0.85$
$\text{Ca}^{2+} = 68(\text{C}_E)$	$\text{R}^2=0.78$
$\text{SO}_4^{2-} = 46(\text{C}_E)$	$\text{R}^2=0.73$

Cuadro 43. Distribución de frecuencia de la concentración de carbonato (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), sodio (Na^+) y potasio (K^+) en la solución del suelo de las muestras colectadas en los suelos en el área de estudio.

Ca^{2+}	TS*	SA	SCA	SNA	Mg^{2+}	TS	SA	SCA	SNA
mg L ⁻¹	----- % -----				mg L ⁻¹	----- % -----			
<30	32	33	32	32	<15	46	37	78	42
30 a 60	31	30	41	28	15 a 30	30	29	14	41
60 a 90	17	15	14	23	30 a 45	8	11	3	7
>90	19	22	14	17	>45	15	22	5	10
Na^+	TS*	SA	SCA	SNA	K^+	TS	SA	SCA	SNA
mg L ⁻¹	----- % -----				mg L ⁻¹	----- % -----			
<15	20	13	35	20	<15	53	44	84	51
15 a 30	28	18	41	36	15 a 30	25	30	14	25
30 a 45	14	16	5	16	30 a 45	9	9	3	13
>45	38	52	19	28	>45	12	17	0	12

TS=Todos los suelos; SA=Suelos Agrícolas; SCA=Suelos del cauce del Arroyo; SNA=Suelos no agrícolas

El cloruro y el sodio son los iones más abundantes en la solución del suelo, sin importar el origen de la muestra analizada (terrenos con actividad agrícola o no); sin embargo, la cantidad presente en el medio difiere de manera significativa entre cada uno de los casos estudiados, lo cual sugiere que probablemente exista un efecto directo causado por el uso del agua de riego.

6.4.2.2. Hidroquímica del acuífero del Valle de Guadalupe.

El acuífero está compuesto de tres principales secciones litológicas de distinto grosor y permeabilidad, constituyendo dos reservorios de aguas subterráneas formadas por dos fosas de origen tectónico de diferente profundidad y extensión, una ubicada al noreste que es la más profunda (350 m) pero de menor superficie conocida como Calafia y la otra hacia el suroeste conocida como El Porvenir de 100 m de profundidad (CNA, 1999). En la Figura 98 se muestra la ubicación geográfica de los pozos del Valle de Guadalupe, B.C., en que se colectaron las muestras de agua analizadas para el presente estudio.

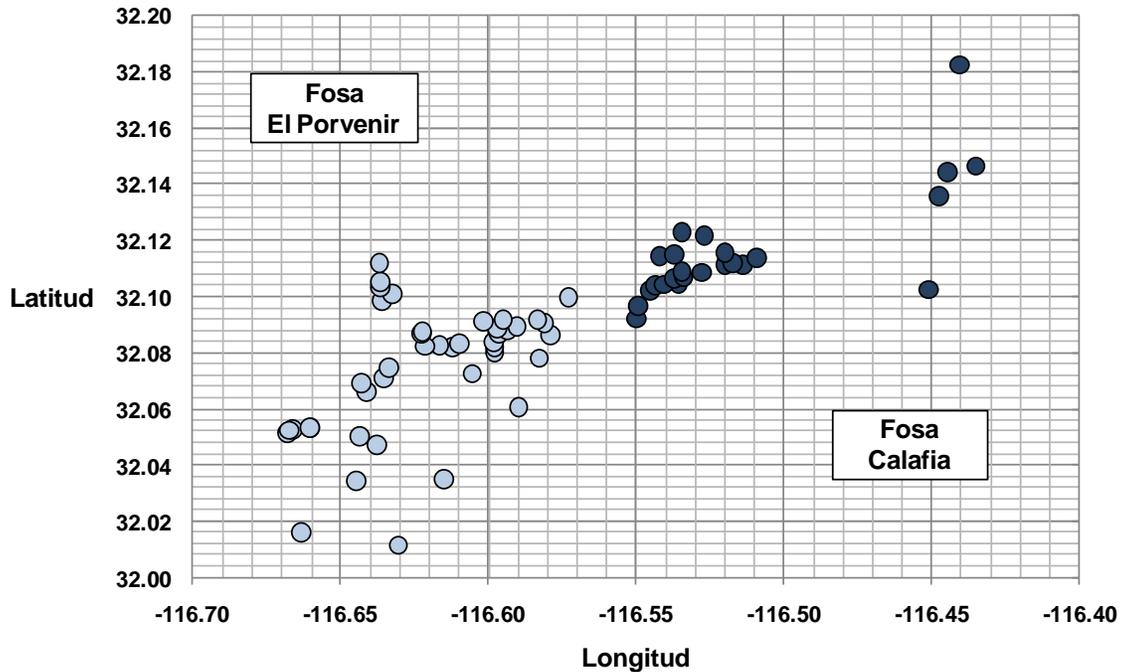


Figura 98. Ubicación geográfica de los pozos del Valle de Guadalupe, B.C., en que se colectaron las muestras de agua analizadas en el Laboratorio de Ciencias Ambientales del Colegio de Postgraduados.

Las fosas están delimitadas por una serie de fallas estructurales y la capacidad total de almacenaje del acuífero de Guadalupe es de 218 Mm^3 (Andrade-Barbilla, 1997), variando tanto la carga como la descarga a través de los años según el volumen de lluvia precipitado y la extracción de agua para uso agrícola, urbano y de la población. Según Daesslé *et al.* (2006), el balance hídrico se alteró de manera significativa a partir de 1998 debido a un extenso período de sequía y la continua extracción de agua y la minería de arena del acuífero ocasionando una sobreexplotación del mismo. En la Figura 99 se presentan los indicadores estadísticos y distribución de frecuencia de los valores de pH, conductividad eléctrica (C_E) y sólidos disueltos totales (S_{DT}) en el agua de los pozos muestreados del Valle de Guadalupe, B.C.

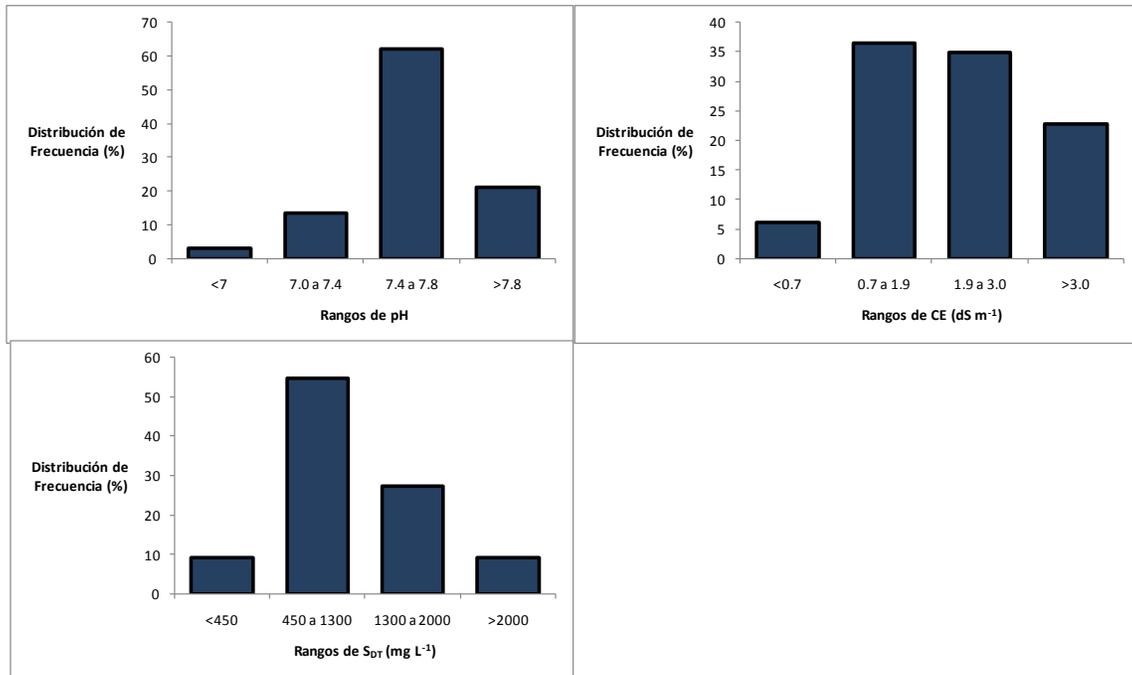


Figura 99. Indicadores estadísticos y distribución de frecuencia de los valores de pH, conductividad eléctrica (C_E) y sólidos disueltos totales (S_{DT}) en el agua de los pozos muestreados del Valle de Guadalupe, B.C.

La conductividad eléctrica del agua de riego se utiliza como medida indirecta de la concentración en sólidos disueltos totales (S_{DT}), por lo que es común que haya una relación directa entre ambas variables (Figura 100).

Con la finalidad de evaluar la evolución de los parámetros hidroquímicos del acuífero, se elaboró el Cuadro 44 donde se compara el valor de pH y los sólidos disueltos totales determinados en septiembre de 2001 por Daesleé *et al.* (2006) y los analizados en el presente estudio en noviembre de 2009.

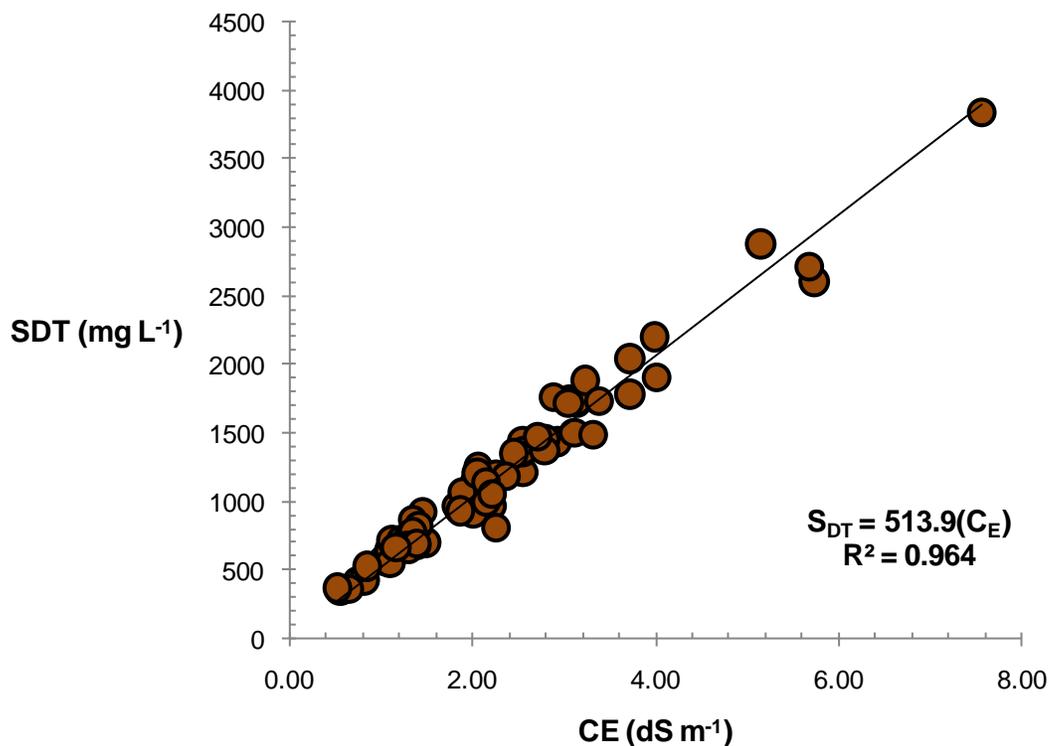


Figura 100. Tendencia entre los valores de conductividad eléctrica (C_E) y sólidos disueltos totales (S_{DT}) en el agua de los pozos muestreados del Valle de Guadalupe, B.C.

Cuadro 44. Comparación de la variación del pH y sólidos disueltos totales (S_{DT}) en el acuífero de Guadalupe entre septiembre de 2001 (Daesslé *et al.*, 2006) y noviembre de 2009 (Colegio de Postgraduados).

Parámetro	pH		S_{DT}	
	2001	2009	2001	2009
			mg L ⁻¹	
Mínimo	6.70	6.57	410	350
Promedio	7.20	7.60	1042	1195
Mediana	7.20	7.61	840	1095
Máximo	7.70	8.06	2720	3832

El ámbito de exploración analizado en los valores de pH y S_{DT} son similares entre los estudios realizados en 2001 por Daesslé (2006) y el llevado a cabo en 2009, aunque en este caso detectamos valores ligeramente más alcalinos y una concentración de sales mayor.

En la Figura 101 se muestra la concentración de sólidos disueltos totales (SDT) en el agua de los pozos muestreados del Valle de Guadalupe, B.C.

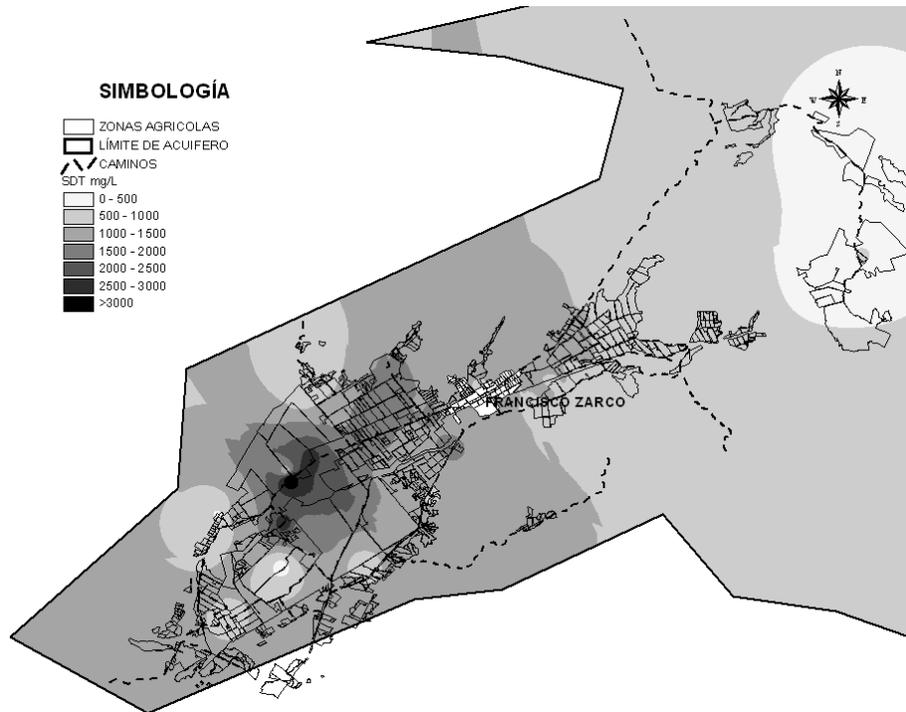


Figura 101. Concentración de sólidos disueltos totales (S_{DT}) en el agua de los pozos muestreados

Al comparar la Figura 101 con la Figura 95, se nota que no existe relación entre la concentración de los sólidos disueltos totales presentes en el agua de los pozos, con la concentración de los mismos presentes en el suelo; ya que para concentraciones de SDT similares en el agua de pozos se tienen diferentes concentraciones de SDT en el suelo y donde se presenta la máxima concentración de SDT en el agua se tienen concentraciones normales de SDT en el suelo. Lo anterior sugiere que la concentración de sales no se debe a la calidad del agua sino más bien depende de diferencias en el manejo de la misma.

La composición del agua puede estudiarse desde diferentes puntos de vista (químico, bacteriológico, isotópico) pero en este caso nos centramos sólo en el conjunto de sustancias inorgánicas incorporadas al agua por procesos naturales o incluso inducidas a través de la actividad de grupos humanos. La incorporación de los compuestos en el agua se atribuye a

su capacidad disolvente y propiedades de combinación, la cual inicia antes de incorporarse al sistema de flujo subterráneo propio del acuífero e interaccionando con el material edáfico quien aportará al medio acuoso su contenido iónico. Los minerales que contenga de manera natural dependerán del tipo de roca y su capacidad de ser solubilizados, además de los minerales asociados como sales de diversa composición, aunque también es posible que se encuentren en menor concentración carbonatos y sulfatos de manganeso, zinc, entre otros. Los iones que se suelen encontrar en mayor cantidad son cloruro, bicarbonato, sulfato, calcio, magnesio, sodio y potasio. Los iones menores forman menos del 1% del contenido iónico total, como es el caso del fosfato, hierro, manganeso, aluminio, amonio, entre otros. Los elementos traza están en cantidades aún inferiores como son los metales pesados u otros elementos. La secuencia normal de un agua de reciente infiltración es:

Cationes: $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$

Aniones: $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$

Al cabo de un largo tiempo de residencia, la relación iónica tiende a invertirse quedando de la siguiente manera:

Cationes: $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$

Aniones: $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$

En el caso del acuífero del Valle de Guadalupe, detectamos que la relación entre cationes analizados indica que el agua es de un ambiente calcáreo y tiene un gran tiempo de residencia porque la concentración de sodio fue mayor que los demás cationes. En la Figura 102 se presentan los indicadores estadísticos y distribución de frecuencia de los valores de calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), sodio (Na^+) y potasio (K^+) en el agua de los pozos muestreados del Valle de Guadalupe, Baja California.

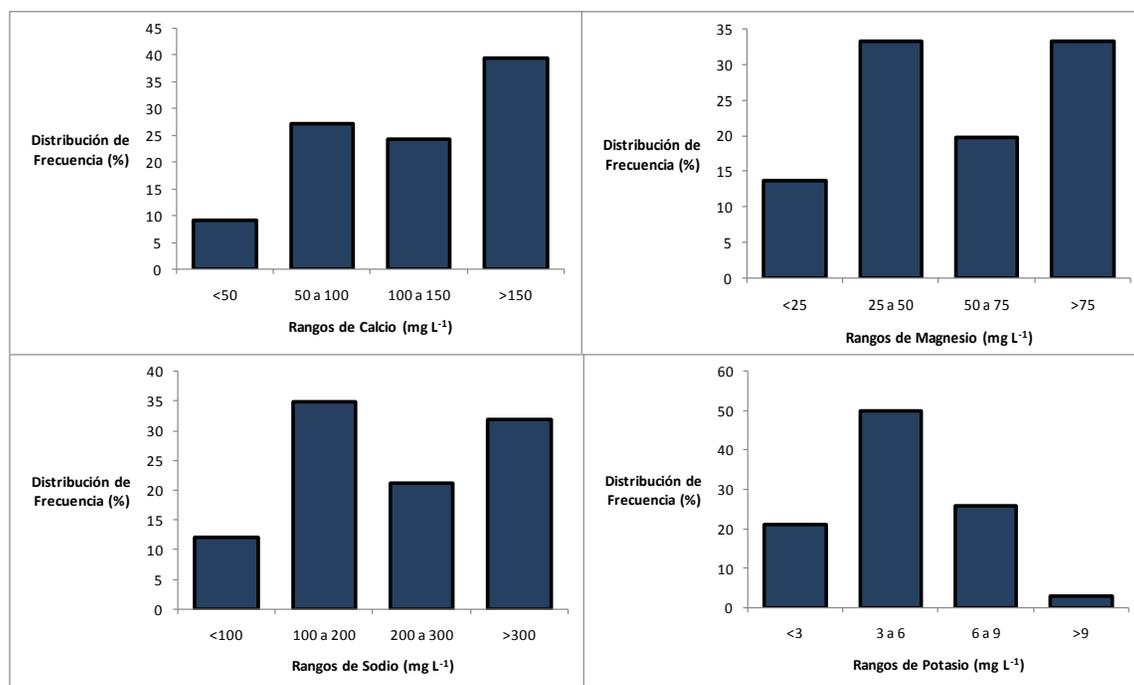


Figura 102. Indicadores estadísticos y distribución de frecuencia de los valores de calcio (Ca²⁺), magnesio (Mg²⁺), sodio (Na⁺) y potasio (K⁺) en el agua de los pozos muestreados del Valle de Guadalupe, B.C.

El calcio suele ser el catión principal en la mayoría de las aguas naturales por su alto contenido en rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas. En rocas sedimentarias aparece como carbonatos o sulfatos y su concentración en el agua subterránea se atribuye a los siguientes procesos: equilibrio del carbonato, aporte de hidrógenos (función del aporte de CO₂) e intercambio iónico. Los dos primeros están muy relacionados entre sí, los cuales dependen de la disociación del ácido carbónico de acuerdo al pH del medio. El intercambio iónico entre calcio y otros cationes (sodio fundamentalmente), retenidos en la superficie de minerales con los que entra en contacto el agua, se incrementa significativamente en suelos arcillosos de baja permeabilidad. Es común que el magnesio sea menos abundante que el calcio en aguas naturales, el cual procede de la disolución de rocas carbonatadas, alteración de silicatos ferromagnesianos o del agua marina. Los procesos de intercambio iónico influyen también en las concentraciones de magnesio en aguas subterráneas, ya que el magnesio se adsorbe de manera preferente sobre el calcio en suelos y rocas. El sodio se libera por el intemperismo de silicatos que lo contienen y la disolución de rocas sedimentarias de origen marino. La fuente importante de sodio está en aportes de agua marina en regiones costeras por intrusión marina o por infiltración del agua de lluvia a la

que se incorpora desde el mar. Las sales de sodio son altamente solubles, y al no producir reacciones de precipitación se conservan en forma iónica. El sodio es adsorbido en arcillas de elevada capacidad de intercambio catiónico y pudiese interactuar con el calcio. El potasio procede del intemperismo de los feldespatos y en menor medida de otros minerales que lo contengan. Tiende a ser adsorbido irreversiblemente durante los procesos de formación de arcillas y también reacciona sobre la superficie de minerales con alta capacidad de intercambio iónico. La concentración de potasio fue la más baja en comparación con los demás cationes analizados, lo cual suele ser una situación muy frecuente, a menos que existiese algún problema de alteración por la aplicación excesiva de fertilizantes de tipo potásico y que estos a su vez se hubiesen lixiviado llegando a acumularse en el acuífero. Esta condición pudiese ser probable por el tipo de suelo que es muy arenoso; sin embargo, depende de su acarreo por la lluvia lo cual no se apreció en este estudio, aunque cabe hacer mención que en dos cuerpos de agua se detectaron cantidades significativas de dicho catión, pero fueron superficiales, no subterráneos. Para evaluar la evolución de los parámetros hidroquímicos del acuífero, se elaboró el Cuadro 45 donde se compara la concentración del calcio, magnesio, sodio y potasio determinados en septiembre de 2001 por Daeslé *et al.*(2006) y los analizados en este estudio (noviembre de 2009), mientras que en la Figura 103 se analiza la tendencia de cada uno de estos iones respecto a la concentración del total de sólidos solubles detectado en ambos estudios.

Cuadro 45. Comparación de la variación del calcio, magnesio, sodio y potasio en el acuífero de Guadalupe entre septiembre de 2001 (Daeslé *et al.*, 2006) y noviembre de 2009 (Colegio de Postgraduados).

Parámetro	Calcio		Magnesio		Sodio		Potasio	
	2001	2009	2001	2009	2001	2009	2001	2009
	mg L ⁻¹		mg L ⁻¹		mg L ⁻¹		mg L ⁻¹	
Mínimo	38	26	12	12	83	46	1	1
Promedio	126	138	44	63	167	252	2	6
Mediana	113	114	33	55	143	209	2	4
Máximo	265	385	139	163	340	1003	5	76

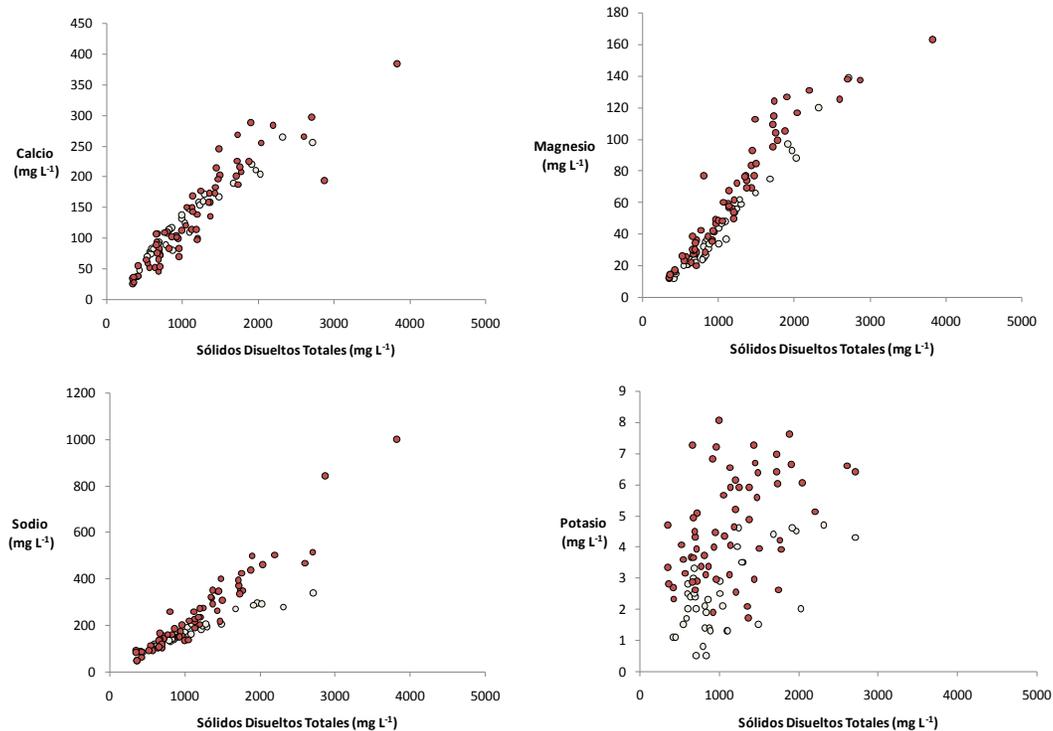


Figura 103. Tendencia de la concentración de calcio, magnesio, sodio y potasio con los sólidos disueltos totales en el agua de los pozos muestreados del Valle de Guadalupe, B.C. Los círculos oscuros son datos de este estudio (2009) y los círculos claros a los medidos en 2001 por Daesslé *et al.* (2006).

El ámbito de exploración analizado en los cationes coinciden entre los estudios realizados en 2001 por Daesslé (2006) y el que llevamos a cabo en 2009, aunque en el caso del sodio detectamos una concentración mucho mayor. El caso del potasio se explica porque incluimos en el estudio cuerpos de agua someros, donde encontramos valores puntuales con alta concentración de dicho catión y no se ubicó en los mantos freáticos.

En el caso de los aniones, detectamos que en el Acuífero de Guadalupe coincide con aguas que llevan un tiempo de residencia considerable, ya que los cloruros superaron al resto de los aniones analizados. En la Figura 104 se presentan los indicadores estadísticos y distribución de frecuencia de los valores de cloruros (Cl⁻), sulfatos (SO₄²⁻) y bicarbonatos (HCO₃⁻) en el agua de los pozos muestreados del Valle de Guadalupe, B.C.

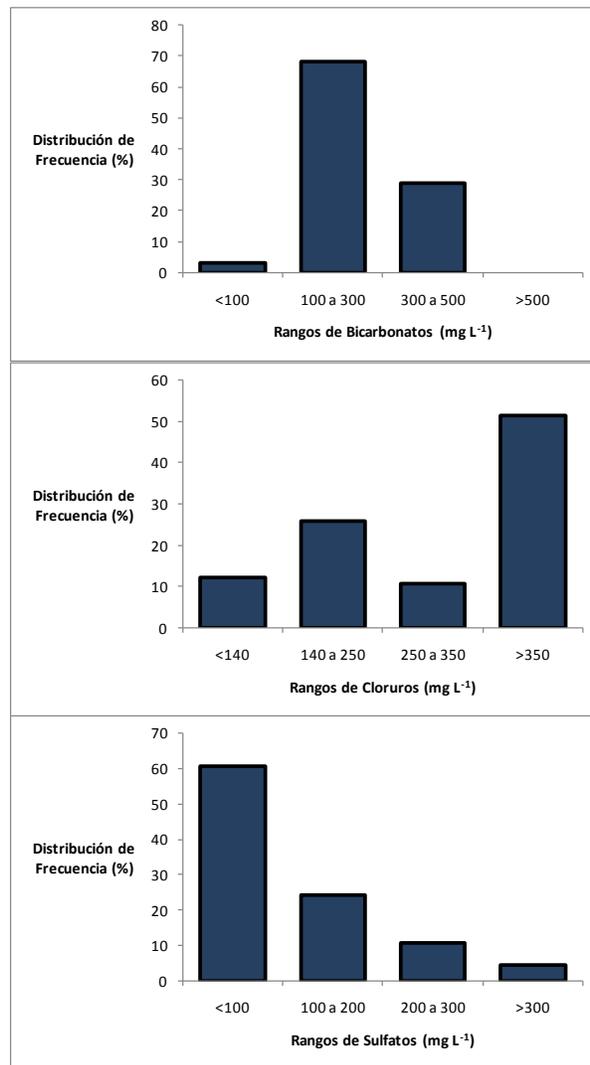


Figura 104. Indicadores estadísticos y distribución de frecuencia de los valores de bicarbonatos (HCO_3^-), cloruros (Cl^-) y sulfatos (SO_4^{2-}) en el agua de los pozos muestreados del Valle de Guadalupe, B.C.

A excepción de los materiales de origen marino, es común que las rocas tengan concentraciones muy bajas de cloruros. En zonas costeras o próximas a las costas, la fuente más importante del ión cloruro es el agua de lluvia, disminuyendo rápidamente tierra adentro. El ión cloruro no forma sales de baja solubilidad, no se oxida ni se reduce en aguas naturales, prácticamente no se adsorbe ni participa en procesos bioquímicos. El ión sulfato procede del lavado de terrenos formados en ambiente marino, de la oxidación de sulfuros de rocas ígneas y sedimentarias, de la descomposición de sustancias orgánicas, entre otros. Sin embargo, la disolución de sales sulfatadas (yeso y anhidrita fundamentalmente) representa el aporte cuantitativamente más importante de este ión a las aguas subterráneas.

El comportamiento del ión sulfato puede desviarse significativamente del teórico predecible en base a los principios de su disolución, por su tendencia a formar iones complejos con Na y Ca y a incorporarse a procesos biológicos. El ión sulfato está sujeto a procesos de reducción, especialmente en presencia de bacterias y materia orgánica. En ambientes reductores, a pH menor que 7, la forma reducida estable es el H₂S, mientras que en soluciones alcalinas predomina el HS⁻. En aguas dulces, la concentración normal de sulfatos puede variar entre 2 y 150 mg/l. En aguas salinas, asociado al Ca, puede llegar a 5000 mg/l; asociado al Mg y Na, en salmueras, puede alcanzar hasta 200.000 mg/l. Se determina por gravimetría, turbidimetría o cromatografía iónica.

El CO₂ disuelto en agua y los diversos compuestos que forma en ella definen varios procesos químicos. Su capacidad para disolverse en el agua es función de su presión parcial (pCO₂), por lo que parte permanece en disolución en forma de gas mientras que otra reacciona con el agua para formar H₂CO₃, quien se disocia de manera parcial formando los iones CO₃²⁻ y HCO₃³⁻. El CO₂ disuelto en agua procede de la respiración de organismos y descomposición de la materia orgánica. La disolución de materiales calcáreos es exacerbada por el aporte de CO₂ o de algunos ácidos, constituyendo una fuente importante estas especies iónicas. En aguas con pH menor a 8.3 predominará el bicarbonato.

Para evaluar la evolución de los parámetros hidroquímicos del acuífero, se elaboró el Cuadro 46 donde se compara la concentración del cloruro, bicarbonato y sulfato determinados en septiembre de 2001 por Daeslé *et al.* (2006) y los analizados en el presente estudio en noviembre de 2009, mientras que en la Figura 105 se analiza la tendencia de cada uno de estos iones respecto a la concentración del total de sólidos solubles detectado en ambos estudios. El ámbito de exploración analizado en los aniones coincide entre los estudios realizados en 2001 por Daesslé (2006) y el llevado a cabo en 2009, aunque con ligera tendencia a incrementarse los cloruros.

Cuadro 46. Comparación de la variación del cloruro, bicarbonato y sulfato en el acuífero de Guadalupe entre septiembre de 2001 (Daesslé *et al.*, 2006) y noviembre de 2009 (Colegio de Postgraduados).

Parámetro	Cloruro		Bicarbonato		Sulfato	
	2001	2009	2001	2009	2001	2009
	mg L ⁻¹		mg L ⁻¹		mg L ⁻¹	
Mínimo	88	75	18	0	112	61
Promedio	304	396	160	116	251	244
Mediana	225	353	136	94	229	238
Máximo	921	1413	487	553	452	476

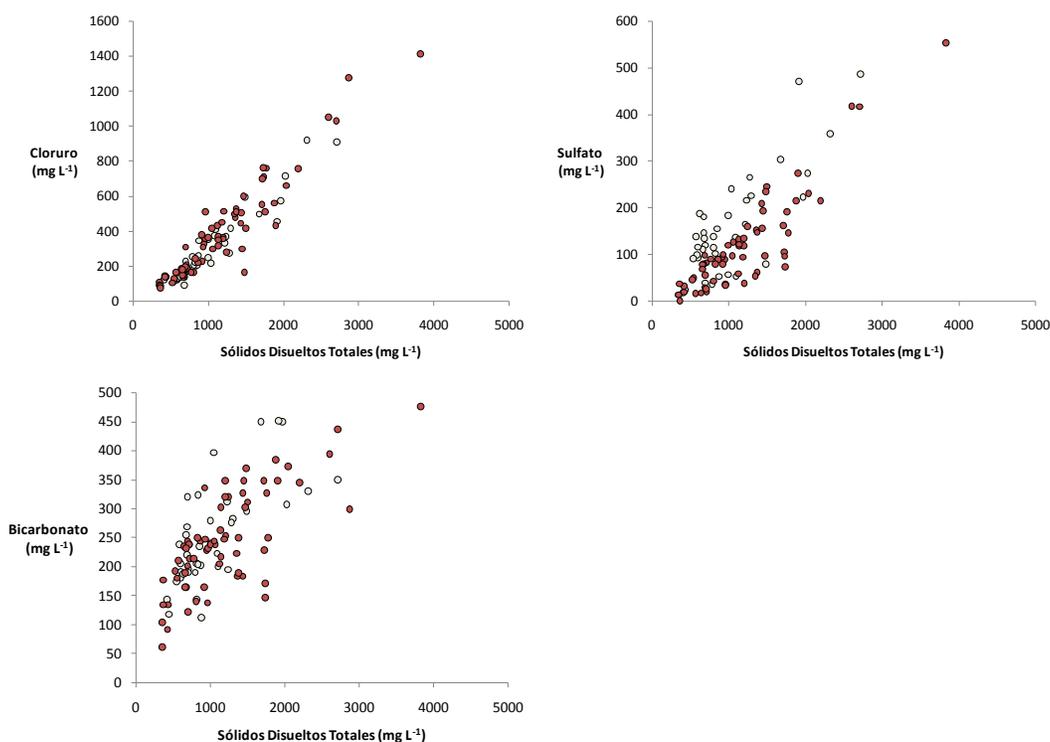


Figura 105. Tendencia de la concentración del cloruro, bicarbonato y sulfato con los sólidos disueltos totales en el agua de los pozos muestreados del Valle de Guadalupe, B.C. Los círculos oscuros son datos de este estudio (2009) y los círculos claros a los medidos en 2001 por Daesslé *et al.* (2006).

La variación de la abundancia promedio de las especies iónicas con mayor concentración que se detectaron en el agua colectada de los pozos en el Valle de Guadalupe se presenta en la Figura 106.

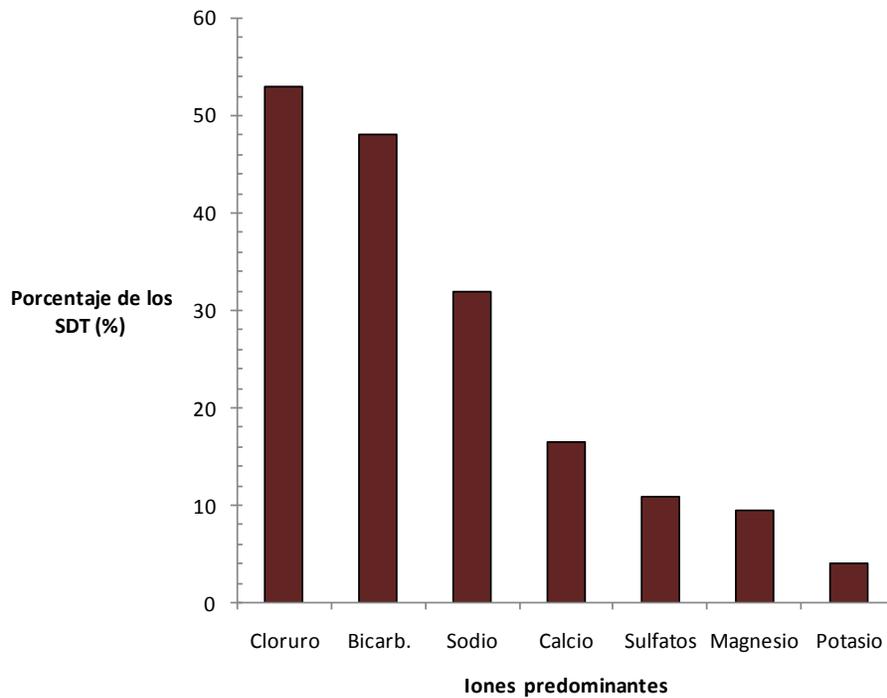


Figura 106. Variación de la abundancia promedio de las especies iónicas con mayor concentración que se detectaron en el agua colectada de los pozos en el Valle de Guadalupe, B.C.

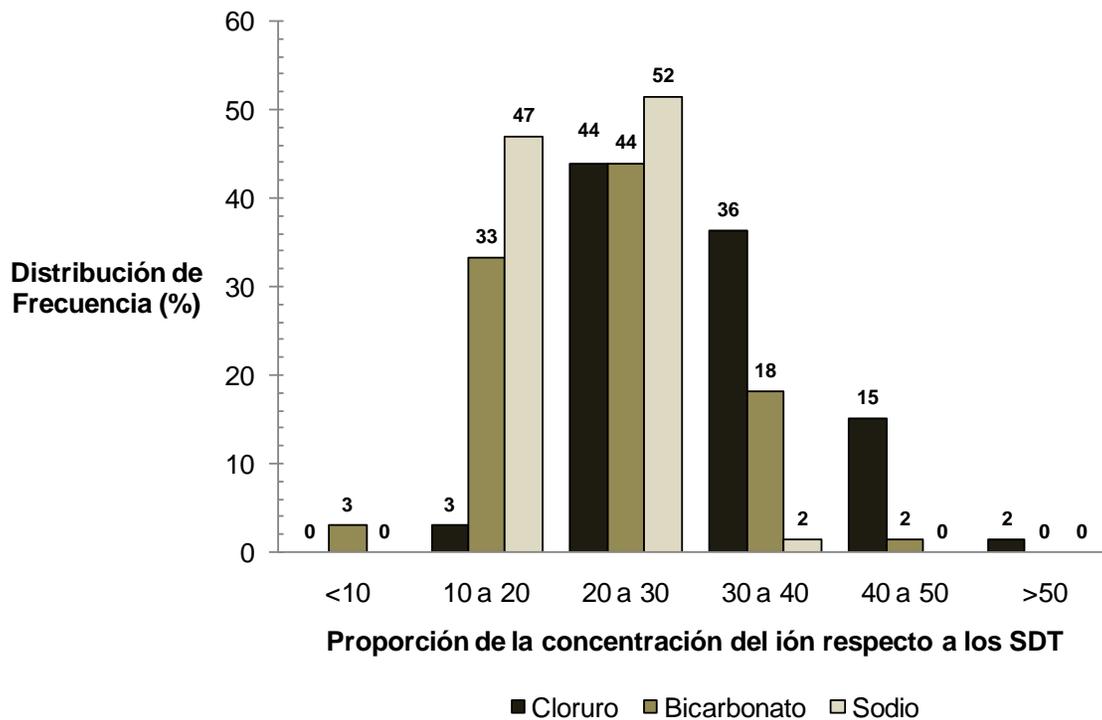


Figura 107. Porcentaje de la abundancia de las tres principales especies iónicas respecto a la concentración de sólidos disueltos totales (S_{DT}) detectadas en el agua de los pozos muestreados del Valle de Guadalupe, B.C.

La suma de las tres especies iónicas principales (cloruro, bicarbonato y sodio) por su abundancia respecto a los sólidos disueltos totales representa como mínimo 62.8%, en promedio 75.1% y como valor máximo 84.1%. En la Figura 107 se muestra la distribución de frecuencia de dichos iones y que se detectaron en el agua de los pozos muestreados del Valle de Guadalupe, B.C.

En la Figura 108 se presenta la distribución de frecuencia de los valores de nitrato (NO_3^-), amonio (NH_4^+) y fosfato (PO_4^{3-}) en el agua de los pozos muestreados del Valle de Guadalupe, Los compuestos nitrogenados en el agua se relacionan con el ciclo del nitrógeno.

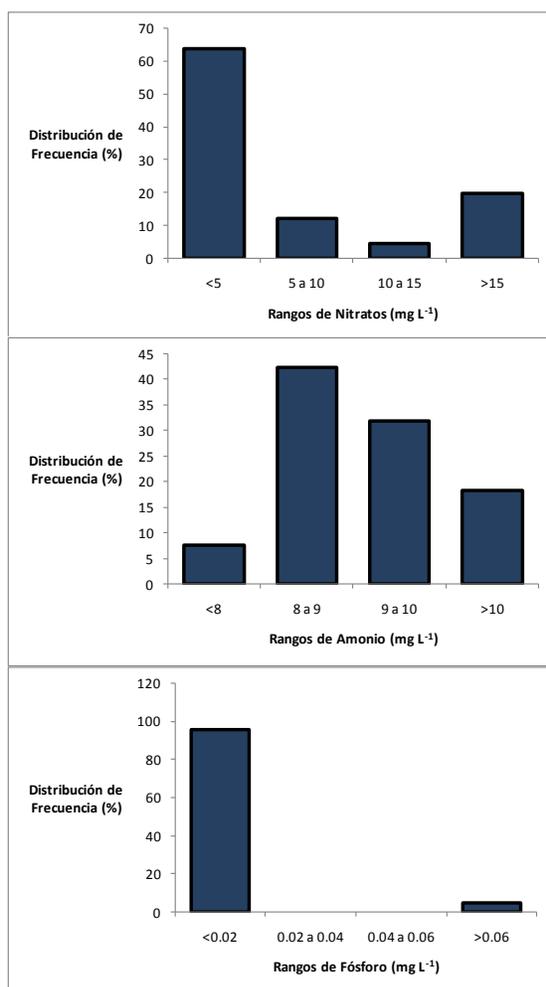


Figura 108. Indicadores estadísticos y distribución de frecuencia de los valores de nitratos (N-NO_3^-), amonio (N-NH_4^+) y fósforo (P-PO_4^{3-}) en el agua de los pozos muestreados del Valle de Guadalupe, B.C.

El contaminante inorgánico más común identificado en agua subterránea es el nitrógeno disuelto en la forma de nitrato, debido a que es la forma más estable en que puede encontrarse el nitrógeno y su presencia en concentraciones no deseables (mayor a $45 \text{ NO}_3^- \text{ L}^{-1}$) es potencialmente peligrosa en los acuíferos (Freeze y Cherry, 1979; citado por Pacheco *et al.*, 2002). Aunque el nitrato es la forma principal en que el nitrógeno está en el agua subterránea, también puede estar presente en la forma de amonio, amoníaco, nitrito, óxido nitroso y nitrógeno orgánico.

El nitrógeno puede encontrarse en el agua en tres maneras diferentes: como gas disuelto, en combinaciones inorgánicas y en combinaciones orgánicas. El nitrato, nitrito y amonio son formas inorgánicas de nitrógeno que se encuentran en combinación con iones bivalentes y monovalentes. Por lo que se refiere al ion amonio, solamente a un pH superior a 9 se puede encontrar en concentraciones importantes. En concentraciones normales, la fracción de amonio es muy pequeña y puede ser oxidado por acción química, fotoquímica y bacteriana. En las aguas, este proceso se acelera por la actividad de las bacterias.

Los suelos de bajo pH son más eficientes en el proceso de adsorción del ion amonio que aquellos de pH elevado y los suelos con alto contenido orgánico son menos eficientes que los suelos minerales con una capacidad similar de intercambio catiónico.

El nitrógeno puede moverse a través del medio poroso disuelto en el agua. Los compuestos de nitrógeno pueden moverse a través del suelo como gases o como solutos en soluciones acuosas.

Los microorganismos juegan un papel importante en el ciclo del nitrógeno. Alrededor del 90% del nitrógeno total en suelos está en forma orgánica no disponible. El nitrógeno orgánico en el suelo puede ser convertido por actividad microbiana a ion amonio por el proceso de amonificación (Kenney y Walsh, 1972; Pacheco *et al.*, 2002) y posteriormente a ion nitrato. Los iones amonio positivos pueden ser atraídos por partículas cargadas negativamente como la arcilla y materia orgánica sólida y de esta forma ser resistentes a percollar y en cambio los iones nitrato son más susceptibles a la lixiviación.

Dado que en los análisis químicos de las muestras de agua del acuífero del Valle de Guadalupe se encontraron concentraciones altas de nitrato, y en las muestras de suelo agrícola se encontraron valores altos de los principales macronutrientes incluyendo nitratos. Una probable causa de la contaminación del acuífero puede ser la aplicación de fertilizantes nitrogenados. En el valle no existen fuentes abundantes de nitrógeno orgánico, por lo que se recomienda realizar un estudio específico para determinar cuál es el origen de los nitratos que se encuentran en los mantos acuíferos.

En el Cuadro 47 se presentan los indicadores estadísticos de la concentración de metales pesados y micronutrientes en las muestras de agua colectada en pozos del Valle de Guadalupe, B.C.

Cuadro 47. Indicadores estadísticos de la concentración de metales pesados y micronutrientes en las muestras de agua colectada en pozos del Valle de Guadalupe, B.C.

Indicador	Cd	As	Pb	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	mg L ⁻¹							
Mínimo	0.000	0.000	0.000	0.026	0.000	0.000	0.000	0.000
Promedio	0.001	0.009	0.001	0.116	0.003	0.170	0.134	0.075
Mediana	0.000	0.009	0.000	0.101	0.000	0.008	0.011	0.002
Máximo	0.004	0.023	0.008	0.844	0.059	9.791	3.618	1.090
*LI	0.010	0.050	1.000	1.000	0.200	5.000	0.200	2.000
**LS	0.100	0.100	5.000	3.000	1.000	10.000	4.000	4.000

*No existe ningún tipo de restricción cuando la concentración del elemento es igual o menor al límite inferior (LI); **Si la concentración del elemento en el agua es mayor que el límite superior (LS), se incrementará la probabilidad de un posible efecto tóxico.

De acuerdo con lo que se observa en el Cuadro 47, no existen problemas de contaminación por metales pesados en el acuífero del Valle de Guadalupe. La concentración de arsénico en el agua para causar un efecto tóxico sobre las plantas es muy amplia, según el cultivo de que se trate. Por ejemplo, algunas praderas de gramíneas son capaces de tolerar hasta 12 mg L⁻¹, mientras que para el arroz basta con que haya 0.05 mg L⁻¹ para que tenga problemas. Por ello, es recomendable fijar límite de tolerancia máxima de este elemento un valor

inferior o igual a 0.10 mg L^{-1} en el agua de riego. Soluciones nutritivas donde el cadmio esté presente en concentraciones hasta de 0.1 mg L^{-1} causa problemas de toxicidad en leguminosas, rizomas y bulbos. De ahí que se sugiera adoptar límites conservadores tan bajos como 0.01 mg L^{-1} porque este elemento se acumula tanto en las plantas como en el suelo hasta llegar a valores que pudiesen afectar a la salud del humano. Cuando el plomo se encuentra en concentraciones tan grandes, como 5.0 mg L^{-1} o más, inhibe el crecimiento celular de las plantas.

Es frecuente que el zinc sea tóxico en suelos arcillosos y con altos contenidos de materiales orgánicos. Cuando el ambiente químico edáfico es cercano a la neutralidad o incluso alcalino su efecto nocivo para los cultivos es mucho menor. Tampoco habrá problemas cuando su concentración en el agua de riego sea inferior a 2.0 mg L^{-1} . Se ha detectado en soluciones nutritivas que el cobre llega a tener efectos tóxicos en diversos cultivos sobre todo cuando está en concentraciones que varían desde 0.1 mg L^{-1} hasta 1.0 mg L^{-1} . Dichos estudios han permitido establecer como valores máximos permisibles una concentración de 0.20 mg L^{-1} en el agua de riego.

El hierro suele encontrarse en forma de Fe II o Fe III y FeOH según el ambiente químico que prevalezca, contenido en oxígeno y la presencia de carbonatos, bicarbonatos, sulfatos, entre otros iones. Su concentración es controlada por procesos redox, precipitación y disolución de hidróxidos, formación de complejos y por la actividad metabólica de animales y plantas. Cuando el suelo tiene una aireación apropiada no hace propicio que el hierro pudiera llegar a tener un efecto fitotóxico; sin embargo, es recomendable que no se superen concentraciones de 5.0 mg L^{-1} en el agua de riego para evitar cualquier tipo de problema asociado con este elemento. En contraste, el manganeso sí llega a ser tóxico incluso en cantidades relativamente bajas sobre todo en suelos ácidos. De esta forma, se sugiere que su concentración en el agua de riego no rebase una concentración de 0.20 mg L^{-1} . El boro procede de la alteración de rocas ígneas, gases volcánicos, agua marina, detergentes y aguas residuales industriales. El fósforo en las aguas naturales se encuentra como ortofosfato (PO_4^{-3}), cuya concentración suele ser muy baja por la formación de iones complejos así como compuestos de baja solubilidad con muy diversos metales. Cuando se

detectan en las aguas es probable que se deba a contaminación por actividades agropecuarias (fertilizantes fosfatados, acumulación excesiva de estiércoles) o de aguas residuales urbanas.

Con la idea de dilucidar si existe relación entre la concentración de sales en el agua de los pozos muestreados y su ubicación geográfica, se agruparon con base en su distribución en el área de estudio, lo cual se presenta en la Figura 109.

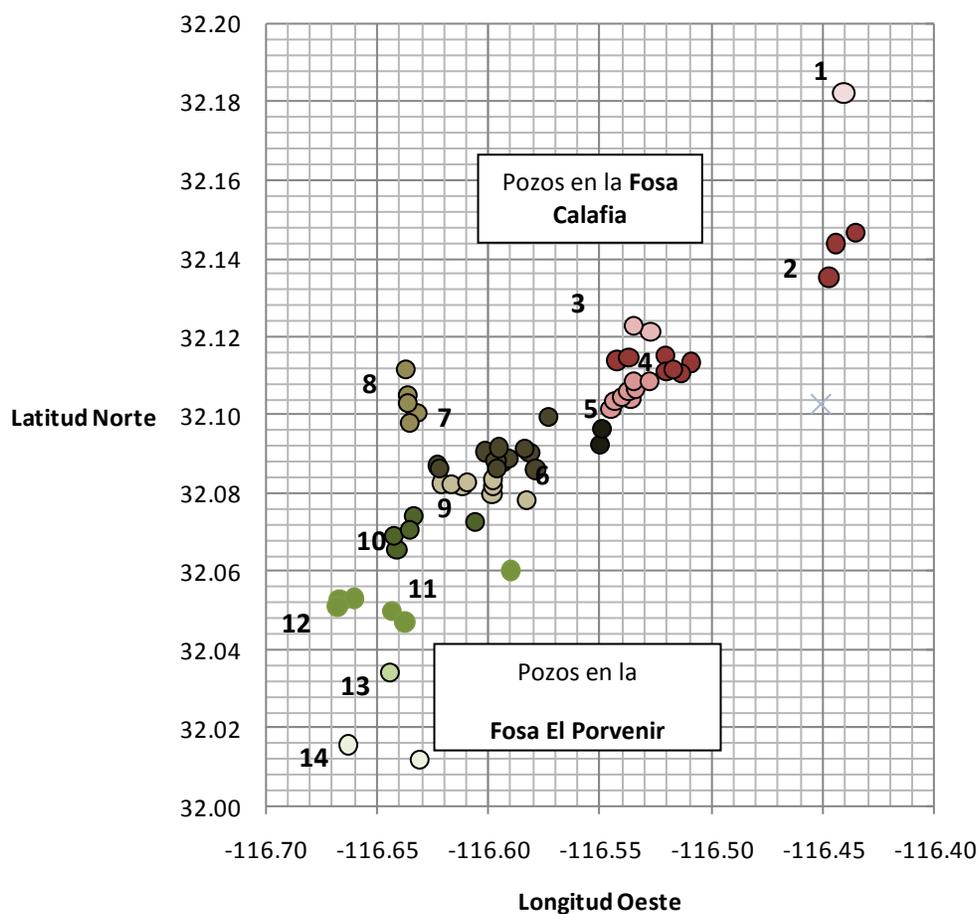


Figura 109. Agrupación de los pozos muestreados en el Valle de Guadalupe, B.C., con base en su posición geográfica en el área de estudio.

En general, el agua de los pozos que se ubican en la fosa de Calafia presenta una menor concentración de sólidos disueltos totales en comparación con la que se detectó en los que se encuentran en la fosa El Porvenir (Figura 110).

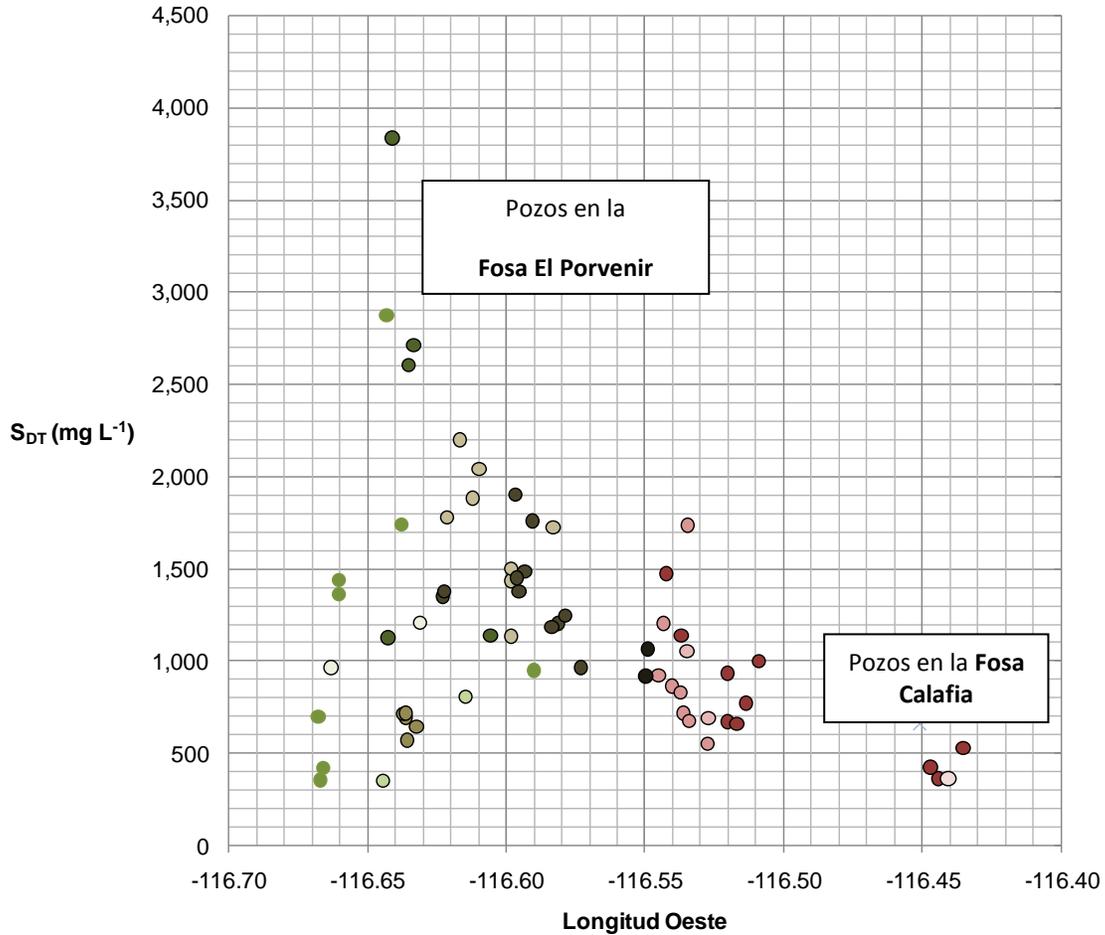


Figura 110. Tendencia de la concentración de sólidos disueltos totales (S_{DT}) en el agua de los pozos muestreados en el Valle de Guadalupe, B.C., de acuerdo con su posición geográfica en el área de estudio.

Para entender cómo se adquieren las sales en el agua se emplea el concepto de equilibrio y la ley de acción de masas que rigen las reacciones de solubilidad, mismas que siguen el principio de Le Chatelier y la ley de Henry para la disolución de gases. Una sal puede encontrarse en subsaturación o sobresaturación según su propio límite de solubilidad. Cuando ocurre esto último es posible que quede en una condición denominada metaestable sin regresar al límite de saturación. El agua de lluvia que recarga el acuífero tiene escaso contenido iónico y a través del recorrido que realiza por la zona no saturada o de la zona saturada, va arrastrando sales las cuales se disuelven en ella, por lo que las variables que influyen sobre este proceso son la superficie de contacto, lo largo del trayecto que necesite recorrer, la concentración de sales en las rocas y tiempo de contacto, temperatura y presión.

La salinidad de las aguas no suele deberse sólo a un mecanismo y sí a varios procesos de diferente naturaleza, aunque unos puedan dominar sobre el resto. La salinización de los acuíferos cercanos a la costa puede deberse al incremento de sólidos disueltos en el agua subterránea, la lixiviación de sales, presencia de aguas salinas de origen distinto, entre otras causas.

La salinidad llega a presentarse por la acumulación de sales en el terreno y que llegan a concentraciones tan elevadas o incluso mayor a las que contiene el agua de mar. Otro factor probable es que se trate de aguas salinas antiguas y que pudiesen ser de origen marino estacionarias o en un proceso muy lento de expulsión. En términos generales hay cuatro procesos de salinización distintos a la intrusión marina como son la mezcla con aguas salinas de origen distinto, la disolución de sales por contacto agua-roca, condiciones hidrodinámicas específicas y la salinización en condiciones áridas.

Con el propósito de evaluar si hay diferencias en la concentración de sólidos disueltos totales en la profundidad del acuífero, se evaluó la relación entre ambas variables en los pozos muestreados ubicados en la fosa El Porvenir, cuyos resultados se muestran en la Figura 111.

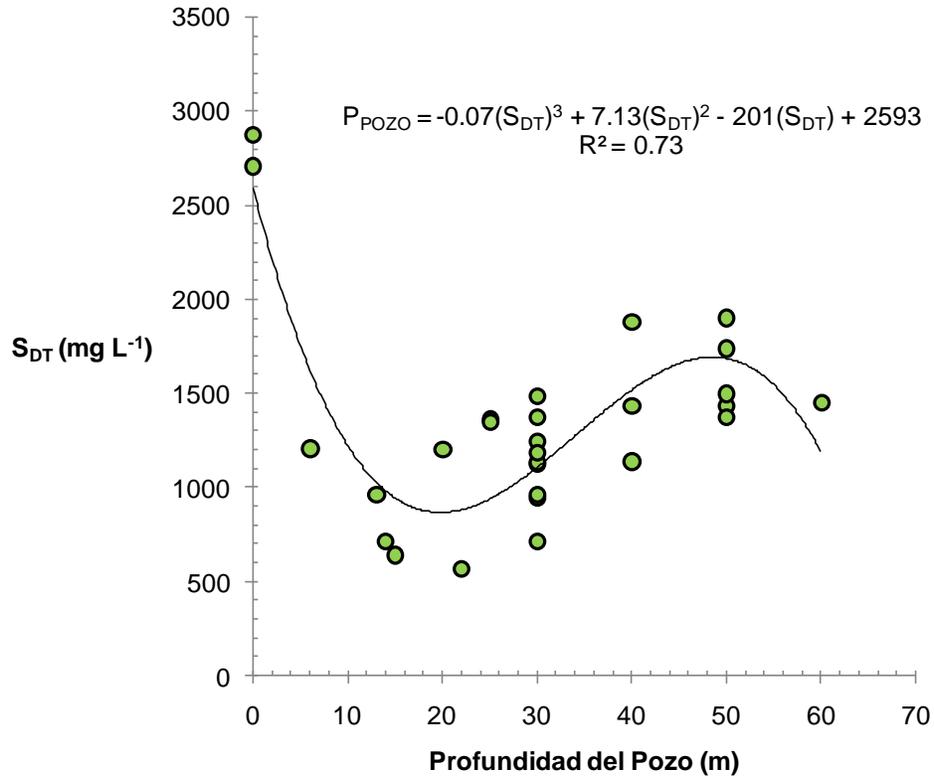


Figura 111. Tendencia entre la concentración de sólidos disueltos totales (S_{DT}) y la profundidad de extracción (P_{POZO}) de los pozos muestreados ubicados en la fosa El Porvenir del Valle de Guadalupe, B.C.

En los primeros estratos de profundidad de la fosa El Porvenir, hay una clara relación negativa de la concentración de los sólidos disueltos totales en los primeros 20 metros de exploración del acuífero; sin embargo, a partir de esta zona la tendencia se invierte, incrementándose la cantidad de sales en la fosa a medida que se incrementa la profundidad de extracción o al menos hasta los 60 metros. Esta misma valoración se observó para la fosa Calafia (Figura 112).

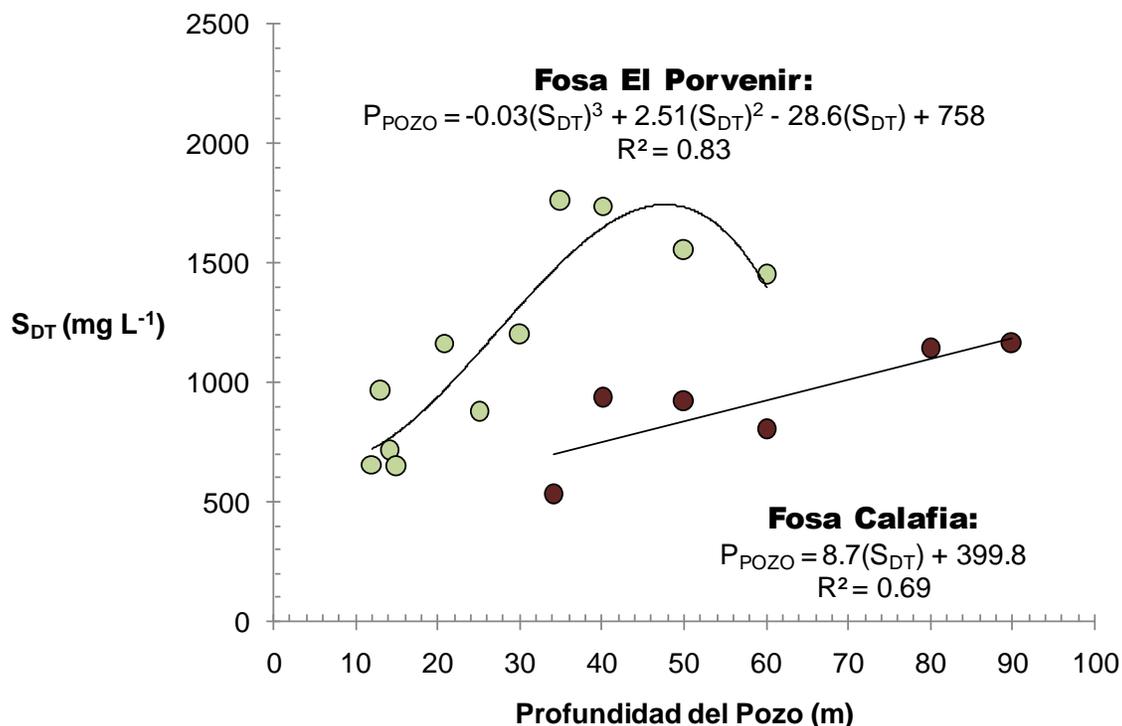


Figura 112. Tendencia entre la concentración de sólidos disueltos totales (S_{DT}) y la profundidad de extracción (P_{POZO}) de los pozos agrícolas estudiados en el Valle de Guadalupe, B.C.

La diferencia en la concentración de sólidos disueltos totales del agua es explicada en 83% y 69% por la profundidad de su extracción en la fosa El Porvenir y la fosa Calafia, respectivamente.

Las aguas subterráneas connatas se encuentran en el acuífero desde su origen, esto es, cuando fueron depositados los materiales que lo constituyen, lo cual aunque es posible es poco común a menos de que se trate de sedimentos muy recientes. Las aguas connatas de las rocas sedimentarias suelen venir del agua de mar atrapada con los sedimentos durante la etapa de depósito, donde su composición ha sido alterada por reacciones (como reducción, intercambio iónico, filtración) con otros compuestos con los que ha estado en contacto, los minerales y materia orgánica con los que están en contacto.

En las aguas fósiles la evaporación conduce a variaciones en las relaciones de tipo estequiométrico de los iones que las constituyen, de tal manera que al rebasarse el límite de

saturación de las sales inicia su precipitación enriqueciendo el agua con los elementos más solubles y de menor concentración respecto al agua original. Puede ser que haya acumulación de materiales orgánicos en el fondo, los cuales formarán yacimientos de limo espesos.

La salinidad del agua subterránea se incrementa con el flujo su tiempo de residencia, dependiendo por lo tanto de la permeabilidad de acuífero y a medida que la temperatura es mayor, también lo será la velocidad de disolución. Las rocas permeables por porosidad ceden más sales que las permeables por la presencia de fisuras. Si el tiempo de contacto del agua con el terreno se incrementa, la capacidad de disolución del agua aumentará hasta alcanzar el producto de solubilidad de cada componente, produciendo diferencias en las características geoquímicas de las aguas. Más concentración de sales lleva a un incremento en la capacidad para disolver nueva cantidad de sales por su relación directa con la variación de la fuerza iónica.

Los controles hidrogeológicos en la descarga del agua subterránea gobiernan la presencia de aguas subterráneas salinas, las cuales se encuentran en materiales de baja transmisividad y en contacto con el acuífero principal que contiene aguas dulces. Las condiciones estáticas favorecen la difusión entre cuerpos de agua dulce y agua salada que entran en contacto. Los cuerpos de agua salada antigua relativamente estables representan zonas donde el flujo de las aguas subterráneas es bajo o nulo.

La evaporación es el principal proceso en el ciclo hidrológico y en climas áridos llega a ser un proceso fundamental en el control de la composición del agua. Más del 50% de la lluvia retorna a la atmósfera por evapotranspiración y la conducción del vapor de agua hace que aumente las concentraciones de todos los componentes que estaban ahí disueltos. El agua salina en este tipo de ecosistemas suele deberse al efecto de la evaporación por capilaridad, donde también es factible que ocurra la entrada de sales en el terreno desde la precipitación pluvial. Se da en áreas con recarga intermitente, donde épocas de escasa precipitación, propician la concentración de sales en la zona no saturada y durante las etapas húmedas las sales serán transportadas y alcanzarán las aguas subterráneas.

6.4.2.3. El manejo del sistema de producción y su relación con la salinidad en el Acuífero Valle de Guadalupe.

La irrigación y la fertilización forman parte esencial del manejo de los sistemas de producción que, cuando se practican de manera apropiada y oportuna, coadyuvan a lograr altos rendimientos y propician una adecuada calidad de los productos a cosechar; sin embargo, cuando no se realizan convenientemente, ya sea por la aplicación excesiva o insuficiente del agua y fertilizantes, se inducirán una serie de problemas que afectarán la rentabilidad del sistema de producción. En otras palabras, en cualquier sistema agrícola cualquier aplicación de insumos sigue la ley de los incrementos decrecientes, lo cual desde luego incluye el agua de riego y los fertilizantes.

El agua que se extrae del acuífero del Valle de Guadalupe tiene una concentración de sales que varía según la profundidad del pozo y su ubicación geográfica, de ahí que se deben extremar las precauciones en los riegos sobre todo cuando sólo se cuenta con aguas que contengan concentraciones elevadas de sales aunque el suelo sea arenoso, como es el caso que nos ocupa. En caso que no se tomen las medidas pertinentes se estará simplemente adicionando minerales a la zona de exploración de las raíces, mismas que se acumularán y provocarán un ambiente químico nocivo en el medio, alterando negativamente el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Por ello y con la idea de ver si existe alguna relación entre la presencia de sales en el agua de riego y su acumulación en la zona de exploración de las raíces, se elaboraron la Figura 113 y Figura 114, donde se presenta la variación de la conductividad eléctrica sólo en suelos agrícolas y asociada a pozos con diferente concentración de sales (menores a 1.5 dS m^{-1} y mayores a 1.5 dS m^{-1} , respectivamente).

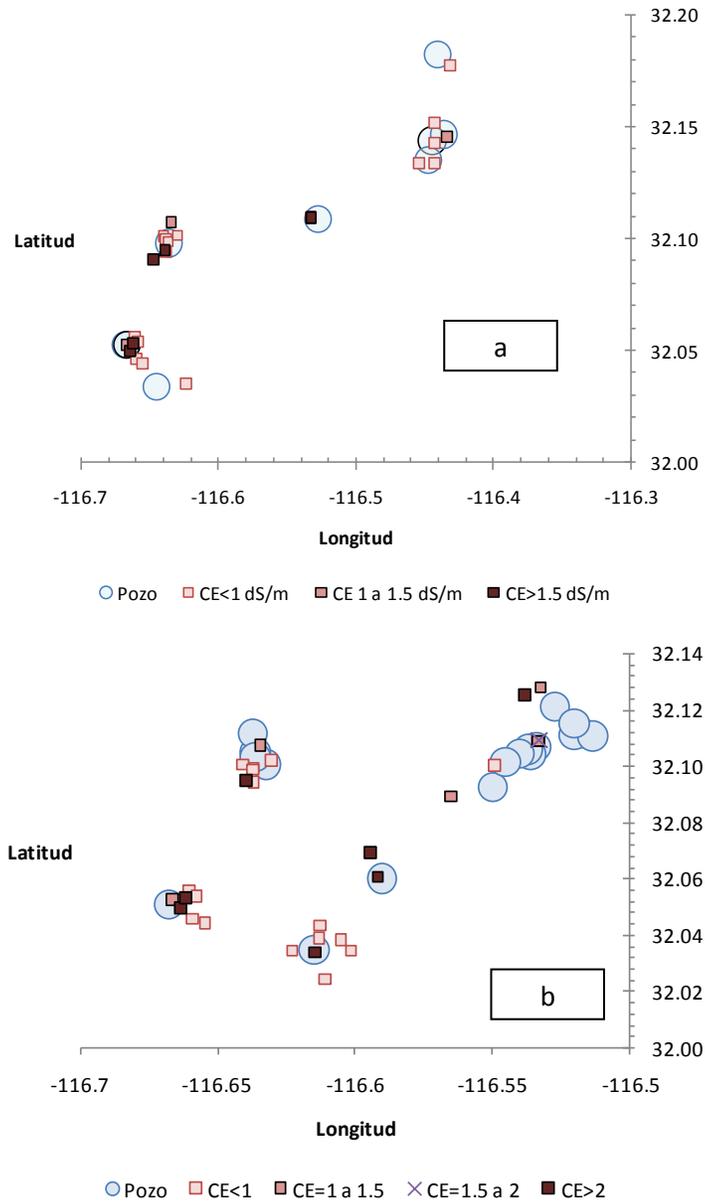


Figura 113. Variación de la conductividad eléctrica (C_E) en suelos agrícolas. a: terrenos donde la C_E del agua del pozo es $< 1.0 \text{ dS m}^{-1}$; b: terrenos donde la C_E del agua del pozo está entre 1.0 y 1.5 dS m^{-1} .

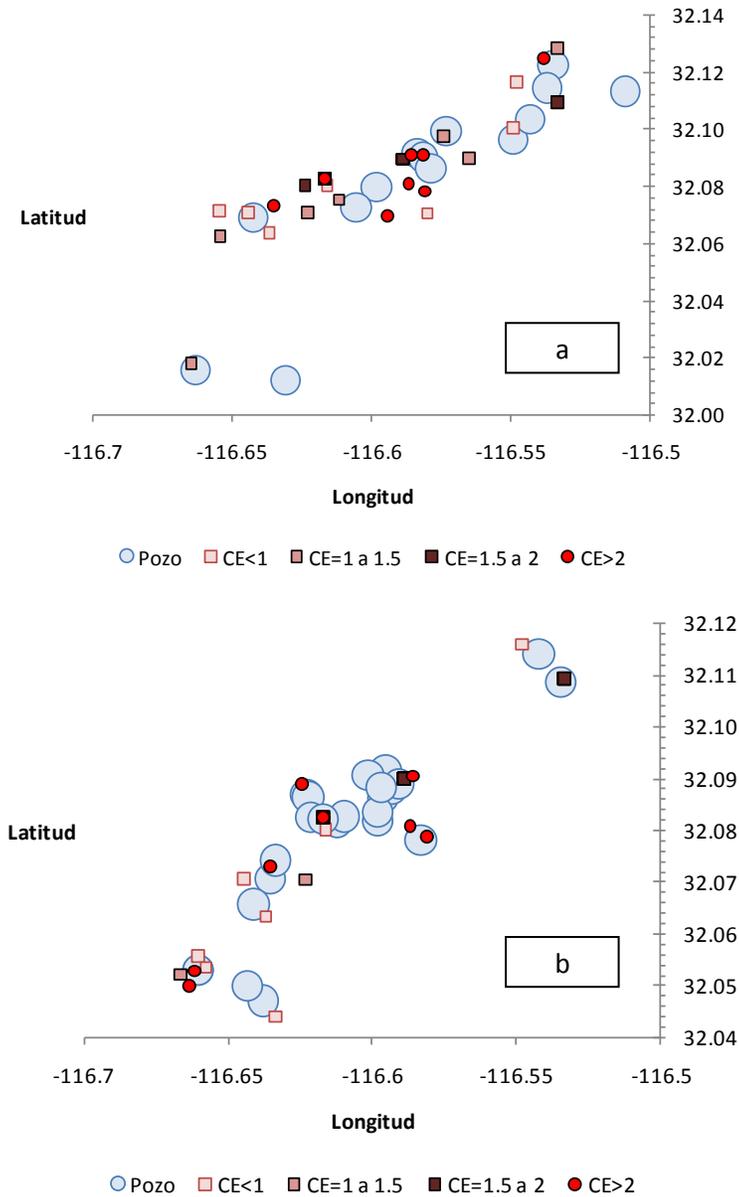


Figura 114. Variación de la conductividad eléctrica (C_E) en suelos agrícolas. a: terrenos donde la C_E del agua del pozo está entre 1.5 y 2.0 $dS\ m^{-1}$; b: terrenos donde la C_E del agua del pozo es superior a 2.0 $dS\ m^{-1}$.

Para evaluar el efecto del riego sobre la acumulación de sales en el suelo, en tres plantaciones de uva del Valle de Guadalupe se colectaron muestras de suelo a 0, 50 y 100 cm de distancias al emisor y cada una a tres profundidades distintas (0 a 30, de 30 a 60 y de 60 a 90 cm). Los resultados obtenidos se presentan en el Cuadro 48.

Cuadro 48. Variación de la concentración de sólidos disueltos totales en tres viñedos del Valle de Guadalupe.

Distancia a la cepa	Profundidad	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3
		S _{DT}		
cm	cm	----- mg kg ⁻¹ -----		
0	0 a 30	364	246	685
0	30 a 60	1039	488	456
0	60 a 90	2432	1146	787
50	0 a 30	241	260	636
50	30 a 60	868	290	792
50	60 a 90	2765	1349	762
100	0 a 30	139	481	536
100	30 a 60	1478	292	275
100	60 a 90	3936	404	420

En el sitio 1 las sales se están desplazando y acumulando de manera significativa tanto en sentido vertical como horizontal, lo cual es atribuido a un mal manejo del agua de riego, la cual contiene una alta concentración de sales. En estos casos, si se incrementa la intensidad y frecuencia del riego con la supuesta idea de lavar el exceso de sales, sólo se conseguirá agravar el problema. En el sitio 2 en donde también se emplea agua con alta conductividad eléctrica, se hace un correcto manejo de la frecuencia e intensidad del riego, de tal manera que se consigue desplazar eficientemente a las sales de la zona de exploración de las raíces. En contraste, en el sitio 3 el agua de riego que se está empleando es de buena calidad por lo que no tienen problemas en la acumulación de sales en el perfil que está en el área de influencia del crecimiento y desarrollo del parronal. Con el propósito de ilustrar estos ejemplos, se elaboró un esquema que representa la variación de la conductividad eléctrica en el bulbo de mojado, por efecto de la aplicación del agua de riego (Figura 115).

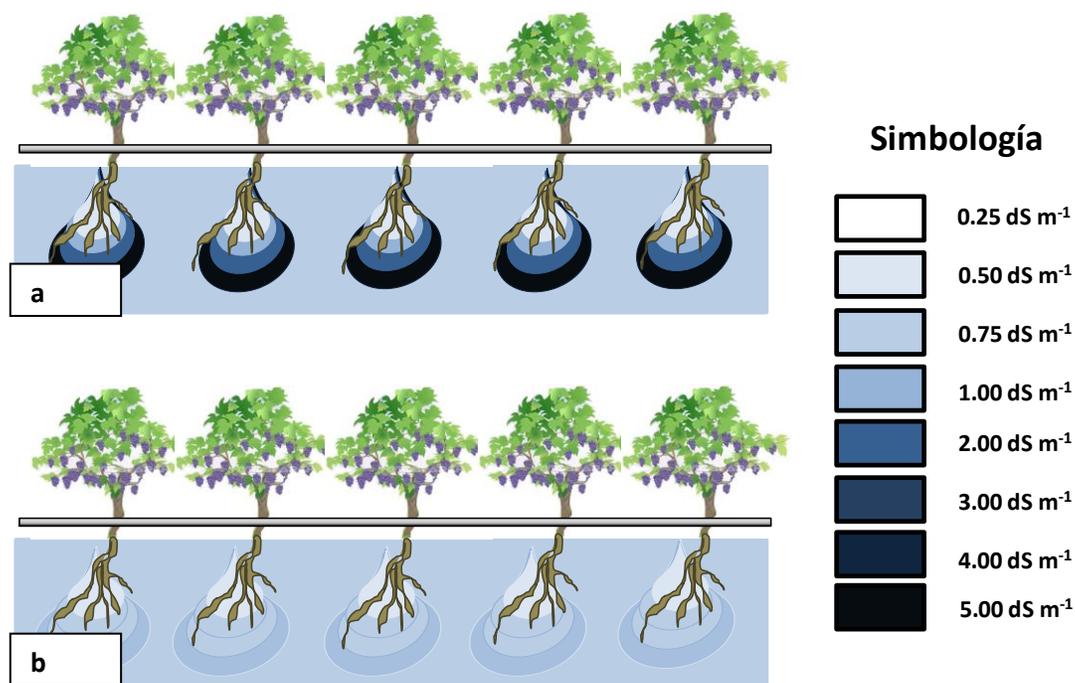


Figura 115. Esquema que representa la variación de la conductividad eléctrica en el bulbo de mojado, por efecto de la aplicación del agua de riego: a. Mal manejo del riego; b. Buen manejo del riego.

La aplicación de fertilizantes también tiene un efecto acumulativo en el suelo, a pesar de que el medio edáfico presenta una capacidad amortiguadora muy baja, puesto que las condiciones climáticas no favorecen un rápido desplazamiento de los nutrientes adicionados. Como ejemplo de lo anterior, en la Figura 116 se muestra la distribución de frecuencia de la concentración de nitrógeno en el suelo en los terrenos agrícolas muestreados en el Valle de Guadalupe.

Como era de esperarse, la concentración de amonio es muy baja porque se trata de un medio suficientemente aireado y el agua de riego es suficiente como para activar los procesos biológicos que permiten la oxidación de este catión hasta la formación de nitratos. En contraste, 74% de los suelos estudiados presentan una cantidad superior a 15 mg kg⁻¹ de nitratos. Desde luego, dicho valor pudiese ser catalogado como una oferta muy baja de nitrógeno, pero hay que recordar que se trata de suelos muy arenosos donde se esperaría que el nitrógeno y sobre todo en forma de nitratos se moviese rápidamente y no fue así. Más aún, en 61% de los casos evaluados se cuantificó valores de 40 mg kg⁻¹ ó más de

nitratos, lo cual implica que se están aportando grandes cantidades de fertilizantes nitrogenados con una eficiencia de recuperación muy baja. La situación anterior también se apreció para el fósforo, cuya distribución de frecuencia se presenta en la Figura 117.

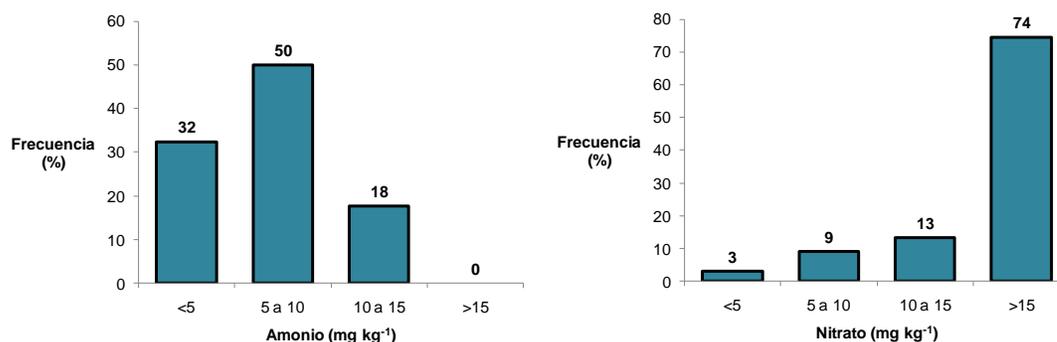


Figura 116. Distribución de frecuencia de la concentración de nitrógeno en el suelo en forma de amonio y nitrato detectada muestras colectadas de terrenos agrícolas en el área de estudio.

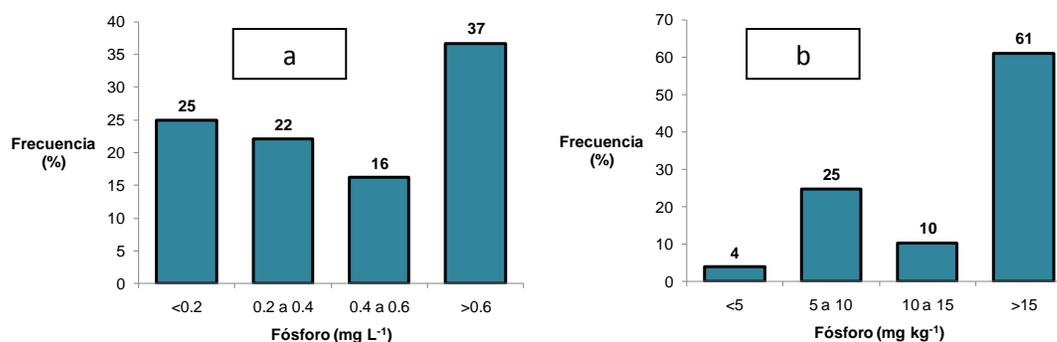


Figura 117. Distribución de frecuencia de la concentración de fósforo en muestras colectadas de terrenos agrícolas en el área de estudio: a. Fase líquida edáfica; b. suelo.

El fósforo tiende a reaccionar con diferentes tipos de minerales por mecanismos de adsorción y posteriormente de difusión vía intrapartícula. Por ello, es muy frecuente que se detecten concentraciones inferiores a 0.2 mg L⁻¹ en la solución del suelo. En este caso ocurre lo contrario (Figura 117 izquierda) lo que implica que existe una alta concentración de fósforo en el medio edáfico como se muestra en la Figura 117 derecha.

También se observa que en 61% de los suelos, la concentración de fósforo en el suelo supera el valor de 15 mg kg^{-1} , lo cual implica que desde hace varios años se están haciendo aplicaciones intensivas de fertilizantes fosfatados. Cabe señalar que en algunos casos extremos es probable que se llegue a afectar el crecimiento y desarrollo del cultivo al inducir reacciones de antagonismo con micronutrientes metálicos, pero en la mayoría sólo se logrará elevar los costos innecesariamente. En Figura 118 se presenta la distribución de frecuencia de la concentración de potasio en los suelos agrícolas del Valle de Guadalupe.

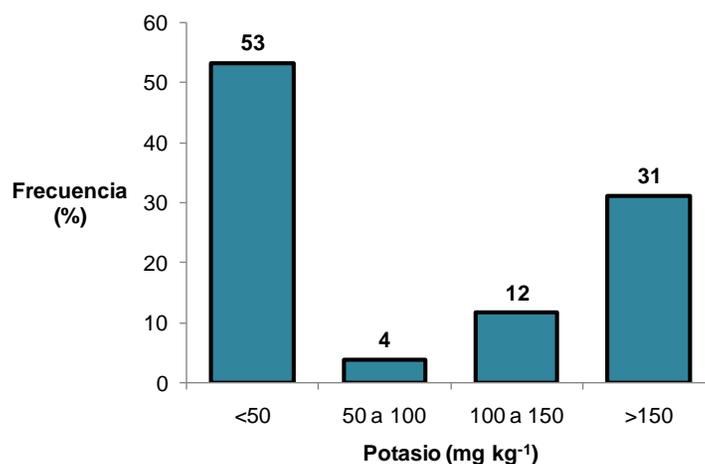


Figura 118. Distribución de frecuencia de la concentración de potasio en muestras colectadas de terrenos agrícolas en el área de estudio.

En las condiciones del área de estudio es normal encontrar concentraciones de potasio inferiores a 100 mg kg^{-1} , puesto que la fracción fina edáfica se encuentra en valores por debajo de 15%, minerales responsables de adsorber este catión. A pesar de ello, se encontraron valores mayores que 150 mg kg^{-1} e incluso en 43% de los casos muestran cantidades superiores a 200 mg L^{-1} , lo cual está asociado a fuertes aplicaciones de fertilizantes potásicos por el tipo de suelo que predomina en la región. Esto es frecuente en sistemas de producción de alta rentabilidad, puesto que se cree que mientras más potasio se adicione mejor responderá el cultivo, pero una vez más se aplica la ley de los incrementos decrecientes. Cuando la demanda de potasio del cultivo queda satisfecha, una aplicación mayor no tendrá ningún beneficio para el cultivo en rendimiento ni calidad y sólo ocasionará incrementar los costos de producción de manera infructuosa. En la Figura 119 se presenta la distribución de frecuencia del boro y de los micronutrientes metálicos en los suelos agrícolas estudiados del Valle de Guadalupe.

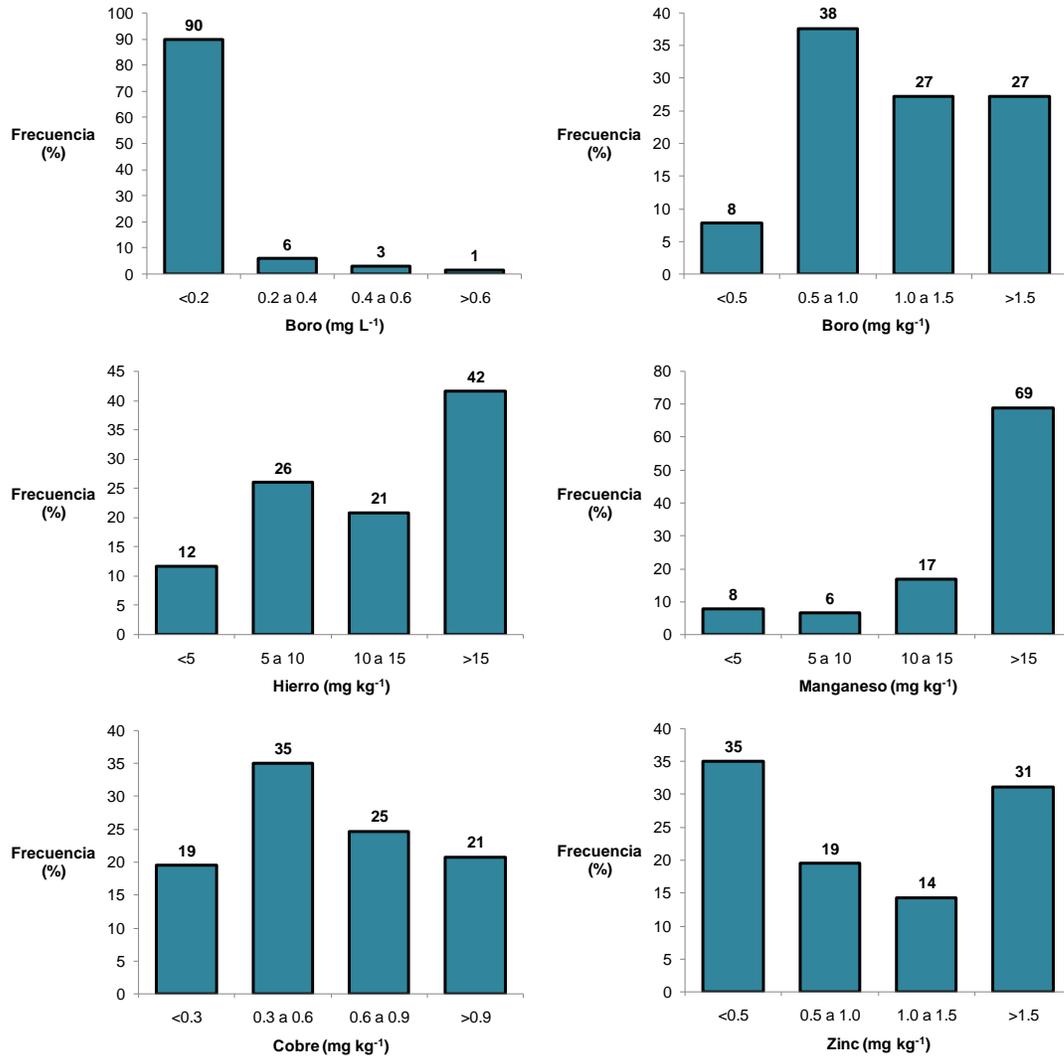


Figura 119. Distribución de frecuencia de la concentración de boro en la fase líquida y en el suelo, así como de los micronutrientes metálicos en muestras colectadas de terrenos agrícolas en el área de estudio.

Aunque para este trabajo no se midieron las aplicaciones de fertilizantes, las altas concentraciones de los nutrientes mayores (NPK) presentes en el suelo, son evidencia de que se está aplicando mayor cantidad de fertilizante que la que requieren los cultivos.

Por otro lado, la variación de todos los micronutrientes en los suelos estudiados no presenta valores anormalmente altos; sin embargo, en todos los casos se aprecia que en algunos sitios su disponibilidad en el medio edáfico es posible que no satisfaga la demanda de cultivos de alto rendimiento.

6.5. PROPUESTAS PARA EL PLAN DE MANEJO SUSTENTABLE.

6.5.1. Desalinización de agua de mar.

Se observa la sobreexplotación del acuífero Guadalupe en un volumen anual minado de 7.08 hm³. Dentro de las extracciones reportadas, alrededor del 30% son destinadas al uso público urbano de la ciudad de Ensenada. La imprescindible necesidad de agua en Ensenada, que cuenta con una población reportada de 413 481 habitantes (INEGI 2005), implica cubrir esta demanda de forma acertada, ya que actualmente el acuífero Guadalupe es la principal fuente de abastecimiento de esta población.

La desalación del agua de mar se presenta como una alternativa para diversificar las fuentes de abastecimiento de esta población. Estudios realizados por la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, España, señalan que la región cuenta con las condiciones para el establecimiento de plantas desalinizadoras de agua de mar (Correa, 2007). Aunque el principal inconveniente del proceso de desalinización es su elevado costo comparado con fuentes convencionales de abastecimiento de agua, la condición actual del recurso hidráulico en la región permite observarlo como alternativa viable. Los mismos estudios estiman un costo de producción de agua desalada de 0.62USD/m³ en la ciudad de Ensenada en una planta de 100 l/s de capacidad (8, 640 m³/día), empleando el método de Ósmosis Inversa. Considerar una planta de ésta capacidad implicaría una producción anual de 3.1 hm³, mismos que representarían una disminución en las extracciones del acuífero Guadalupe.

Por otra parte la Comisión Nacional del Agua, dentro de los proyectos de “Portafolio de infraestructura 2010”, presenta el establecimiento de una planta desaladora en Ensenada, con una capacidad de abastecimiento de 7.9 hm³/año. Esta cantidad sería equivalente al volumen minado del acuífero. El volumen de la planta se pretende emplear para uso urbano de Ensenada y por tanto, en caso de realizarse esta obra, se reducirá en un 30% el volumen de extracción total del acuífero del Valle de Guadalupe por concepto de uso urbano, implicando una disminución de aproximadamente 6.63 hm³/año de extracciones.

6.5.2. Reutilización de aguas residuales de la ciudad de Ensenada.

La reutilización del agua de la ciudad de Ensenada permitiría, al igual que la propuesta anterior, la reducción de los volúmenes de extracción del acuífero.

Existen tres plantas de tratamiento: El Sauzal, El Gallo y el Naranja, cuyo volumen actual tratado es de 50, 150 y 450 l/s, respectivamente. Dicho volumen cumple con las normas NOM-001-SEMARNAT-1996, para irrigación, así como la NOM-003-SEMARNAT-1997 para reutilización potable, sin embargo sólo una pequeña cantidad de ésta agua es empleada para riego de parques, ya que la mayor parte es vertida en la Bahía de Todos Santos (Mendoza, 2009).

Considerando el cumplimiento de las normas antes mencionadas, el realizar una planeación adecuada para la reutilización del volumen de agua tratada, alrededor de 20 hm³/año (trabajando las plantas a máxima capacidad), que impactaría directamente en la reducción de extracciones del acuífero para las necesidades urbanas de Ensenada. Se recomienda la construcción de infraestructura para la distribución y aplicación de estas aguas en usos industriales así como de riego en zonas cercanas a Ensenada. Pudiéndose reducir la extracción de agua del acuífero del Valle de Guadalupe destinada a la ciudad de Ensenada en el orden de 2 hm³/año, aproximadamente.

6.5.3. Pozos de absorción.

Además de las propuestas anteriores, la construcción de pozos de absorción ayudará a la recarga directa al acuífero del Valle de Guadalupe. Un pozo de absorción se caracteriza por captar agua de lluvia, así como la acumulada por escurrimiento en zonas bajas de una cuenca, y transportarlas directamente al acuífero o manto freático de la zona donde se ubique. Para la instalación de estos pozos es necesario conocer las características de los suelos y el nivel estático del manto freático en el punto de su localización, el volumen de agua que permitirán recargar será función de las dimensiones de los mismos, así como de la cantidad de agua precipitada en la zona.

Un estudio con mayor detalle para identificar las zonas aptas para la instalación de estos pozos permitirá que su implementación genere un mayor volumen de recarga en el acuífero.

Se recomienda identificar las zonas donde existen acumulaciones de agua para evitar la evaporación de la misma, que representa una pérdida mayor del volumen total precipitado en el acuífero del Valle de Guadalupe.

En la parte baja del acuífero se estima una precipitación media de 296 mm/año. El diseño y construcción de pozos con la capacidad de incrementar la recarga del acuífero en un orden de 1 hm³/año, sumados a la disminución de las extracciones para uso urbano de Ensenada, llevarían el balance hídrico a valores de cercanos a cero.

6.5.4. Modernización y tecnificación de la zona de riego.

Del volumen total extraído del acuífero del Valle de Guadalupe, el destinado para el riego representa el mayor porcentaje (alrededor del 60 %) según los datos recopilados en campo. La mayor parte de la superficie agrícola cuenta con riego presurizado tecnificado, es decir, se observa un nivel de eficiencia adecuado en cuanto a la aplicación del agua en actividades agrícolas. Sin embargo, el tecnificar el resto de superficie agrícola implicaría una reducción del volumen de agua empleado para riego; ya que la tecnificación de esta superficie, así como la modernización de la ya existente, puede representar una reducción del volumen de extracción del acuífero Guadalupe. Considerando que podría llegar a reducirse la extracción para aguas destinadas al uso potable en Ensenada hasta en 6.63 hm³/año, la reducción de 1 hm³/año en extracciones agrícolas permitiría tener un balance que tienda a 0 en el acuífero, es decir que su sobreexplotación se reduzca.

Para llevar a cabo esta modernización, así como la tecnificación, es importante realizar estudios que presenten el estado actual de la infraestructura de riego con el fin de determinar las actividades adecuadas que concluyan en un mejor manejo y aplicación del agua. El incremento de la superficie agrícola en la zona del acuífero Guadalupe no es recomendado, ya que esto generaría un mayor consumo de agua del mismo acuífero. Los estudios realizados a los suelos agrícolas de la zona de estudio indican que existe la aplicación excesiva de fertilizantes a los cultivos. El identificar estos puntos, con el fin de mejorar las técnicas de cultivo para la disminución de costos de producción, impactará directamente en el ingreso obtenido. Se recomienda realizar un mejor estudio de la producción agrícola de la región con el fin de observar las mejoras que pueden realizarse.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las tecnologías de la información, específicamente los SIGs, se pueden aplicar en estudios de acuíferos para así obtener planes de manejo de los usos de agua.

La georeferenciación y caracterización de la infraestructura hidroagrícola, padrón de usuarios y catastro de aprovechamientos, permite visualizar y manipular de manera ágil información relevante, tal como ubicación espacial, superficie dominada e infraestructura hidroagrícola. Esto también proporciona herramientas valiosas de apoyo en la toma de decisiones para el correcto direccionamiento de acciones estructurales y no estructurales, con el fin de lograr el uso sustentable del agua.

De los datos obtenidos en del inventario de las Unidades de Riego del Valle de Guadalupe, se observa que cerca del 40% de superficie agrícola se encuentra tecnificado (sistemas de riego presurizados) y la superficie restante no cuenta con sistemas de riego o es de temporal.

En el Valle de Guadalupe, municipio de Ensenada, B.C, existen un total de 1,422 aprovechamientos, de los cuales 1,374 son de origen subterráneo y 48 de origen superficial. El volumen de extracción total por año se estima en 20, 590, 712 m³.

El valor de -7.08hm³/año obtenido en el balance hídrico nos indica que el acuífero del Valle de Guadalupe se está sobre explotando, es decir se extrae más agua de la que se recarga. Las mayores descargas son por los conceptos de uso agrícola y agua aportada para uso urbano de la ciudad de Ensenada, estos dos rubros se tomaron en cuenta en el plan de manejo del acuífero del Valle de Guadalupe.

La salinidad que se está presentando en el Valle de Guadalupe sólo ocurre en algunos de los terrenos agrícolas, la cual incluso llega a valores excesivamente altos y la magnitud de sales en el medio edáfico es tal que muy probablemente incidirán de manera negativa sobre la calidad y cantidad de los productos agrícolas que ahí se cultivan.

En el acuífero del Valle de Guadalupe se presentan problemas de contaminación por nitratos, cuya fuente no fue determinada en el presente estudio.

En lo que se refiere a los parámetros de pH y S_{DT} , éstos han presentado muy poca variación con relación a los realizados en 2001 por Daesslé (2006).

En la fosa El Porvenir del acuífero del Valle de Guadalupe, a partir de los 20 metros de profundidad se incrementa la cantidad de sales a medida que se incrementa la profundidad de extracción o al menos hasta los 60 metros. Esta misma valoración se observó para la fosa Calafia.

El acuífero no presenta problemas de contaminación por metales pesados.

En la mayoría de las muestras de suelos agrícolas analizadas se encontró valores altos de los principales macronutrientes, lo que indica que hay exceso de aplicación de fertilizantes.

En algunos viñedos las sales se están desplazando y acumulando de manera significativa tanto en sentido vertical como horizontal, lo cual es atribuido a un mal manejo del agua de riego, la cual contiene una alta concentración de sales. En estos casos, si se incrementa la intensidad y frecuencia del riego con la supuesta idea de lavar el exceso de sales, sólo se conseguirá agravar el problema.

Es posible la sustentabilidad del acuífero del Valle de Guadalupe si se siguen las propuestas de esta investigación.

La desalinización es una alternativa viable para sustituir el agua extraída del acuífero para abastecer la ciudad de Ensenada.

La reutilización de aguas residuales de la ciudad de Ensenada permitirá disminuir el volumen de extracción del acuífero del Valle de Guadalupe, presentándose como una alternativa temporal en tanto se construyan las plantas desalinizadoras.

Con la tecnificación y modernización de infraestructura de riego, se reducirán los volúmenes de agua usados con fines agrícolas.

La construcción de pozos de absorción impactará directamente en la recarga del acuífero.

Para lograr un equilibrio en el Balance Hídrico del acuífero del Valle de Guadalupe, se recomienda reducir las descargas debidas a la extracción con fines de uso urbano, considerando otras alternativas tales como la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales, principalmente en la ciudad de Ensenada. También es recomendable tomar medidas que ayuden a incrementar la recarga de los mantos acuíferos del valle como la colocación de pozos de absorción, ubicándolos en las partes más bajas donde confluyen los escurrimientos. El estudiar a mayor detalle el estado actual de los sistemas de riego para detectar aquellas zonas con baja eficiencia, sentaría las bases de la realización de una propuesta de rehabilitación o modernización, según se requiera.

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

La determinación del coeficiente de almacenamiento del acuífero del Valle de Guadalupe a través de pruebas hidrogeológicas permitirá calcular de forma más exacta el volumen total minado.

Finalmente, se considera recomendable el mantener en constante actualización el Sistema de Información Geográfica para facilitar al personal técnico que opera los aprovechamientos hidráulicos de la región (Comité de Aguas Subterráneas del Valle de Guadalupe) la detección de problemas específicos y actuar de manera oportuna en la planeación y toma de decisiones.

8. LITERATURA CITADA

- Alvarez I., P. 2009. Dinámicas colectivas en la apropiación de las aguas subterráneas en México. Manejo de recursos de uso común. Instituto Nacional de Ecología. 70 p. http://www.ine.gob.mx/dgipea/descargas/din_col_aprop_aguas_sub.pdf
- Anderson, R. E., 1971. Thin-skin distension in Tertiary rock of southwestern Nevada: Geological Society of America Bulletin, v. 82, p. 43-58.
- AndradeB., M., 1997. Actualización geohidrológica del Valle de Guadalupe, Municipio de Ensenada, B.C. Grupo Agroindustrial del Valle de Guadalupe. Ensenada, Baja California, México. 60 pp.
- Aparicio M. 1992. Fundamentos de hidrología de superficie. Ed. LIMUSA. México.
- Badán A. 2006. Balance del agua en el acuífero Valle de Guadalupe. Oceanografía física. CICESE. AAAS, San Diego, California. EE.UU.
- Badán A., Kretschmar 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 G., J. R. y Kretschmar T. 2008. Simulación del flujo de agua subterránea en el acuífero del Valle de Guadalupe, Baja California, México. Tesis de doctorado. Programa de Posgrado en Ciencias de la Tierra. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, B. C. México.
- Campos G., J.R. y Kretschmar T. 2008a. Simulación de flujo y escenarios de la explotación a futuro del agua subterránea en el acuífero del valle de Guadalupe, Baja California, México. GEOS Vol. 28 Núm. 2.
- Carabias J., Landa R., Collao J. y 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.
- 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.
- CESPE. 2008. Breve historia. <http://www.cespe.gob.mx/organismo/antecedentes.html>
- CICESE (Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada). 2005. Informe anual 2005, Ensenada, B.C., México. 100 p.
- CICESE (Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada). 2007. Anuario 2007. Centros Públicos de Investigación. CONACYT, México. 49 p.

- CNN Noticias. 2006. ¿Hacia dónde va el Valle? <http://www.cnnexpansion.com/expansion/reportajes/2006/11/15/bfhacia-donde-va-el-valle>
- 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. México, D.F.
- 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. México, D.F. 88 p.
- Correa D., F. 2007. Evaluación de la sustentabilidad en la instalación de plantas desaladoras, de agua de mar, en la región noroeste de México. Tesis doctoral. Departamento de Ingeniería de Procesos. Universidad de las Palmas de Gran Canaria. España.
- Cruz C., 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., Mendoza, E. L.G. , Camacho, I. V.F., Rozier, O. W., Morton, L., Van, D., Lugo, I. K.C., Quintanilla, M. A.L., and Rodríguez, P. A. 2006. The hydrogeochemistry of a heavily used aquifer in the Mexican wine-producing Guadalupe Valley, Baja California. *Environ. Geol.*:1-9.
- Diario El Mexicano. 2009. Los viñedos de Guadalupe (Edición Impresa). Editorial. <http://www.el-mexicano.com.mx/noticias/editorial/2009/08/18/364503/los-vinedos-de-guadalupe.aspx>. Publicado el 18 de agosto de 2009.
- Diario El Mexicano. 2009. Preocupa a vitivinicultores agotamiento de agua en Valle de Guadalupe. http://www.vendimia.cl/noticias/imprimir_noticia_neo.php?id=5640. Publicado el 27 de octubre de 2009.
- Diario El Mexicano. 2003. Plan para evitar saqueo de arena. Publicado el 14 de enero de 2003.
- Dirección Estatal de Protección Civil. 2007. Aspectos Generales. Baja California, México. http://www.depcbc.gob.mx/sistema_informacion/Atlas_Estatal/Indice_general/riesgos_generales.htm
- Dirección General de Ecología. 1993. Plan de Ordenamiento Ecológico del Estado de Baja California. Dirección General de Ecología, Gobierno del Estado de Baja California. México. 151 p.
- EMETEC S.A. de C.V. 2007. Acueducto Bajanorte. Una solución con sentido. Proyecto para abastecimiento de agua a la Zona Costa de Baja California. Ensenada, B.C. México. 19 p.

- EMETEC. 2009. El agua en Baja California. Ensenada, B.C. México. <http://www.emetec-infraestructura.com/Site/AguaenBajaCalifornia.pdf>
- 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. Ensenada, B.C. México. 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/>
- Gaeta L., A. 2006. Productividad de la vid en función del aprovechamiento de agua subterránea en el Valle de Guadalupe 1994 -2004. Tesis de Maestría en administración integral del ambiente. Colegio de la Frontera Norte y al Centro de Investigación y Educación Científica de Ensenada (CICESE). Tijuana, B.C.
- García O., S. 2008. Baja California. Ensenada, B.C. México. http://www.oem.com.mx/elsolde_tijuana/notas/n950091.htm. Publicado el 29 de noviembre de 2008.
- Gastil, G., Morgan, G.J., and Krummenacher, D. 1978. Mesozoic history of peninsular California and related areas east of the Gulf of California. *In: Mesozoic Paleogeography of the Western United States*, edited by Howell, D.G. and McDougall, K.A.: Pacific Section Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, California, U.S.A. Pp.107-116.
- Gobierno de Baja California. 2007. Diagnóstico ambiental. Baja California. México. <http://www.bajacalifornia.gob.mx/spa/problematika/diagnosticoA.html>
- Iglesias A. 2002. Hidrogeología. Ed. Prentice May. Madrid, España. Pp. 263-302.
- IMIT (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. Baja California. México. (Región del Vino), B.C. 33 p.
- INIFAP. 2005. Memorias del II Seminario Internacional de Vitivinicultura, celebrado del 3 al 4 de agosto de 2005 en Ensenada, B.C., México. 70 p.

- INIFAP. 2008. Proyecto: red estatal agro-climatológica. Sistema de información de manejo del agua de riego en Baja California (SIMARBC). Uso eficiente del agua: 2008 - 2013.
- 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-7° ALHSUD. Groundwater flow understanding from local to regional scales. Zacatecas City, Mexico. 11th to 15th October, 2004.
- Krummenacher, D., Gastil, R.G., Bushee, J. and Doupont, J. 1975. K-Ar Apparent Ages, Peninsular Ranges Batholith. Southern California and Baja California: Geol. Soc. America Bull., v.86. Pp.760-768.
- Kurczyn R., J.A. y Kretzschmar, T. 2004. Evaluación del potencial de escurrimiento/infiltración, en la serranía Matcuatai, Valle de Guadalupe, B.C. México.
- Kurczyn R., J.A., Kretzschmar, T. e Hinojosa C., 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. Pp. 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>
- León C. y Graizbord B. 2003. Resumen de la memoria técnica del ordenamiento ecológico del Mar de Cortés. El Colegio de México, A. C. Universidad Autónoma de Baja California. Instituto Nacional de Ecología. 40 p.
- López N., P.A. 2008. Plan municipal de desarrollo 2008-2010. Gobierno municipal de Ensenada, Baja California. México. 152 p.
- López P., M. 2003. Conceptos trascendentales sobre la gestión del agua en México: La Ley de Aguas Nacionales y los Consejos de Cuenca. Comisión Nacional del Agua. México. 67 p.

- Mac Kay T., C. 2009. Apuntes de enología. Notas de curso. Universidad Autónoma de Baja California. http://enologia.ens.uabc.mx/archivos/apuntes_de_enologia.pdf
- Mac Kay, T. C. 2007. Caracterización y propuestas de manejo vitivinícola para el Valle de Guadalupe, B.C. México. Proyecto de Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Manejo de Ecosistemas de Zonas Áridas. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, B.C. México.
- Mac Kay, T. C. 2009. Calidad y cantidad de agua. <http://cmackay.wordpress.com/2009/03/10/calidad-y-cantidad-de-agua/>
- Macías C., M.A. 2006. Evaluación paisajística con fines de aprovechamiento agro-turístico. Caso: Valle de Ojos Negros, Ensenada, B.C. Tesis de Maestría en Arquitectura. Facultad de Arquitectura. Universidad Autónoma de Baja California. Mexicali, B.C. México.
- Medellín A., J., Howitt R., E., Waller B., C., Mendoza E., L.G., Lund J., R., y 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.
- Medellín, A. J., Mendoza, E. L.G., Lund, J. R., Waller, B. C., and Howitt, R. E. 2009. Water Supply for Baja California: economic engineering analysis for agricultural, environmental and urban demands. A report prepared for the border affairs unit of the California Environmental Protection Agency. UC Davis, University of California. 106 p.
- Mendoza E., L.G., Cabello P. A., Macías C., V., Daesslé V., W., y Orozco B. 2009. La irrigación de vides con aguas residuales tratadas en el Valle de Guadalupe. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, B.C. México.
- Monterrosas F., 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
- Musalem L., O. 2001. De nuestra cosecha. El olivo, eco del Mediterráneo. *Revista Abriendo Surcos*: 3-27.
- Pacheco A., J. *et al.* 2002. Análisis del ciclo del nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea y su efecto en los seres vivos. In: *Ingeniería* (6) 3: 73-81.
- 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. Universidad Estatal de San Diego. San Diego, California, EE.UU.
- Ponce, V.M. 2009. Manejo sustentable del agua en el Valle de Ojos Negros, Baja California, México. San Diego SU, UABC, INIFAP. 50 p.

- Romo J., J.M., Gómez T. E. y Vázquez G., R. 2004. Desarrollo y prueba de metodología geofísica para evaluar la vulnerabilidad del agua subterránea en Baja California. Departamento de Geofísica Aplicada, CICESE. Propuesta de investigación al fondo sectorial de investigación ambiental SEMARNAT-CONACYT.
- Sarmiento, S. 2009. Editorial.<http://www.elimparcial.com/> Publicado el 16 de marzo de 2009.
- SEDESOL. 2006. Programa de desarrollo regional. Región del Vino. Ensenada, Baja California, México. 138 p.
- SEMARNAT. 2001. Aprovechamiento de arena en el arroyo El Barbón. Estudio de impacto ambiental.
<http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/bc/resumenes/2001/02BC2001M0015.html>
- SEMARNAT-UABC. 2009. Ordenamiento ecológico del Valle de Guadalupe, Baja California. www.semarnat.gob.mx/.../ordenamientoecologico/.../poet_valle_guadalupe.pdf. 188 p.
- Sención A., R.A. 2008. Vedas, reglamentos y reservas de agua subterránea, en el marco de los planes de manejo integrado. VIII Seminario técnico. Expo-agua 2008. 11p.
- Sokolov A., A., Chapman T., C. 1981. Métodos de cálculo del balance hídrico. Instituto de Hidrología de España, UESCO. Madrid, España.
- 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 y 04 de agosto de 2005.
- Valenzuela S., C. 2009. Optimización del uso y manejo del agua de riego para la vid en la costa de Ensenada, B.C. Sitio Experimental Costa de Ensenada. INIFAP. México.
- Vázquez G., R. 2000. Posibles efectos en los recursos hidráulicos subterráneos de los aprovechamientos de materiales pétreos en los cauces de arroyos. Gaceta electrónica del CICESE.
- Waller B., C. 2008. Optimización del manejo del agua de uso urbano de Ensenada y uso agrícola de Maneadero y Valle de Guadalupe, B.C. Tesis de Maestría en Ciencias en manejo de ecosistemas de zonas áridas. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, B.C. México.
- Waller B., C., Mendoza E., L., Medellín A., J. y Lund J., R. 2009. Optimización económico-ingenieril del suministro agrícola y urbano: una aplicación de reuso del agua en Ensenada, Baja California, México. Ingeniería hidráulica en México, vol. XXIV 4:87-103.

9. ANEXOS

Anexo 1. Identificación y ubicación de los sitios donde se colectaron muestras de suelos en el Valle de Guadalupe, B.C. y puntos de referencia aledaños.

Núm.	Coordenadas		Condición	Ubicación
	Longitud	Latitud		
10	-116.67503	32.03607	Arroyo	Valle Guadalupe
11	-116.67578	32.02763	Arroyo	Valle Guadalupe
12	-116.67634	32.01938	Arroyo	Valle Guadalupe
13	-116.66819	32.04207	Arroyo	Valle Guadalupe
14	-116.65904	32.04669	Arroyo	Valle Guadalupe
15	-116.65170	32.05094	Arroyo	Valle Guadalupe
16	-116.64623	32.05847	Arroyo	Valle Guadalupe
17	-116.63877	32.06395	Arroyo	Valle Guadalupe
18	-116.63303	32.06004	Arroyo	Valle Guadalupe
19	-116.60456	32.06993	Arroyo	Valle Guadalupe
20	-116.61475	32.06758	Arroyo	Valle Guadalupe
21	-116.62475	32.06489	Arroyo	Valle Guadalupe
22	-116.59525	32.07419	Arroyo	Valle Guadalupe
23	-116.58538	32.07712	Arroyo	Valle Guadalupe
24	-116.57841	32.08371	Arroyo	Valle Guadalupe
25	-116.56986	32.08845	Arroyo	Valle Guadalupe
26	-116.55359	32.09891	Arroyo	Valle Guadalupe
27	-116.54390	32.10253	Arroyo	Valle Guadalupe
28	-116.56246	32.09430	Arroyo	Valle Guadalupe
29	-116.46240	32.10865	Arroyo	Valle Guadalupe
30	-116.46621	32.11661	Arroyo	Valle Guadalupe
31	-116.48504	32.11524	Arroyo	Valle Guadalupe
32	-116.49512	32.11398	Arroyo	Valle Guadalupe
33	-116.50424	32.10956	Arroyo	Valle Guadalupe
34	-116.51407	32.11044	Arroyo	Valle Guadalupe
35	-116.52426	32.10901	Arroyo	Valle Guadalupe
36	-116.53429	32.10612	Arroyo	Valle Guadalupe
44	-116.67600	32.03493	Arroyo	Valle Guadalupe
45	-116.67560	32.02593	Arroyo	Valle Guadalupe
55	-116.67617	32.01735	Arroyo	Valle Guadalupe
61	-116.68459	32.00610	Arroyo	Valle Guadalupe
65	-116.70754	32.01702	Arroyo	Valle Guadalupe
66	-116.69982	32.01003	Arroyo	Valle Guadalupe
77	-116.57619	32.08635	Arroyo	Valle Guadalupe
181	-116.45358	32.10714	Arroyo	Valle Guadalupe
183	-116.50397	32.10903	Arroyo	Valle Guadalupe
189	-116.61722	32.06711	Arroyo	Valle Guadalupe
5	-116.63653	32.12533	No Agrícola	Valle Guadalupe
6	-116.63653	32.12533	No Agrícola	Valle Guadalupe
7	-116.63917	32.04992	No Agrícola	Valle Guadalupe
8	-116.63917	32.04992	No Agrícola	Valle Guadalupe
9	-116.63917	32.04992	No Agrícola	Valle Guadalupe
48	-116.63434	32.02570	No Agrícola	Valle Guadalupe
182	-116.49703	32.09692	No Agrícola	Valle Guadalupe

Núm.	Coordenadas		Condición	Ubicación
	Longitud	Latitud		
191	-116.62833	32.01703	No Agrícola	Valle Guadalupe
193	-116.66708	32.06003	No Agrícola	Valle Guadalupe
51	-116.64311	32.00829	No Agrícola	Valle La Misión
60	-116.63349	32.00794	No Agrícola	Valle La Misión
1	-116.13553	32.01814	No Agrícola	Valle Ojos Negros
2	-116.07894	32.09406	No Agrícola	Valle Ojos Negros
3	-116.13778	31.99758	No Agrícola	Valle Ojos Negros
4	-116.08139	32.09028	No Agrícola	Valle Ojos Negros
180	-116.44536	32.12956	No Agrícola	Valle Ojos Negros
194	-116.34686	32.01203	No Agrícola	Valle Ojos Negros
195	-116.35061	32.02644	No Agrícola	Valle Ojos Negros
196	-116.34431	31.99536	No Agrícola	Valle Ojos Negros

Anexo 2. Identificación y ubicación de los sitios donde se colectaron muestras de suelos en el Valle de Guadalupe, B.C. y puntos de referencia aledaños.

Núm.	Coordenadas		Condición	Ubicación
	Longitud	Latitud		
41	-116.63589	32.03368	Agostadero	Valle Guadalupe
42	-116.64562	32.03622	Agostadero	Valle Guadalupe
43	-116.65485	32.03456	Agostadero	Valle Guadalupe
46	-116.66577	32.02653	Agostadero	Valle Guadalupe
47	-116.64441	32.02639	Agostadero	Valle Guadalupe
50	-116.65448	32.01667	Agostadero	Valle Guadalupe
52	-116.64465	32.01677	Agostadero	Valle Guadalupe
53	-116.63452	32.01768	Agostadero	Valle Guadalupe
67	-116.62275	32.02566	Agostadero	Valle Guadalupe
68	-116.62304	32.01676	Agostadero	Valle Guadalupe
70	-116.61241	32.01673	Agostadero	Valle Guadalupe
71	-116.68653	32.01693	Agostadero	Valle Guadalupe
73	-116.66518	32.03287	Agostadero	Valle Guadalupe
74	-116.57908	32.10373	Agostadero	Valle Guadalupe
78	-116.59990	32.09779	Agostadero	Valle Guadalupe
79	-116.60522	32.10511	Agostadero	Valle Guadalupe
82	-116.59690	32.08887	Agostadero	Valle Guadalupe
84	-116.60154	32.07986	Agostadero	Valle Guadalupe
85	-116.60135	32.07078	Agostadero	Valle Guadalupe
86	-116.59966	32.04303	Agostadero	Valle Guadalupe
88	-116.62241	32.09793	Agostadero	Valle Guadalupe
94	-116.63563	32.07992	Agostadero	Valle Guadalupe
95	-116.58042	32.09798	Agostadero	Valle Guadalupe
100	-116.64822	32.05598	Agostadero	Valle Guadalupe
101	-116.64367	32.06325	Agostadero	Valle Guadalupe
102	-116.64388	32.08004	Agostadero	Valle Guadalupe
108	-116.59119	32.05279	Agostadero	Valle Guadalupe
110	-116.64470	32.04346	Agostadero	Valle Guadalupe
113	-116.66570	32.04433	Agostadero	Valle Guadalupe
114	-116.67310	32.04447	Agostadero	Valle Guadalupe
119	-116.62312	32.06155	Agostadero	Valle Guadalupe

Núm.	Coordenadas		Condición	Ubicación
	Longitud	Latitud		
125	-116.61123	32.09824	Agostadero	Valle Guadalupe
126	-116.61212	32.10694	Agostadero	Valle Guadalupe
129	-116.56977	32.07971	Agostadero	Valle Guadalupe
132	-116.60125	32.05671	Agostadero	Valle Guadalupe
145	-116.45307	32.10624	Agostadero	Valle Guadalupe
146	-116.46360	32.11542	Agostadero	Valle Guadalupe
147	-116.52716	32.12471	Agostadero	Valle Guadalupe
148	-116.54846	32.10673	Agostadero	Valle Guadalupe
149	-116.49547	32.10653	Agostadero	Valle Guadalupe
150	-116.50606	32.10653	Agostadero	Valle Guadalupe
151	-116.55975	32.08859	Agostadero	Valle Guadalupe
152	-116.53781	32.11571	Agostadero	Valle Guadalupe
156	-116.55636	32.10651	Agostadero	Valle Guadalupe
157	-116.55924	32.09855	Agostadero	Valle Guadalupe
172	-116.48481	32.11552	Agostadero	Valle Guadalupe
173	-116.53808	32.10701	Agostadero	Valle Guadalupe
174	-116.60200	32.03086	Agostadero	Valle Guadalupe
185	-116.55361	32.08983	Agostadero	Valle Guadalupe
187	-116.57172	32.10158	Agostadero	Valle Guadalupe
54	-116.66404	32.00874	Agostadero	Valle La Misión
56	-116.67570	32.00599	Agostadero	Valle La Misión
57	-116.68691	31.99681	Agostadero	Valle La Misión
58	-116.67956	31.99531	Agostadero	Valle La Misión
59	-116.64638	31.99871	Agostadero	Valle La Misión
62	-116.69723	31.99884	Agostadero	Valle La Misión
63	-116.70781	31.99888	Agostadero	Valle La Misión
64	-116.70737	32.00635	Agostadero	Valle La Misión
69	-116.62309	32.00778	Agostadero	Valle La Misión
72	-116.66489	31.99203	Agostadero	Valle La Misión
140	-116.44230	32.13337	Agrícola	Norte del Acuífero
141	-116.45289	32.13342	Agrícola	Norte del Acuífero
142	-116.44225	32.14239	Agrícola	Norte del Acuífero
143	-116.43275	32.14511	Agrícola	Norte del Acuífero
144	-116.44219	32.15141	Agrícola	Norte del Acuífero
153	-116.51519	32.14270	Agrícola	Norte del Acuífero
160	-116.47374	32.19674	Agrícola	Norte del Acuífero
161	-116.45252	32.19656	Agrícola	Norte del Acuífero
162	-116.44196	32.18749	Agrícola	Norte del Acuífero
163	-116.44229	32.17997	Agrícola	Norte del Acuífero
164	-116.43136	32.18745	Agrícola	Norte del Acuífero
165	-116.43094	32.17739	Agrícola	Norte del Acuífero
166	-116.48394	32.19683	Agrícola	Norte del Acuífero
167	-116.50557	32.19680	Agrícola	Norte del Acuífero
168	-116.49496	32.19674	Agrícola	Norte del Acuífero
169	-116.51604	32.22389	Agrícola	Norte del Acuífero
170	-116.52665	32.22392	Agrícola	Norte del Acuífero
171	-116.53725	32.22398	Agrícola	Norte del Acuífero
176	-116.52936	32.24578	Agrícola	Norte del Acuífero
177	-116.51783	32.22750	Agrícola	Norte del Acuífero
178	-116.44681	32.18781	Agrícola	Norte del Acuífero

Núm.	Coordenadas		Condición	Ubicación
	Longitud	Latitud		
179	-116.43958	32.18272	Agrícola	Norte del Acuífero
37	-116.63907	32.09462	Agrícola	Valle Guadalupe
38	-116.63700	32.09400	Agrícola	Valle Guadalupe
39	-116.62301	32.03482	Agrícola	Valle Guadalupe
40	-116.61330	32.03850	Agrícola	Valle Guadalupe
49	-116.66509	32.01745	Agrícola	Valle Guadalupe
75	-116.57404	32.09729	Agrícola	Valle Guadalupe
76	-116.58561	32.09062	Agrícola	Valle Guadalupe
80	-116.60060	32.11352	Agrícola	Valle Guadalupe
81	-116.59446	32.12268	Agrícola	Valle Guadalupe
83	-116.58705	32.08059	Agrícola	Valle Guadalupe
87	-116.63470	32.10694	Agrícola	Valle Guadalupe
89	-116.61636	32.07999	Agrícola	Valle Guadalupe
90	-116.61196	32.07547	Agrícola	Valle Guadalupe
91	-116.63245	32.08887	Agrícola	Valle Guadalupe
92	-116.62428	32.07995	Agrícola	Valle Guadalupe
93	-116.64628	32.09053	Agrícola	Valle Guadalupe
96	-116.58109	32.09089	Agrícola	Valle Guadalupe
97	-116.58053	32.07856	Agrícola	Valle Guadalupe
98	-116.63485	32.07268	Agrícola	Valle Guadalupe
99	-116.63708	32.06338	Agrícola	Valle Guadalupe
103	-116.64391	32.08670	Agrícola	Valle Guadalupe
104	-116.65455	32.08000	Agrícola	Valle Guadalupe
105	-116.65462	32.06196	Agrícola	Valle Guadalupe
106	-116.58034	32.07073	Agrícola	Valle Guadalupe
107	-116.59197	32.06096	Agrícola	Valle Guadalupe
109	-116.59110	32.04402	Agrícola	Valle Guadalupe
111	-116.65467	32.04393	Agrícola	Valle Guadalupe
112	-116.66584	32.05224	Agrícola	Valle Guadalupe
115	-116.62293	32.05278	Agrícola	Valle Guadalupe
116	-116.63352	32.05284	Agrícola	Valle Guadalupe
117	-116.63311	32.04400	Agrícola	Valle Guadalupe
118	-116.62291	32.04387	Agrícola	Valle Guadalupe
120	-116.64414	32.07044	Agrícola	Valle Guadalupe
121	-116.61221	32.05280	Agrícola	Valle Guadalupe
122	-116.61226	32.06185	Agrícola	Valle Guadalupe
123	-116.61233	32.04364	Agrícola	Valle Guadalupe
124	-116.62269	32.07055	Agrícola	Valle Guadalupe
127	-116.62398	32.08885	Agrícola	Valle Guadalupe
128	-116.65459	32.07096	Agrícola	Valle Guadalupe
130	-116.59411	32.06910	Agrícola	Valle Guadalupe
131	-116.61432	32.03424	Agrícola	Valle Guadalupe
133	-116.65981	32.05547	Agrícola	Valle Guadalupe
134	-116.65783	32.05362	Agrícola	Valle Guadalupe
135	-116.66301	32.04955	Agrícola	Valle Guadalupe
136	-116.66134	32.05292	Agrícola	Valle Guadalupe
137	-116.62997	32.10192	Agrícola	Valle Guadalupe
138	-116.63668	32.09903	Agrícola	Valle Guadalupe
139	-116.64031	32.10080	Agrícola	Valle Guadalupe
154	-116.53777	32.12474	Agrícola	Valle Guadalupe

Núm.	Coordenadas		Condición	Ubicación
	Longitud	Latitud		
155	-116.54765	32.11611	Agrícola	Valle Guadalupe
158	-116.60176	32.03476	Agrícola	Valle Guadalupe
159	-116.61061	32.02469	Agrícola	Valle Guadalupe
175	-116.54874	32.10013	Agrícola	Valle Guadalupe
184	-116.53281	32.12828	Agrícola	Valle Guadalupe
186	-116.56467	32.08953	Agrícola	Valle Guadalupe
188	-116.60525	32.03800	Agrícola	Valle Guadalupe
190	-116.63711	32.09961	Agrícola	Valle Guadalupe
192	-116.65861	32.04606	Agrícola	Valle Guadalupe
197	-116.61663	32.08223	Agrícola	Valle Guadalupe
198	-116.61663	32.08223	Agrícola	Valle Guadalupe
199	-116.61663	32.08223	Agrícola	Valle Guadalupe
200	-116.61663	32.08223	Agrícola	Valle Guadalupe
201	-116.61663	32.08223	Agrícola	Valle Guadalupe
202	-116.61663	32.08223	Agrícola	Valle Guadalupe
203	-116.61663	32.08223	Agrícola	Valle Guadalupe
204	-116.61663	32.08223	Agrícola	Valle Guadalupe
205	-116.61663	32.08223	Agrícola	Valle Guadalupe
206	-116.61663	32.08223	Agrícola	Valle Guadalupe
207	-116.61663	32.08223	Agrícola	Valle Guadalupe
208	-116.61663	32.08223	Agrícola	Valle Guadalupe
209	-116.53283	32.10922	Agrícola	Valle Guadalupe
210	-116.53283	32.10922	Agrícola	Valle Guadalupe
211	-116.53283	32.10922	Agrícola	Valle Guadalupe
212	-116.53283	32.10922	Agrícola	Valle Guadalupe
213	-116.53283	32.10922	Agrícola	Valle Guadalupe
214	-116.53283	32.10922	Agrícola	Valle Guadalupe
215	-116.53283	32.10922	Agrícola	Valle Guadalupe
216	-116.53283	32.10922	Agrícola	Valle Guadalupe
217	-116.53283	32.10922	Agrícola	Valle Guadalupe
218	-116.58858	32.08978	Agrícola	Valle Guadalupe
219	-116.58858	32.08978	Agrícola	Valle Guadalupe
220	-116.58858	32.08978	Agrícola	Valle Guadalupe
221	-116.58858	32.08978	Agrícola	Valle Guadalupe
222	-116.58858	32.08978	Agrícola	Valle Guadalupe
223	-116.58858	32.08978	Agrícola	Valle Guadalupe
224	-116.58858	32.08978	Agrícola	Valle Guadalupe
225	-116.58858	32.08978	Agrícola	Valle Guadalupe
226	-116.58858	32.08978	Agrícola	Valle Guadalupe

Anexo 3. Identificación y ubicación de los pozos del Valle de Guadalupe, B.C., en que se colectaron las muestras de agua analizadas en el Laboratorio de Ciencias Ambientales del Colegio de Postgraduados.

Identificación	N° Lab.	Coordenadas	
		Longitud	Latitud
POZOVG16	18973	-116.440354	32.182550
POZOVG36	18974	-116.447053	32.135059
POZOVG66	18975	-116.444127	32.143733
POZOVG137	18976	-116.630742	32.011596
POZOVG255	18977	-116.635458	32.097933
POZOVG287	18978	-116.635038	32.070477
POZOVG302	18979	-116.642430	32.068877
POZOVG540	18980	-116.667586	32.050946
POZOVG685	18981	-116.662960	32.015436
POZOVG2000	18982	-116.534735	32.122628
POZOVG2001	18983	-116.527059	32.121116
POZOVG2004	18984	-116.534591	32.108519
POZOVG2033	18985	-116.450657	32.102639
POZOVG2038	18986	-116.549662	32.092252
POZOVG2045	18987	-116.535921	32.104066
POZOVG2058	18988	-116.573053	32.099401
POZOVG2113	18989	-116.508717	32.113309
POZOVG2118	18990	-116.542167	32.113906
POZOVG2119	18991	-116.536801	32.114472
POZOVG2261	18992	-116.581267	32.090103
POZOVG2274	18993	-116.633285	32.074078
POZOVG2340	18994	-116.583010	32.078051
POZOVG2345	18995	-116.597925	32.083417
POZOVG2346	18996	-116.598108	32.081610
POZOVG2354	18997	-116.595222	32.091465
POZOVG2355	18998	-116.601170	32.090505
POZOVG2356	18999	-116.578638	32.085953
POZOVG2359	19000	-116.583501	32.091380
POZOVG2360	19001	-116.520149	32.114991
POZOVG2469	19002	-116.589948	32.060077
POZOVG2502	19003	-116.611769	32.081537
POZOVG2503	19004	-116.609575	32.082542
POZOVG2508	19005	-116.605577	32.072558
POZOVG2521	19006	-116.621211	32.082442
POZOVG2529	19007	-116.548842	32.096232
POZOVG2618	19008	-116.660306	32.052847
POZOVG2649	19009	-116.435209	32.146484
POZOVG2652	19010	-116.590486	32.088830
POZOVG2317	19011	-116.593212	32.087783
POZOVG2348	19012	-116.598155	32.079753
POZOVG225	19031	-116.644229	32.033857
POZOVG2665	19032	-116.637490	32.046882
POZOVG194	19033	-116.643031	32.049688
POZOVG2617	19034	-116.660069	32.052940
POZOVG539	19035	-116.666939	32.052588

Identificación	Nº Lab.	Coordenadas	
		Longitud	Latitud
POZOVG538	19036	-116.665725	32.052367
POZOVG405	19037	-116.640924	32.065547
POZOVG2501	19038	-116.616623	32.082125
POZOVG2519	19039	-116.622053	32.086280
POZOVG2520	19040	-116.622564	32.086907
POZOVG453	19041	-116.636110	32.102961
POZOVG2546	19042	-116.632154	32.100428
POZOVG452	19043	-116.636041	32.104864
POZOVG536	19044	-116.614624	32.034531
POZOVG2342	19045	-116.596179	32.086189
POZOVG2344	19046	-116.596517	32.088133
POZOVG2013	19047	-116.513498	32.110654
POZOVG2014	19048	-116.516780	32.111385
POZOVG2016	19049	-116.520064	32.110928
POZOVG2020	19050	-116.527346	32.108604
POZOVG2024	19051	-116.534033	32.106775
POZOVG2026	19052	-116.536868	32.105810
POZOVG2028	19053	-116.540071	32.104497
POZOVG2030	19054	-116.543081	32.103338
POZOVG2032	19055	-116.545034	32.101520
POZOVG2065	19056	-116.637013	32.111546