

**COMISIÓN ESTATAL DEL AGUA DE JALISCO
DIRECCIÓN DE CUENCAS Y SUSTENTABILIDAD
GERENCIA DE GESTIÓN DE CUENCAS**

**“EVALUACIÓN DEL POSIBLE IMPACTO EN
LOS ACUÍFEROS ALEDAÑOS AL EMBALSE
LA PRESA EL ZAPOTILLO”**

CONVENIO DE COLABORACIÓN: CEA-IMTA
CEE.03.01.3.0.2018.-000012

Informe final

COORDINACIÓN DE HIDROLOGÍA
SUBCOORDINACIÓN HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

México 2018

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	2
1.2. Objetivos	2
2. COMPILACIÓN, INTEGRACIÓN, RESUMEN Y ANÁLISIS DE ESTUDIOS PREVIOS	3
2.1. Estudios previos	3
3. DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO FISIGRÁFICO Y ANÁLISIS GEOLÓGICO, GEOMORFOLÓGICO, CLIMATOLÓGICO, GEOHIDROLÓGICO, HIDROLÓGICO Y FÍSICOQUÍMICO	27
3.1. Localización y descripción del área de estudio	27
3.1.1. Área de estudio	27
3.1.2. Extensión	29
3.1.3. Vías de comunicación	30
3.1.4. Actividades económicas	31
3.1.5. Servicios	33
3.2. Geología	33
3.2.1. Geología regional	33
3.2.2. Fisiografía	34
3.2.3. Geomorfología	36
3.2.4. Estratigrafía	37
3.2.5. Geología histórica	38
3.2.6. Geología estructural	39
3.3. Hidrología	39
3.3.1. Hidrometría	39
3.3.2. Presas de almacenamiento	41
3.3.3. Uso de suelo	43
3.3.4. Tipo de suelo	46
3.3.5. Usos del agua	50
3.4. Climatología	51
3.4.1. Precipitación	51
3.4.2. Temperatura	52
3.4.3. Evaporación	52
4. GEOLOGÍA DEL SUBSUELO Y GEOFÍSICA	55
4.1. Geología del subsuelo	56
4.1.1. Fisiografía	56
4.1.2. Geomorfología	57
4.1.3. Geología Regional	58
4.1.4. Geología local	60
4.2. Geofísica	61
4.2.1. Sondeos transitorios electromagnéticos (TEM's)	61

5. CENSO DE APROVECHAMIENTOS Y PIEZOMETRÍA	77
6. NIVELACIÓN TOPOGRÁFICA DE BROCALES CON GPS	83
7. MUESTREO Y ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA	87
7.1. Colecta de muestras de agua subterránea	87
7.2. Medición de parámetros de campo	90
7.3. Medición de parámetros en laboratorio	95
7.4. Interpretaciones hidrogeoquímica e isotópica	96
7.5. Discusión de resultados	102
7.5.1. Isotopía estable y tritio ambiental	102
7.5.2. Hidroquímica	109
7.5.3. Tiempo de residencia del agua subterránea	135
7.5.4. Determinación microbiológica	139
7.5.5. Calidad de los aprovechamientos subterráneos para riego	141
8. ANÁLISIS DE RESULTADOS	145
8.1. Profundidad del nivel estático	147
8.2. Elevación del nivel estático	148
8.3. Secciones hidrogeológicas	150
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	155
9.1. Conclusiones	155
9.2. Recomendaciones	157
10. REFERENCIAS	159

ANEXOS

Anexo 1	Censo de aprovechamientos
Anexo 2	Nivelación de pozos
Anexo 3	Fotográfico de calidad del agua
Anexo 4	Resultados de campo y laboratorio
Anexo 5	Resultados laboratorios

ÍNDICE DE FIGURAS

3.1	Localización de la zona de aportación a la presa El Zapotillo.....	27
3.2	Ubicación del embalse de la presa El Zapotillo.....	28
3.3	Localidades en la zona de estudio.....	28
3.4	Cuenca tributaria y principales ríos.....	29
3.5	Área de trabajo para un buffer de 3,000 m.....	30
3.6	Vías de comunicación.....	31
3.7	Provincias geológicas.....	34
3.8	Provincias fisiográficas.....	35
3.9	Topoformas.....	36
3.10	Geomorfología de la zona.....	37
3.11	Geología de la zona.....	38
3.12	Estaciones hidrométricas.....	40
3.13	Mapa de uso de suelo del área de aportación.....	44
3.14	Distribución de los diferentes usos de suelo, en porcentaje.....	45
3.15	Mapa de uso de suelo dentro del buffer de trabajo.....	46
3.16	Mapa de tipo de suelo del área de aportación.....	47
3.17	Mapa de tipo de suelo dentro del buffer de trabajo.....	48
3.18	Mapa de usos de agua.....	50
3.19	Mapa de precipitación.....	51
3.20	Temperatura máxima, mínima y media anual.....	52
3.21	Evaporación de cuerpos de agua en la cuenca de aportación.....	52
3.22	Localización de presas y cuerpos de agua.....	53
4.1	Localización de los sitios para los sondeos geofísicos.....	56
4.2	Terrenos tectonoestratigráficos de México.....	58
4.3	Provincias geológicas de México (Ortega, 1991).....	59
4.4	Geología de la zona de embalse de El Zapotillo.....	61
4.5	Equipo Terratem 24 de Monex GeoScope.....	62
4.6	Descripción de la interpretación.....	64
4.7	Sección geoeléctrica A-A'.....	66
4.8	Sección geoeléctrica B-B'.....	68
4.9	Sección geoeléctrica C-C'.....	70
4.10	Sección geoeléctrica D-D'.....	72
4.11	Sección geoeléctrica E-E'.....	74
4.12	Sección geoeléctrica F-F'.....	76
5.1	Localización de los aprovechamientos.....	77
5.2	Formato de censo de aprovechamientos (anverso).....	79
5.3	Formato de censo de aprovechamientos (reverso).....	80
6.1	Localización de pozos nivelados.....	83
6.2	Formato de nivelación de pozos.....	84
6.3	Nivelación pozo 21.....	85
6.4	Detalle del punto de nivelación.....	85
7.1	Localización de sitios para la colecta de muestras de agua.....	88
7.2	Filtrado de muestras de agua con membrana de celulosa de 0.45 μ a presión positiva.....	89
7.3	Toma de muestras para medición de parámetros de laboratorio.....	89

7.4	<i>Medición de parámetros de campo con electrodos y equipos multiparamétricos, celda de aislamiento.....</i>	91
7.5	<i>Distribución de la composición isotópica estable de las aguas meteóricas a nivel global. Los valores δD y $\delta^{18}O$ se ajustan a una recta de pendiente ocho y ordenada al origen 10 denominada Línea Meteórica Global.....</i>	99
7.6	<i>Evolución isotópica de las aguas superficiales y subterráneas en el ciclo hidrológico.....</i>	100
7.7	<i>Evolución isotópica del agua subterránea en cuencas sedimentarias: 1. Hidratación de silicatos, 2. Intercambio con H_2S, H_2 e hidrocarburos, 3. Reducción de sulfatos, oxidación de compuestos orgánicos e hidrógeno molecular, 4. Evaporación de agua dulce.....</i>	102
7.8	<i>Composición isotópica estable de los aprovechamientos subterráneos.....</i>	104
7.9	<i>La gráfica de dispersión de datos de temperatura y $\delta^{18}O$ muestran que el agua subterránea recibe recarga proveniente de arroyos y ríos tributarios de la zona estudiada.....</i>	105
7.10	<i>La gráfica de dispersión de datos de CE y $\delta^{18}O$, CE más bajas corresponde a agua de arroyos y ríos (estos contribuyen en la recarga de los acuíferos).....</i>	106
7.11	<i>La gráfica de dispersión de datos de Li^+ y $\delta^{18}O$, el contenido de litio indica que los aprovechamientos son recargados por flujos regionales y que la recarga efectiva es por infiltración de lluvia.....</i>	108
7.12	<i>Diagrama de Piper con la clasificación de las familias o tipos de agua.....</i>	110
7.13	<i>Diagrama de Piper con la clasificación geoquímica de las familias de agua de los acuíferos aledaños a la presa El Zapotillo.....</i>	111
7.14	<i>Diagrama de Stiff, acuífero Lagos de Moreno.....</i>	112
7.15	<i>Diagrama de Stabler, acuífero Lagos de Moreno.....</i>	113
7.16	<i>Diagrama de Stiff, acuífero Jalostotitlán.....</i>	113
7.17	<i>Diagrama de Stabler, acuífero Jalostotitlán.....</i>	114
7.18	<i>Diagrama de Stiff, acuífero Encarnación.....</i>	115
7.19	<i>Diagrama de Stabler, acuífero Encarnación.....</i>	115
7.20	<i>Diagrama de Stiff, acuífero Yahualica.....</i>	116
7.21	<i>Diagrama de Stabler, acuífero Yahualica.....</i>	117
7.22	<i>Diagrama de Stiff, acuífero Valle de Guadalupe.....</i>	118
7.23	<i>Diagrama de Stabler, acuífero Valle de Guadalupe.....</i>	118
7.24	<i>Diagrama de dispersión del bicarbonato versus calcio de los acuíferos estudiados.....</i>	119
7.25	<i>Diagrama de Piper de los acuíferos estudiados.....</i>	120
7.26	<i>Diagrama de dispersión del sodio versus calcio de los acuíferos estudiados.....</i>	122
7.27	<i>Diagrama de dispersión de calcio versus cloro de los acuíferos estudiados.....</i>	123
7.28	<i>Diagrama de dispersión del anión sulfato versus sodio de los acuíferos estudiados.....</i>	124
7.29	<i>Diagrama de dispersión del ión sulfato con el catión calcio de los acuíferos estudiados.....</i>	125
7.30	<i>Diagrama de dispersión de los sólidos disueltos totales versus temperatura.....</i>	126
7.31	<i>En el gráfico de dispersión del litio versus la temperatura se aprecia una gran variabilidad espacial.....</i>	128
7.32	<i>En el gráfico de dispersión del litio versus estroncio se aprecia concentraciones en valores bajos.....</i>	129
7.33	<i>Diagrama de dispersión del contenido de tritio ambiental versus oxígeno-18.....</i>	136
7.34	<i>Sección geológica del modelo conceptual del funcionamiento hidrogeológico de la zona de estudio.....</i>	138
7.35	<i>Diagrama de clasificación de Wilcox indica la calidad del agua (uso en agricultura).....</i>	142
7.36	<i>Diagrama de Riverside para la clasificación del riesgo de sodificación o alcalinización del suelo.....</i>	143

8.1	<i>Esquema de uso del agua</i>	145
8.2	<i>Profundidad total de los pozos (m)</i>	147
8.3	<i>Profundidad del nivel estático (msnm)</i>	148
8.4	<i>Elevación del nivel estático (msnm)</i>	149
8.5	<i>Dirección de flujo del agua subterránea</i>	150
8.6	<i>Sección hidrogeológica 1</i>	151
8.7	<i>Sección hidrogeológica 2</i>	151
8.8	<i>Sección hidrogeológica 3</i>	152
8.9	<i>Sección hidrogeológica 4</i>	152
8.10	<i>Sección hidrogeológica 5</i>	153
8.11	<i>Sección hidrogeológica 6</i>	153
8.12	<i>Sección hidrogeológica 7</i>	154

ÍNDICE DE TABLAS

2.1	Relación de estudios previos.....	3
2.2	Resultados análisis fisicoquímicos de aprovechamientos	5
2.3	Resultados análisis fisicoquímicos de agua del río Verde (muestra AN-1).....	6
2.4	Resultados análisis fisicoquímicos de agua en boquilla (muestra AN-2)	7
2.5	Escenarios ambientales de las cuencas involucradas con la realización del proyecto.....	8
2.6	Disponibilidad de agua subterránea acuífero Lagos de Moreno.....	19
2.7	Disponibilidad de agua subterránea acuífero Jalostotitlán.....	21
2.8	Disponibilidad de agua subterránea acuífero Valle de Guadalupe.....	23
2.9	Disponibilidad de agua subterránea acuífero Encarnación	24
2.10	Disponibilidad de agua subterránea acuífero Yahualica.....	26
3.1	Estaciones hidrométricas (EH) localizadas en la zona.....	40
3.2	Presas dentro de la cuenca de aportación.....	41
3.3	Características de las presas	43
3.4	Área por uso de suelo.....	44
3.5	Área por uso de suelo considerando el buffer	46
3.6	Área por tipo de suelo.....	47
3.7	Área de usos de agua.....	51
4.1	Sondeos transitorios electromagnéticos.....	63
5.1	Censo de aprovechamientos dentro de un buffer de 5 km	81
7.1	Resultados de campo y laboratorio de aprovechamientos subterráneos aledaños a la presa El Zapotillo.....	92
7.2	Resultados de deuterio y oxígeno-18 de aprovechamientos subterráneos	107
7.3	Condensado de los coeficientes de actividad de cationes.....	130
7.4	Condensado de los coeficientes de actividad de aniones	131
7.5	Condensado de las actividades de cationes.....	132
7.6	Condensado de las actividades de aniones.....	133
7.7	Condensado de índices de saturación para diferentes minerales.....	134
7.8	Contenido de tritio ambiental en las muestras de la zona de estudio.....	137
7.9	Condensado de resultados de análisis de coliformes fecales y totales en los aprovechamientos.....	140
8.1	Censo y piezometría de los aprovechamientos.....	146

1. INTRODUCCIÓN

Con el objetivo de abastecer de agua la zona de Los Altos de Jalisco, a la ciudad de León, Guanajuato y a la Zona Conurbada de Guadalajara (ZCG) mediante el aprovechamiento de las aguas del río Verde, contribuyendo a la sustentabilidad del Lago de Chapala y recuperación de los acuíferos.

El sitio para la construcción de la presa El Zapotillo fue localizado originalmente sobre el cauce del río Verde, aguas arriba del poblado Temacapulín, en el municipio de Cañadas de Obregón, en un estrechamiento que desde el punto de vista topográfico presentaba ventajas para realizar una obra económica, así como para lograr un importante almacenamiento del escurrimiento del río, sin embargo, al realizar los estudios geotécnicos de la zona, se determinó que las condiciones del terreno no permitían la construcción de una presa en este lugar, por tal motivo, la Comisión Nacional del Agua realizó estudios geotécnicos preliminares a lo largo del cauce del río para determinar un lugar que permitiera la realización de una presa para almacenamiento.

La presa El Zapotillo se localiza en las inmediaciones de la comunidad del mismo nombre, en el municipio de Cañadas de Obregón sobre el río Verde a 18 kilómetros aguas arriba de la confluencia con el río Santiago en la región de Los Altos de Jalisco.

1.1. Antecedentes

Con la finalidad de garantizar de manera sustentable el abastecimiento de agua de la Zona Conurbada de Guadalajara, Los Altos de Jalisco y León, Guanajuato, el Gobierno Federal contempla el aprovechamiento de las aguas superficiales del río Verde, mediante la presa El Zapotillo.

La presa se construye en el sitio ubicado en la cuenca del río Verde, afluente del río Santiago, y cuenta con un área de captación de 17,775 km², en el que el vaso de la presa ocupará una superficie de 4,816 ha hasta la cota 1,657 msnm que será la elevación de la corona y una altura de cortina de 105 metros.

Para evaluar las condiciones hidrogeológicas de los acuíferos Yahualica (1447), Valle de Guadalupe (1416), Jalostotitlán (1415), Lagos de Moreno (1410) y Encarnación (1422), cercanos al embalse de la presa El Zapotillo, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) desarrolla una serie de actividades con el fin de determinar el posible impacto en los niveles freáticos/piezométricos y calidad del agua de los acuíferos mencionados.

1.2. Objetivos

Determinar el posible impacto en los niveles freáticos/piezométricos y calidad del agua de los acuíferos Yahualica, Valle de Guadalupe, Jalostotitlán, Lagos de Moreno y Encarnación, por el embalse de la presa El Zapotillo.

2. COMPILACIÓN, INTEGRACIÓN, RESUMEN Y ANÁLISIS DE ESTUDIOS PREVIOS

2.1. Estudios previos

Se revisaron los estudios existentes en la zona de la cuenca tributaria a la presa El Zapotillo.

Tabla 2.1 Relación de estudios previos

No	Año	Elaboró	Nombre
1	2006	CONAGUA	Manifestación de Impacto Ambiental, modalidad regional del proyecto: Presa El Zapotillo, para Abastecimiento de Agua Potable a Los Altos de Jalisco y a la Ciudad de León, Gto.
2	2007	IMTA	Elaboración de los documentos de respaldo de la disponibilidad media anual de agua en los acuíferos (1413) Altos de Jalisco, (1436) Arenal, (1428) Chapala, (1429) Tizapán y (1447) Yahualica en el estado de Jalisco: Acuífero (1447) Yahualica: TH0756.
3	2009	UNAM	Elaboración del documento de respaldo de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Encarnación, en el estado de Jalisco.
4	2010	IMTA	Estudio de actualización geohidrológica de los acuíferos Valle de Guadalupe, Cuquío, Tequila, Jalostotitlán y Colotlán en el estado de Jalisco. TH1019. Acuífero Valle de Guadalupe.
5	2010a	IMTA	Estudio de actualización geohidrológica de los acuíferos Valle de Guadalupe, Cuquío, Tequila, Jalostotitlán y Colotlán en el estado de Jalisco. TH1019. Acuífero Jalostotitlán.
6	2012	CONAGUA	Libro Blanco CONAGUA-03. Proyecto presa y acueducto El Zapotillo.
7	2015	CONAGUA	Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Lagos de Moreno (1410), Estado de Jalisco.
8	2015a	CONAGUA	Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Jalostotitlán (1415), Estado de Jalisco.
9	2015b	CONAGUA	Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Valle de Guadalupe (1416), Estado de Jalisco.
10	2015c	CONAGUA	Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Encarnación (1422), Estado de Jalisco.
11	2015d	CONAGUA	Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Yahualica (1447), Estado de Jalisco.

IMTA. -Instituto Mexicano de Tecnología del Agua; UNAM. - Universidad Nacional Autónoma de México; CONAGUA. -Comisión Nacional del Agua

1. Manifestación de Impacto Ambiental, modalidad regional del proyecto: Presa El Zapotillo, para Abastecimiento de Agua Potable a Los Altos de Jalisco y a la Ciudad de León, Gto.

Enseguida se resumen los puntos más relevantes desde el punto de vista hidrogeológico contenido en la Manifestación de Impacto Ambiental modalidad regional (MIA-R) con la construcción del proyecto Presa El Zapotillo, para Abastecimiento de Agua Potable a Los Altos de Jalisco y a la Ciudad de León, Gto. Tiene como objetivos particulares:

- ✚ Garantizar el suministro de agua con un volumen y calidad suficientes y adecuados en el corto, mediano y largo plazos, que permitan coadyuvar en el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes de las comunidades a servir.
- ✚ Aplicar la legislación para el manejo del recurso de acuerdo con los criterios ecológicos y de sustentabilidad.
- ✚ Evitar el abatimiento por sobreexplotación local de los niveles dinámicos del acuífero en la ciudad de León, Guanajuato, por lo que ocasiona deficiencias de extracción en las instalaciones actuales y consecuentemente, fallas en el suministro de agua.
- ✚ Coadyuvar para evitar el asentamiento del terreno en las zonas urbanas debido a la sobreexplotación previniendo agrietamiento en el terreno, que pudiera ser una posible causa de contaminación del acuífero.
- ✚ No abandonar los pozos actuales y su equipamiento, considerando que si se hace obligaría a realizar perforaciones de mayor profundidad, con lo que el nivel dinámico del acuífero se abatiría, entre otros.

Los acuíferos sobreexplotados en el país son un problema y una prioridad que atender, dado que el problema se ha agravado en los últimos años. Los acuíferos aportan alrededor del 33% de la extracción nacional de aguas subterráneas para todos los usos. Reportan que en el estado de Guanajuato se tiene un déficit de $-1,474 \text{ Hm}^3/\text{año}$ de volúmenes de agua subterránea.

En general la sobreexplotación en la Subregión Lerma es de $1,248 \text{ Hm}^3/\text{anuales}$. Debido a que esta situación es insostenible, recomiendan tomar acciones urgentes para buscar el equilibrio de los niveles del agua en forma gradual.

Otro problema grave que reportan es que en algunos poblados, como es el caso de Palmarejo, Jalisco el servicio sanitario es mediante letrinas domiciliarias. Para el servicio de agua de uso doméstico algunas familias acuden directamente a pozos a cielo abierto en la ribera del río Verde.

En la MIA-R se reportan análisis fisicoquímicos de muestras de agua en dos pozos (Pozo 93 y Pozo 101) y una noria (Noria 105), dos de estos aprovechamientos se ubican en Yahualica, Pozo 93 y la Noria 105. En el poblado San Gaspar de los Reyes se localiza el Pozo 101 (CONAGUA, 2006).

Tabla 2.2 Resultados análisis fisicoquímicos de aprovechamientos

Parámetro	Pozo 93	Pozo 101	Noria 105
CO (mg/l)	40.0	70.0	60.0
Mg (mg/l)	4.8	31.2	9.6
Na (mg/l)	41.4	46.0	23.0
K (mg/l)	14.5	11.7	11.7
Dureza CaCO ₃ (mg/l)	120.0	305.0	190.0
RAS (relación de adsorción de sodio)	1.64	1.15	0.73
pH	8.4	8.1	8.7
CE (mmhos/cm)	0.36	0.75	0.37
SO ₄ (mg/l)	24.0	108.0	----
HCO ₃ (mg/l)	183.0	146.4	231.8
NO ₃ (mg/l)	19.3	116.5	9.3
CO ₃ (mg/l)	----	----	----
Cl (mg/l)	35.5	63.9	35.5
Sólidos Totales Disueltos (SDT, mg/l)	363.0	594.0	381.0
Calidad del agua para riego	C ₂ -S ₁	C ₂ -S ₁	C ₂ -S ₁
Agresividad del agua	Incrustante	Incrustante	Incrustante
Observaciones: incrustante.- deposita CaCO ₃ . Agresiva.- disuelve CaCO ₃ . N. E.- nivel estático (m). N. D.- Nivel dinámico (m). D. T. D.- diámetro de tubería de descarga. P. T. O.- profundidad total de la obra (m).	Uso doméstico y abrevadero	N. E.= 6 P.T.O. = 180 D.T.D.=6.3 Uso doméstico	N. E. =17 Uso doméstico

En las siguientes dos tablas se presentan los resultados obtenidos del análisis químico practicados al agua en dos diferentes puntos del río Verde.

Tabla 2.3 Resultados análisis fisicoquímicos de agua del río Verde (muestra AN-1)

AGUAS ABAJO DEL PUENTE DE TEMACAPULÍN					
AA	Parámetro	Unidades	Resultados	D	LDM
1, 2, 3	Arsénico	mg/L	0.0056	1	0.0011
1, 2, 3	Cadmio	mg/L	ND	1	0.007
1	Calcio	mg/L	59.066	1	0.223
1, 2, 3	Cianuros totales	mg/L	0.0020	1	0.001
1, 2	Cloruros	mg/L	10.50	1	9.0
1, 2, 3	Cobre	mg/L	ND	1	0.005
1, 2	Coliformes fecales (NMP)	NMP/100 mL	24000.00	100	3
1, 2	Coliformes totales (NMP)	NMP/100 mL	46000.00	100	3
1, 2	Conductividad eléctrica	µS/cm	321.80	1	10.0
1, 2	Cromo	mg/L	ND	1	0.008
1, 2, 3	DBO total	mg/L	ND	12	0.9
	Digestión ácida por microondas (P/Muestra)		Realizado		
1, 2	DQO total	mg/L	52.80	1	12.0
1, 2	Fosfatos totales	mg/L	2.816	1	0.018
1, 2	Fósforo total	mg/L	0.919	1	0.006
1, 2, 3	Grasas y Aceites	mg/L	ND	1	2.5
1, 2	Huevos de Helmintos	mg/L	0.0	1	1
1	Magnesio	mg/L	8.009	1	0.032
1, 2, 3	Materia flotante	---	Ausente	1	
1, 2, 3	Mercurio	mg/L	0.0005	1	2.00E-04
1, 2, 6	Nitratos (Nitrógeno De)		1.681	1	0.002
1, 2, 6	Nitritos (Nitrógeno De)	mg/L	0.115	1	9.00E-04
1, 6	Nitrógeno amoniacal	mg/L	0.545	1	0.002
1, 2	Nitrógeno total Kjeldhal	mg/L	7.918	10	0.020
	Nitrógeno total	mg/L	9.714		
2, 3	Níquel	mg/L	0.042	1	0.008
1, 2, 3	Plomo	mg/L	ND	1	0.012
	Relación de adsorción de sodio	mg/L	0.843	1	
1, 2	SAAM	mg/L	0.190	1	0.010
1	Sodio	mg/L	26.008	1	0.519
1, 2, 3	Sólidos sedimentables	mg/L	0.1	1	0.100
1, 2, 3	Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	260.0	16	5.000
1, 2, 3	Sólidos totales	mg/L	652.0	1	100.0
1, 2	Sulfatos	mg/L	27.302	1	3.870
	Fósforo orgánico	mg/L	0.128		0.005
	Fósforo disuelto	mg/L	0.763		0.005
1, 2, 3	Zinc	mg/L	0.090	1	0.014
1, 2, 3	pH	U de pH	7.9	1	
HERBICIDAS FENOXICLADOS					
1, 2, 6	Acido 2,4 Diclorofenoxiacetico (2, 4-D)	mg/L	ND	1	1.00E-04
1, 2	Dalapon	mg/L	ND	1	2.00E-04
1, 2	Dicamba	mg/L	ND	1	1.00E-04
1, 2	Dicloroprop	mg/L	ND	1	2.00E-04
1, 2, 6	Dinoseb	mg/L	ND	1	3.90E-05
	2, 4,5-T	mg/L	ND	1	4.10E-05
	Extracción de herbicidas	mg/L	Realizada	1	5.00E-04
PLAGUICIDAS CLORADOS					
1, 2, 6	Aldrin	mg/L	ND	1	9.00E-04
1, 2	BHC (Alfa, Beta y Delta)	mg/L	ND	1	
1, 2, 6	Clordano	mg/L	ND	1	2.00E-05
1, 2, 6	DDD	mg/L	ND	1	1.00E-05
1, 2, 6	DD	mg/L	ND	1	8.00E-06
1, 2	Dieldrin	mg/L	ND	1	9.00E-06
1, 2	Alfa Endosulfan	mg/L	ND	1	9.00E-06
	Beta Endosulfan	mg/L	ND	1	1.00E-05
	Endrin	mg/L	ND	1	1.20E-05
1, 2, 6	Gama-BCH (Lindano)	mg/L	ND	1	9.00E-06
	Heptacloro	mg/L	ND	1	1.20E-05
	Heptacloro Epóxido	mg/L	ND	1	1.40E-05
1, 2	Hexaclorobenceno	mg/L	ND	1	9.00E-06
1, 2	Metoxicloro	mg/L	ND	1	1.00E-05
1, 2	Toxafeno	mg/L	ND	1	1.40E-05
1, 2	Delta-BHC	mg/L	ND	1	9.00E-6
1, 2	Endrin Aldehído	mg/L	ND	1	1.30E-05
1, 2	Endosulfansulfato	mg/L	ND	1	1.00E-05
	Extracción de plaguicidas clorados	mg/L	Realizada	1	

Tomada en las coordenadas: Latitud Norte: 21°11'29". Longitud Oeste: 102°41'29".
NE.- análisis no efectuado. ND.- No detectado. D.- dilución efectuada a la muestra. AA.- prueba acreditada o aprobada.

Tabla 2.4 Resultados análisis fisicoquímicos de agua en boquilla (muestra AN-2)

BOQUILLA EN DONDE SE UBICARÁ LA CORTINA DE LA PRESA					
AA	Parámetro	Unidades	Resultados	D	LDM
1, 2, 3	Arsénico	mg/L	0.0304	1	0.0011
1, 2, 3	Cadmio	mg/L	ND	1	0.007
1	Calcio	mg/L	75.164	1	0.223
1, 2, 3	Cianuros totales	mg/L	0.002	1	0.001
1, 2	Cloruros	mg/L	ND	1	9.0
1, 2, 3	Cobre	mg/L	ND	1	0.005
1, 2	Coliformes fecales (NMP)	NMP/100 mL	9300.00	100	3
1, 2	Coliformes totales (NMP)	NMP/100 mL	24000.00	100	3
1, 2	Conductividad eléctrica	µS/cm	299.50	1	10.0
1, 2	Cromo	mg/L	ND	1	0.008
1, 2, 3	DBO total	mg/L	ND	12	0.9
	Digestión ácida por microondas (P/Muestra)		Realizado		
1, 2	DQO total	mg/L	54.80	1	12.0
1, 2	Fosfatos totales	mg/L	2.259	1	0.018
1, 2	Fósforo total	mg/L	0.737	1	0.006
1, 2, 3	Grasas y Aceites	mg/L	3.2	1	2.5
1, 2	Huevos de Helmintos	mg/L	0.0	1	1
1	Magnesio	mg/L	10.515	1	0.032
1, 2, 3	Materia flotante	---	Ausente	1	
1, 2, 3	Mercurio	mg/L	0.0003	1	2.00E-04
1, 2, 6	Nitratos (Nitrógeno De)		1.414	1	0.002
1, 2, 6	Nitritos (Nitrógeno De)	mg/L	0.083	1	9.00E-04
1, 6	Nitrógeno amoniacal	mg/L	0.477	1	0.002
1, 2	Nitrógeno total Kjeldhal	mg/L	25.017	10	0.020
	Nitrógeno total	mg/L	26.513		
2, 3	Níquel	mg/L	0.054	1	0.008
1, 2, 3	Plomo	mg/L	ND	1	0.012
	Relación de adsorción de sodio	mg/L	0.923	1	
1, 2	SAAM	mg/L	0.215	1	0.010
1	Sodio	mg/L	32.219	1	0.519
1, 2, 3	Sólidos sedimentables	mg/L	0.1	1	0.100
1, 2, 3	Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	316.7	16	5.000
1, 2, 3	Sólidos totales	mg/L	640.0	1	100.0
1, 2	Sulfatos	mg/L	24.115	1	3.870
	Fósforo orgánico	mg/L	0.076		0.005
	Fósforo disuelto	mg/L	0.482		0.005
1, 2, 3	Zinc	mg/L	0.168	1	0.014
1, 2, 3	pH	U de pH	8.0	1	
HERBICIDAS FENOXICLADOS					
1, 2, 6	Acido 2,4 Diclorofenoxiacetico (2, 4-D)	mg/L	ND	1	1.00E-04
1, 2	Dalapon	mg/L	ND	1	2.00E-04
1, 2	Dicamba	mg/L	ND	1	1.00E-04
1, 2	Dicloroprop	mg/L	ND	1	2.00E-04
1, 2, 6	Dinoseb	mg/L	ND	1	3.90E-05
	2, 4,5-T	mg/L	ND	1	4.10E-05
	Extracción de herbicidas	mg/L	Realizada	1	5.00E-04
PLAGUICIDAS CLORADOS					
1, 2, 6	Aldrin	mg/L	ND	1	9.00E-04
1, 2	BHC (Alfa, Beta y Delta)	mg/L	ND	1	
1, 2, 6	Clordano	mg/L	ND	1	2.00E-05
1, 2, 6	DDD	mg/L	ND	1	1.00E-05
1, 2, 6	DD	mg/L	ND	1	8.00E-06
1, 2	Dieldrin	mg/L	ND	1	9.00E-06
1, 2	Alfa Endosulfan	mg/L	ND	1	9.00E-06
	Beta Endosulfan	mg/L	ND	1	1.00E-05
	Endrin	mg/L	ND	1	1.20E-05
1, 2, 6	Gama-BCH (Lindano)	mg/L	ND	1	9.00E-06
	Heptacloro	mg/L	ND	1	1.20E-05
	Heptacloro Epóxido	mg/L	ND	1	1.40E-05
1, 2	Hexaclorobenceno	mg/L	ND	1	9.00E-06
1, 2	Metoxicloro	mg/L	ND	1	1.00E-05
1, 2	Toxafeno	mg/L	ND	1	1.40E-05
1, 2	Delta-BHC	mg/L	ND	1	9.00E-6
1, 2	Endrin Aldehído	mg/L	ND	1	1.30E-05
1, 2	Endosulfansulfato	mg/L	ND	1	1.00E-05
	Extracción de plaguicidas clorados	mg/L	Realizada	1	

Tomada en las coordenadas: Latitud Norte: 21°08'10". Longitud Oeste: 102°48'17".
NE.- análisis no efectuado. ND.- No detectado. D.- dilución efectuada a la muestra. AA.- prueba acreditada o aprobada.

En el apartado “Construcción del escenario modificado por el proyecto” de la MIA-R. Para construir el escenario modificado por el proyecto, se hicieron las consideraciones pertinentes de tal forma que los resultados sean comparables lo que permitirá identificar las acciones que pudieran generar desequilibrios ecológicos que por su magnitud e importancia provocarían daños permanentes al ambiente y/o contribuirían en la consolidación de los procesos de cambio existentes. Los cambios son reportados como benéficos en algunos aspectos (desde el punto de vista de desarrollo socio-económico) pero dicen que implican un costo ambiental que debe ser ponderado, considerando si el sistema afectado puede ser restituido de manera parcial mediante medidas de mitigación y compensación. En el aspecto de hidrología subterránea (Tabla 2.5), el probable escenario que reportan se presentaría es: estado óptimo, que generalmente requerirá de políticas de protección, ya que por su alto valor son objeto de especulación, corrupción y saqueo.

Tabla 2.5 Escenarios ambientales de las cuencas involucradas con la realización del proyecto

PLAZO		Región Hidrológica VIII LERMA- SANTIAGO-PACÍFICO																			
		Subregión Alto Santiago										Subregión Medio Lerma									
		Cuenca I: R. VERDE GRANDE / Subcuenca c: R. Verde Grande					Cuenca B: R. LERMA- SALAMANCA / Subcuenca e: R. Turbio- P. Palote					Cuenca I: R. VERDE GRANDE / Subcuenca c: R. Verde Grande					Cuenca B: R. LERMA- SALAMANCA / Subcuenca e: R. Turbio- P. Palote				
		ENTORNO NATURAL					MEDIO SOCIO-ECONÓMICO					ENTORNO NATURAL					MEDIO SOCIO-ECONÓMICO				
AÑOS	ABIÓTICO		BIÓTICO			SOCIAL			ECONÓMICO		ABIÓTICO		BIÓTICO			SOCIAL			ECONÓMICO		
	Clima	Geología y geomorfología	Uso de Suelo / Edafología	Hidrología superficial	Hidrología Subterránea	Calidad del agua	Vegetación	Fauna	Hábitats	Comunidades Indígenas	Demografía	Índice de pobreza	Salud	Educación	Cultura	Vivienda	Urbanización	Empleo	Sector primario	Sector secundario	Sector terciario
Corto	1	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
	2	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
	3	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
	4	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
	5	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Mediano	6	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
	7	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
	8	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
	9	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
	10	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
	11	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
	12	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
	13	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
	14	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
	15	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
	16	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Largo	+16	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	

Estado Crítico	Describe situaciones que no cumplen con las condiciones naturales, mínimas o estándar. Requieren de programas de atención urgente. Generalmente no se dispone de recursos económicos y humanos para su aplicación.
Estado de Transición	Describe las condiciones que se encuentran en valores aceptables, pueden ser mejoradas, sin embargo hay prioridades que impiden su mejora.
Estado Óptimo	Describe las condiciones deseables o naturales, generalmente requiere de políticas de protección, ya que por su alto valor son objeto de especulación, corrupción y saqueo.

En la MIA-R se evaluaron los impactos ambientales negativos que puede generar el proyecto, algunas de ellos son: al reubicar a las comunidades de área inundable del embalse se tendrá la posibilidad de un efecto negativo en el factor ambiental agua (disponibilidad). Entre los impactos positivos del proyecto son: mejorar la disponibilidad del agua a nivel región incidiendo directamente en la calidad de vida de la población.

En las recomendaciones, hacen hincapié en que al formarse el embalse provocará cambios en la calidad del agua. Y no descartan la posibilidad de que no se hayan considerado a la totalidad las medidas de mitigación o compensación que deban aplicarse para la consecución del objetivo ambiental.

2. Elaboración de los documentos de respaldo de la disponibilidad media anual de agua en los acuíferos (1413) Altos de Jalisco, (1436) Arenal, (1428) Chapala, (1429) Tizapán y (1447) Yahualica en el estado de Jalisco: Acuífero (1447) Yahualica: TH0756.

Estudio realizado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA, 2007), consistió en conocer las condiciones de explotación prevalecientes en el acuífero, con el objetivo de elaborar un documento de respaldo para determinar la disponibilidad media anual. De este modo se realizó un diagnóstico de las condiciones geohidrológicas, con el apoyo de información técnica, con énfasis en los aspectos geológicos, censo de aprovechamientos, medición de los niveles piezométricos en los pozos y el cálculo del volumen de extracción de agua subterránea. Además, se realizaron pruebas de bombeo, para definir el comportamiento hidráulico de los acuíferos, así como el muestreo y análisis fisicoquímico del agua subterránea para determinar la calidad de la misma.

La NOM-011-CONAGUA-2000 establece para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas la realización de un balance de las mismas donde se defina de manera precisa la recarga, de ésta deducir los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y el volumen concesionado vigente en el Registro Público de Derechos del Agua (REPDA).

El objetivo general fue actualizar el conocimiento de las condiciones geohidrológicas del acuífero Yahualica, con el objeto de que sirva de herramienta, para proponer las políticas de explotación adecuadas y estar en condiciones de realizar un mejor aprovechamiento del recurso subterráneo.

Los objetivos específicos fueron:

1. Contar con un censo actualizado de las captaciones de agua subterránea existentes. Determinar el volumen de extracción de agua subterránea.
2. Cuantificar la magnitud de los componentes de la recarga (natural, inducida y artificial).
3. Obtener los valores de los parámetros físicos e hidráulicos regionales que rigen el movimiento del agua en el subsuelo: conductividad hidráulica, espesor de cada acuífero, transmisividad y coeficiente de almacenamiento.
4. Ajustar el modelo conceptual de funcionamiento.
5. Elaborar el balance hidrológico de la subcuenca y del agua subterránea.

El acuífero Yahualica se localiza al noreste del estado de Jalisco, posee 952.98 km² de superficie, queda comprendido por las coordenadas geográficas 20°49' y 21°21' de latitud norte y 102°38' y 103°04' de longitud oeste. Dicho acuífero abarca los municipios de Mexxicacán y una parte de Yahualica de González Gallo, una porción inferior de los municipios de Cuquío, Tepatitlán de Morelos y Cañadas de Obregón.

El acuífero Yahualica se encuentra en veda para su explotación, así se hace constar en el documento Estadísticas del Agua en México, obra editada por CONAGUA en 2006, cuyos datos presentados fueron publicados en el Diario Oficial de la Federación conforme a la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000.

El objetivo general de establecer vedas para el aprovechamiento del recurso hidráulico subterráneo es administrar y preservar las aguas nacionales con la participación de la sociedad para lograr el uso sustentable de ésta fuente; los objetivos particulares son fomentar el uso eficiente del agua en la producción agrícola, ampliar la cobertura y eficiencia de los servicios de agua potable, lograr el manejo integrado e ininterrumpido del agua superficial y subterránea, promover el desarrollo técnico, administrativo y financiero del sector hidráulico, consolidar la participación de los usuarios y la sociedad organizada en el manejo del agua, promover la cultura de su buen uso para abatir riesgos y atender los efectos de inundaciones y sequías. La veda decretada es tipo II, en donde la capacidad de los mantos acuíferos permite extracciones para uso doméstico.

Las actividades realizadas en el estudio fueron:

- a) Censo de aprovechamientos.
- b) Nivelación de brocales.
- c) Hidrometría y piezometría.
- d) Pruebas de bombeo.
- e) Hidrogeoquímica y calidad del agua.
- f) Balance de aguas subterráneas.

El acuífero Yahualica está compuesto por rocas volcánicas y sedimentarias continentales de estructura y granulometría diversa.

En cuanto al esquema conceptual hidrogeológico exponen que el aluvión actúa como acuífero freático subálveo, que las rocas basalto andesíticas terciarias son impermeables, ocasionalmente acuíferas o zonas de recarga a través de fracturas, que las riolitas y clásticos volcánicos tienen nula permeabilidad y confinan las rocas acuíferas o, eventualmente, cierta capacidad de infiltración dependiente de sus facies litológicas, permitiendo flujos hacia los depósitos lacustres evaporíticos, o llegando a formar acuíferos restringidos a condiciones locales de fracturamiento y brechas, que los depósitos lacustres constituidos por areniscas de buena permeabilidad definen el acuífero principal con niveles piezométricos profundos dada la ubicación estratigráfica en que se encuentran, y que las calizas cretáceas conforman el basamento regional y posible piso de los acuíferos volcánicos.

La disponibilidad media anual se obtiene con base en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000, fracción relativa a las aguas subterráneas. El acuífero contaba con disponibilidad de aguas subterráneas de 14'493,000 m³/año y consecuentemente ese volumen adicional permitía otorgar nuevas concesiones.

El agua del subsuelo es cálcica bicarbonatada ligeramente sódica y alcalina, de clase C2S1, riesgo de salinidad medio y bajo índice de adsorción y peligrosidad de sodio, tiene 295 micromhos de conductividad eléctrica que equivale a menos de 400 ppm de sólidos disueltos totales (SDT), sabor dulce y baja concentración de sólidos con poco tiempo de permanencia en el subsuelo y cortas distancias de recorrido. Es relativamente de reciente infiltración.

3. Elaboración del documento de respaldo de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Encarnación, en el estado de Jalisco.

La Comisión Estatal del Agua de Jalisco, por conducto de la Coordinación de Sustentabilidad, perteneciente a la Dirección de Cuencas y Sustentabilidad, convino en el 2009 con la UNAM mediante un convenio de colaboración para que integre y complemente la información hidrogeológica básica y elabore el documento de respaldo de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Encarnación en el estado de Jalisco (UNAM, 2009).

Los objetivos fueron contar con el documento técnico de respaldo que sirviera de consulta rápida para conocer la disponibilidad media anual de agua del acuífero de Encarnación, en el Estado de Jalisco, aplicando para ello la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000. Integrar y analizar la información climatológica, hidrológica e hidrogeológica que se encuentra dispersa en los diferentes informes

realizados en la región y que se encontraran en poder de las áreas de aguas subterráneas de los Organismos de Cuenca, Direcciones Estatales y Gerencia de Aguas Subterráneas de la Subdirección General Técnica, para lo cual tendrían que hacer visitas a las residencias correspondientes.

El acuífero de Encarnación comprende en su totalidad a los municipios de Teocaltiche (con una superficie total de 942.445 km²), Encarnación de Díaz (1,245.065 km²) y Villa Hidalgo (451.237 km²), y parcialmente los municipios de San Juan de Los Lagos (superficie total de 841.906 km²), Lagos de Moreno (2,648.221 km²), Mexxicacán (283.694 km²), Ojuelos de Jalisco (1,157.586 km²), Jalostotitlán (521.061 km²) y Cañadas de Obregón (273.081 km²).

El acuífero Encarnación se encuentra dentro del denominado acuífero interestatal Ojocaliente-Aguascalientes-Encarnación en el cual la sobreexplotación del acuífero se ha venido dando desde la década de los sesenta, por lo que desde entonces fue necesario establecer vedas por tiempo indefinido para el alumbramiento de las aguas del subsuelo. En el estado de Aguascalientes fue establecida en todos los municipios mediante Decreto Presidencial publicado en el Diario Oficial de la Federación el 24 de Mayo del 1963; en Zacatecas, se declararon tres vedas de control, el 16 de mayo de 1960 para los municipios de Cuauhtémoc, Guadalupe, Ojocaliente, Genaro Codina y Luis Moya, el 10 de febrero de 1978 en el municipio de Ojocaliente (parcial) y el 5 de agosto de 1998 en el municipio de Genaro Codina (parcial); mientras que en el estado de Jalisco, se declaró veda de control el 7 de diciembre de 1987 (Fuente: Comité Técnico de Aguas Subterráneas del Acuífero Interestatal Ojocaliente Aguascalientes Encarnación A. C.).

Se realizaron tanto actividades de gabinete como de campo, el trabajo de campo se realizó en cuatro etapas:

- a) Censo, el cual incluyó medición de niveles estáticos y/o dinámicos, y toma de datos como: características constructivas del aprovechamiento y datos generales del mismo.
- b) Nivelación de brocales.
- c) Muestreo de calidad de agua.
- d) Pruebas de bombeo.

Los resultados del estudio para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas conforme a la metodología indicada en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000, resultó ser de -56'043,503 m³/año.

El cálculo de la disponibilidad negativo indica que ya no hay volúmenes disponibles para nuevas concesiones. Sin embargo, al comparar los volúmenes determinados con los datos recopilados en el censo y compararlos con los volúmenes registrados

en el REPDA, en los pozos donde se pudo constatar la coincidencia de los datos del registro con los datos en campo, se observa que en el 54% de los pozos el volumen de extracción es superior al volumen registrado, y sólo en el 2% se encontraba en el mismo rango. Lo que indica que es necesario llevar a cabo un programa de readecuación y revisión de los volúmenes registrados en los títulos con respecto a la extracción real en campo.

4. Estudio de actualización geohidrológica de los acuíferos Valle de Guadalupe, Cuquío, Tequila, Jalostotitlán y Colotlán en el estado de Jalisco. TH1019. Acuífero Valle de Guadalupe.

La actualización del estudio geohidrológico del acuífero Valle de Guadalupe, Jalisco (IMTA, 2010), fue con la finalidad de recopilar información, actualizar las condiciones del acuífero y determinar la disponibilidad de agua subterránea. Tomando como base la necesidad de conocer, de forma cuantitativa, la disponibilidad de agua subterránea en el acuífero, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), a través del Organismo de Cuenca Lerma Santiago Pacífico, encargó al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), la realización del “Estudio de actualización geohidrológica de los acuíferos Valle de Guadalupe, Cuquío, Tequila, Jalostotitlán y Colotlán en el estado de Jalisco”, a través del convenio de colaboración específico CNA-OCLSP-JAL-CONV-002-2010.

La NOM-011-CONAGUA-2000 establece para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas la realización de un balance de las mismas donde se defina de manera precisa la recarga, de ésta deducir los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y el volumen concesionado vigente en el Registro Público de Derechos del Agua (REPDA).

El objetivo general fue actualizar el conocimiento de las condiciones geohidrológicas del acuífero Valle de Guadalupe, para proponer las políticas de explotación adecuadas y estar en condiciones de realizar un mejor aprovechamiento del recurso subterráneo.

Los objetivos específicos fueron:

1. Contar con un censo actualizado de las captaciones de agua subterránea existentes. Determinar el volumen de extracción de agua subterránea.
2. Cuantificar la magnitud de los componentes de la recarga (natural, inducida y artificial).
3. Obtener los valores de los parámetros físicos e hidráulicos regionales que rigen el movimiento del agua en el subsuelo: conductividad hidráulica, espesor de cada acuífero, transmisividad y coeficiente de almacenamiento.

4. Ajustar el modelo conceptual de funcionamiento.
5. Elaborar el balance hidrológico de la subcuenca y del agua subterránea.

El acuífero Valle de Guadalupe se localiza en la porción este del estado de Jalisco, cubre una extensión de aproximadamente 989.73 km² y queda comprendido entre las coordenadas 20° 44' y 21° 12' de latitud norte, y los 102° 26' y 102° 49' de longitud oeste. Colinda al Norte, con el acuífero Yahualica, al Este con el acuífero de Jalostotitlán, al Oeste con los acuíferos de Tepatitlán y Altos de Jalisco y, al Sur con el acuífero de Ocotlán.

Existen seis distintos decretos que regulan la extracción de agua subterránea. El acuífero Valle Guadalupe, se encuentra dentro de los acuíferos que ordena el decreto publicado el 7 de diciembre de 1989, por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en zonas no vedadas en los diversos municipios del estado de Jalisco y se establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento, extracción y aprovechamiento de las aguas del subsuelo. De acuerdo a la Ley Federal de Derechos vigente para el 2009, los municipios Cañadas de Obregón, San Miguel el Alto, Arandas y Tepatitlán de Morelos, se ubican en zona de disponibilidad 8, Valle de Guadalupe, en la zona de disponibilidad 7.

Las actividades realizadas en el estudio fueron:

- a) Censo de captaciones.
- b) Nivelación de brocales.
- c) Hidrometría y piezometría.
- d) Pruebas de bombeo.
- e) Hidrogeoquímica y calidad del agua.
- f) Balance de aguas subterráneas.

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplicó el procedimiento establecido la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000, que establece la metodología para calcular la disponibilidad media anual de las aguas nacionales. La disponibilidad de aguas subterráneas, constituye el volumen medio anual de agua subterránea disponible en un acuífero, al que tendrán derecho de explotar, usar o aprovechar los usuarios, adicional a la extracción ya concesionada y a la descarga natural comprometida, sin poner en peligro a los ecosistemas. Conforme a la metodología indicada en la norma referida, se obtiene de restar a la recarga total los volúmenes de la descarga natural comprometida y el volumen concesionado e inscrito en el REPDA.

El resultado indica que existía un volumen de 2'524,390 m³/año para otorgar nuevas concesiones. Sin embargo, es importante mencionar que la extracción por bombeo es inferior en 10.56 hm³ anuales al volumen inscrito reportado por el REPDA.

Una de las recomendaciones más importantes del estudio fue; para tener conocimiento confiable y oportuno de la calidad del agua subterránea se recomendó diseñar una red de monitoreo del acuífero que involucre las variables dinámicas, los parámetros de campo y especies fisicoquímicas en el mayor número de pozos. También se recomendó hacer recorridos piezométricos y monitoreo periódicos de las variables antes mencionadas para establecer oportunamente las evoluciones del almacenamiento y de la calidad del agua subterránea.

5. Estudio de actualización geohidrológica de los acuíferos Valle de Guadalupe, Cuquío, Tequila, Jalostotitlán y Colotlán en el estado de Jalisco. TH1019. Acuífero Jalostotitlán.

La importancia de este estudio (IMTA, 2010a) radicó en conocer las condiciones prevalecientes de explotación en que se encontraba el acuífero, determinar si era posible extraer volúmenes adicionales de agua, definir fuentes alternas de abastecimiento y establecer políticas de explotación convenientes, que permitieran un aprovechamiento racional del recurso. De este modo se realizó un diagnóstico de las condiciones geohidrológicas, con el apoyo de información técnica, con énfasis en los aspectos geológicos, censo de aprovechamientos hidráulicos subterráneos en la zona, medición de los niveles piezométricos en los pozos y el cálculo del volumen de extracción de agua subterránea. Además, se realizaron pruebas de bombeo, para definir el comportamiento de los acuíferos, así como el muestreo y análisis fisicoquímico del agua subterránea para determinar la calidad de la misma.

La NOM-011-CONAGUA-2000 establece para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas la realización de un balance de las mismas donde se defina de manera precisa la recarga, de ésta deducir los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y el volumen concesionado vigente en el Registro Público de Derechos del Agua (REPDA).

El objetivo general fue actualizar el conocimiento de las condiciones geohidrológicas del acuífero Jalostotitlán, con el objeto de que sirva de herramienta, para proponer las políticas de explotación adecuadas y estar en condiciones de realizar un mejor aprovechamiento del recurso subterráneo.

Los objetivos específicos fueron:

1. Contar con un censo actualizado de las captaciones de agua subterránea existentes. Determinar el volumen de extracción de agua subterránea.
2. Cuantificar la magnitud de los componentes de la recarga (natural, inducida y artificial).
3. Obtener los valores de los parámetros físicos e hidráulicos regionales que rigen el movimiento del agua en el subsuelo: conductividad hidráulica, espesor de cada acuífero, transmisividad y coeficiente de almacenamiento.

4. Ajustar el modelo conceptual de funcionamiento.
5. Elaborar el balance hidrológico de la subcuenca y del agua subterránea.

El acuífero Jalostotitlán se localiza en la porción denominada Altos del estado de Jalisco, cubre una extensión de aproximadamente 1,244.7 km² y queda comprendido entre las coordenadas 20° 52' y 21° 19' de latitud norte, y los 102° 13' y 102° 41' de longitud oeste. Colinda al Norte con los acuíferos Encarnación y Yahualica, al Sur con el acuífero de Ocotlán, al Este con el acuífero de Lagos de Moreno y al Oeste con el acuífero Valle de Guadalupe y forma parte de la cuenca del río San Miguel de la región hidrológica Lerma Santiago. Este acuífero lo conforman en parte los municipios de Jalostotitlán, Cañadas de Obregón, Valle de Guadalupe, San Miguel el Alto, y San Juan de los Lagos.

El acuífero pertenece a la Región Hidrológico-Administrativa VIII, Organismo de Cuenca Lerma-Santiago-Pacífico. Su territorio completo se encuentra sujeto a las disposiciones del decreto de veda tipo III, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 7 de diciembre de 1987, el cual permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros. Dicho decreto declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en las zonas no vedadas por los decretos presidenciales mencionados en los considerandos que anteceden del presente mandamiento, dentro de la publicación, así como en el resto de los municipios que comprenden el estado de Jalisco, para el mejor control del alumbramiento, extracción y aprovechamiento de las aguas del subsuelo en dicha Entidad Federativa.

Por causa de interés público se establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento, extracción y aprovechamiento de las aguas del subsuelo en todos los Municipios del Estado de Jalisco, que no fueron incluidos por los Ordenamientos Presidenciales citados en los considerandos de la publicación del Mandamiento.

Las actividades realizadas en el estudio fueron:

- a) Censo de captaciones.
- b) Nivelación de brocales.
- c) Hidrometría y piezometría.
- d) Pruebas de bombeo.
- e) Hidrogeoquímica y calidad del agua.
- f) Balance de aguas subterráneas.

El cálculo de la disponibilidad obtenida permitirá una mejor administración del recurso hídrico subterráneo ya que el otorgamiento de nuevas concesiones sólo podrá efectuarse en acuíferos con disponibilidad de agua subterránea. Los datos técnicos que se publiquen deberán estar respaldados por un documento en el que

sintetice la información necesaria, en donde quede claramente especificado el balance de aguas subterráneas y la disponibilidad de agua subterránea susceptible de concesionar, considerando los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y los usuarios registrados con derechos vigentes en el REPDA. La publicación de la disponibilidad servirá de sustento legal para fines de administración del recurso, en la autorización de nuevos aprovechamientos de agua subterránea, en los planes de desarrollo de nuevas fuentes de abastecimiento, y en las estrategias para resolver los casos de sobreexplotación de acuíferos y la resolución de conflictos entre usuarios.

La disponibilidad media anual se obtiene con base en la norma oficial mexicana NOM-011-CONAGUA-2000, fracción relativa a las aguas subterráneas. El acuífero cuenta con disponibilidad de aguas subterráneas de 21'091,908 m³/año y consecuentemente este volumen adicional permite otorgar nuevas concesiones.

Las aguas subterráneas son de excelente calidad en términos de consumo humano, y cumplen ampliamente con el contenido de sólidos disueltos totales y demás constituyentes químicos disueltos indicados por la Modificación a la NOM-127-SSA1-1994.

Para tener conocimiento confiable y oportuno de la calidad del agua subterránea se recomendó diseñar una red de monitoreo del acuífero que involucre las variables dinámicas, los parámetros de campo y especies fisicoquímicas en mayor número de pozos. También se recomendó hacer recorridos piezométricos y monitoreo periódicos de las variables antes mencionadas para establecer oportunamente las evoluciones del almacenamiento y de la calidad del agua subterránea.

6. Libro Blanco CONAGUA-03. Proyecto presa y acueducto El Zapotillo.

El objetivo del Libro Blanco CONAGUA-03 (CONAGUA, 2012) es constar las acciones realizadas de enero/2006 al 30 sept/2012 del proyecto "Proyecto Presa y Acueducto "El Zapotillo" Los Altos de Jalisco, León, Guanajuato y Regulación de volúmenes para la Zona Conurbada de Guadalajara" tiene como objetivo garantizar el suministro de agua potable durante los próximos 25 años a los Altos de Jalisco, a la Ciudad de León, Guanajuato y regular volúmenes para abastecer 3m³/s a la Zona Conurbada de Guadalajara (ZCG) mediante el aprovechamiento de las aguas del río Verde, contribuyendo a la sustentabilidad del Lago de Chapala y recuperación de los acuíferos con los que actualmente se abastecen, mismos que presentan abatimientos de hasta tres metros por año.

Para la construcción de la cortina y del vertedor de la presa se procedió a excavar al 100% en la zona del cauce hasta encontrar el estrato dolerita "TtQdcl" a la elevación

1,527 msnm (promedio); excavación al 86% de la margen izquierda; colocación de concreto de regularización construcción de la cortina y el vertedor en el desplante de la cortina sobre la dolerita hasta la elevación 1,528 msnm; colocación de bandas de PVC para juntas de construcción (WaterStop); colocación, conformación y compactación de concreto compactado con rodillo (CCR) hasta la elevación 1,561 msnm, 11 m por encima del nivel del cauce, con un volumen total colocado de 427,417 m³ de CCR; colocación de mortero de liga entre capas de CCR; colocación de concreto convencional en los paramentos de aguas arriba, aguas abajo y contactos con ladera derecha y ladera izquierda; 100% de inyección de contacto en la zona del cauce desde la elevación 1,530 msnm; colocación de tubería de drenaje desde lumbreras hasta el paramento aguas abajo a la elevación 1,551 msnm; inyección de contacto y consolidación en la zona de ignimbritas de la margen derecha en la elevación 1,557 msnm; estudios geohidrológicos y 100% de losas-tapas prefabricadas para la galería 1 en zona de cortina.

Beneficios hidráulicos-ambientales con la operación de la Presa: recarga de acuíferos en la zona de influencia del embalse de la Presa, recuperación de los acuíferos que presentaban abatimientos de hasta tres metros por año, arriba mencionados, entre otros.

7. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Lagos de Moreno (1410), Estado de Jalisco.

El documento de disponibilidad media anual de agua subterránea es una actualización del Registro Público de Derechos de Agua al 30 de junio de 2014 y publicado en el Diario Oficial de la Federación el 20 de abril de 2015.

El acuífero de Lagos de Moreno se sitúa en el extremo nororiental del estado de Jalisco; comprende una superficie de 3,080 km², correspondiente a un 3.92% del total de la superficie del estado, el área está limitada al oriente por el estado de Guanajuato, al sur por San Francisco del Rincón, Gto., y San Miguel el Alto, Jal., al occidente por Villa Hidalgo, Teocaltiche y Valle de Guadalupe (todos ellos municipios del estado de Jalisco), y al norte por los estados de Zacatecas y Aguascalientes (CONAGUA, 2015).

De acuerdo a estudios geofísicos, el área se puede dividir en dos grandes regiones: la primera donde predomina material ígneo que aflora o se encuentra subyaciendo a material de tipo sedimentario, y la segunda que se caracteriza por estar constituida principalmente por material sedimentario impermeable. El acuífero, por sus características litológicas, es de tipo libre en algunas zonas y de tipo semiconfinado en aquellas partes donde haya capas de material impermeable.

Para el cálculo de la disponibilidad de las aguas subterráneas, se aplicó el procedimiento establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales, que en la fracción relativa a las aguas subterráneas establece que se determina por medio de la expresión siguiente:

Disponibilidad media anual de agua subterránea en una unidad hidrogeológica es igual a la recarga total media anual menos la descarga natural comprometida menos el volumen anual de aguas subterránea concesionado e inscrito en el REPDA.

La disponibilidad media anual de agua subterránea, Tabla 2.6, corresponde a una fecha de corte en el *Registro Público de Derechos de Agua al 30 de junio de 2014.*

Tabla 2.6 Disponibilidad de agua subterránea acuífero Lagos de Moreno

REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA "LERMA-SANTIAGO-PACÍFICO"							
CLAVE	ACUÍFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
		CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES					
1410	LAGOS DE MORENO	196.0	0.0	226.021923	211.1	0.0	-30.021923

R: recarga media anual; DNCOM: descarga natural comprometida; VCAS: volumen concesionado de agua subterránea; VEXTET: volumen de extracción de agua subterránea consignado en estudios técnicos; DAS: disponibilidad media anual de agua subterránea. Las definiciones de estos términos son las contenidas en los numerales "3" y "4" de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015.

La cifra indica que existía en el 2015 un déficit de -30.021923 Hm³ anuales en la unidad hidrogeológica denominada acuífero Lagos de Moreno, Jalisco.

8. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Jalostotitlán (1415), Estado de Jalisco.

El documento de disponibilidad media anual de agua subterránea es una actualización del Registro Público de Derechos de Agua al 30 de junio de 2014 y publicado en el Diario Oficial de la Federación el 20 de abril de 2015.

El acuífero Jalostotitlán, se ubica en la porción noreste del estado de Jalisco. Geográficamente se localiza en la porción denominada Altos del estado de Jalisco, entre los paralelos 20° 52' y 21° 19' de latitud norte, y los meridianos 102° 13' y 102° 41' de longitud oeste; abarcando una superficie de 1,232 km². Colinda al Norte con los acuíferos Encarnación y Yahualica, al Sur con Ocotlán y San José de Las Pilas, al Este con el acuífero Lagos de Moreno y al Oeste con el acuífero Valle de Guadalupe, todos ellos pertenecientes al estado de Jalisco (CONAGUA, 2015a).

Geopolíticamente se encuentra ubicado en gran parte de los municipios Jalostotitlán y San Miguel el Alto, una porción de Cañadas de Obregón y pequeñas porciones de San Juan de Los Lagos, Arandas, Valle de Guadalupe, Mexxicacán y Teocaltiche.

El acuífero Jalostotitlán pertenece al Organismo de Cuenca VIII “Lerma-Santiago-Pacífico”. Su territorio se encuentra sujeto a las disposiciones del “Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en las zonas no vedadas en diversos Municipios del Estado de Jalisco y se establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento, extracción y aprovechamiento de las aguas del subsuelo en todos los Municipios del Estado de Jalisco”, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 7 de diciembre de 1987. Este decreto es de tipo III que permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, riego y otros.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua de 2010, los municipios de San Miguel el Alto, Jalostotitlán, Cañadas de Obregón, San Juan de Los Lagos, Teocaltiche y Arandas, se clasifican como zona de disponibilidad 8, Valle de Guadalupe como zona de disponibilidad 7 y Mexxicacán como zona de disponibilidad 9.

Con la información geológica y piezométrica, es posible identificar que las unidades litológicas descritas conforman un acuífero en general de tipo libre, heterogéneo y anisotrópico; constituido en su porción superior por sedimentos aluviales, fluviales, conglomerados y areniscas; y en su porción inferior por rocas sedimentarias y volcánicas fracturadas.

El medio granular poroso está conformado por los depósitos no consolidados y semiconsolidados que incluyen materiales clásticos de granulometría diversa, originados a partir del intemperismo y erosión de las diversas unidades geológicas que afloran en las sierras que delimitan el acuífero; estos materiales presentan permeabilidad media a alta y se ubican en la proximidad del cauce de los arroyos. A esta unidad pertenecen los conglomerados y areniscas. Subyaciendo a estos depósitos, se presentan calizas, areniscas, basaltos, riolitas y tobas ácidas, que presentan fracturamiento y alteración. Su espesor promedio alcanza los 300 m. Estas últimas unidades constituyen en superficie las principales zonas de recarga.

Para el cálculo de la disponibilidad de las aguas subterráneas, se aplicó el procedimiento establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales, que en la fracción relativa a las aguas subterráneas establece que se determina por medio de la expresión siguiente:

Disponibilidad media anual de agua subterránea en una unidad hidrogeológica es igual a la recarga total media anual menos la descarga natural comprometida menos el volumen anual de aguas subterránea concesionado e inscrito en el REPDA.

La disponibilidad media anual de agua subterránea, Tabla 2.7, corresponde a una fecha de corte en el *Registro Público de Derechos de Agua al 30 de junio de 2014.*

Tabla 2.7 Disponibilidad de agua subterránea acuífero Jalostotitlán

REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA "LERMA-SANTIAGO-PACÍFICO"							
CLAVE	ACUÍFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
		CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES					
1415	JALOSTOTITLÁN	88.8	21.8	68.936537	34.8	0.0	-9.936537

La cifra indica que existía en el 2015 un déficit de -9.936537 Hm³ anuales en el acuífero Jalostotitlán, Jalisco.

9. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Valle de Guadalupe (1416), Estado de Jalisco.

El documento de disponibilidad media anual de agua subterránea es una actualización del Registro Público de Derechos de Agua al 30 de junio de 2014 y publicado en el Diario Oficial de la Federación el 20 de abril de 2015.

El acuífero Valle de Guadalupe, se ubica en la porción centro-este del estado de Jalisco, entre los paralelos 20° 44' y 21° 12' de latitud norte y los meridianos 102° 26' y 102° 49' de longitud oeste; abarca una superficie aproximada de 980 km². Limita al noroeste con el acuífero Yahualica, al este con Jalostotitlán, al sureste con Ocotlán, al suroeste con Altos de Jalisco y al oeste con el acuífero Tepatitlán, todos ellos pertenecientes al estado de Jalisco (CONAGUA, 2015b).

Geopolíticamente se encuentra ubicado en la mayor parte de los municipios Cañadas de Obregón y Valle de Guadalupe, algunas porciones del municipio Tepatitlán de Morelos y una pequeña porción de los municipios Mexxicacán, San Miguel el Alto y Arandas.

El acuífero Valle de Guadalupe pertenece al Organismo de Cuenca "Lerma-Santiago-Pacífico". Su territorio completo se encuentra sujeto a las disposiciones del "Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en las zonas no vedadas en diversos Municipios del Estado de Jalisco y se establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento, extracción y aprovechamiento de las aguas del subsuelo en todos los Municipios del Estado de Jalisco", publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 7 de diciembre de

1987. Este decreto es de tipo III que permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua de 2011, los municipios Cañadas de Obregón, San Miguel el Alto, Arandas y Tepatlán de Morelos, se clasifican como zona de disponibilidad 8 y Valle de Guadalupe como zona de disponibilidad 7.

Las evidencias geológicas, geofísicas e hidrogeológicas permiten definir que el acuífero presenta un sistema de flujo regional tipo libre y localmente semiconfinado debido a la presencia de paquetes arcillosos. El sistema acuífero se emplaza en las rocas volcánicas y en función del desarrollo de su porosidad secundaria, por fracturamiento, en los horizontes de rocas volcánicas fracturadas (basaltos, andesitas). El basamento hidráulico lo define el contacto con las rocas riolíticas.

Tomando en cuenta lo anterior, se interpreta que la base acuífera se encuentra limitada por un acuicludo, representado por tobas riolíticas no fracturadas, sobreyaciéndolo existe un horizonte fracturado, representado por las ignimbritas de composición riolítica, de poco interés para ser explotado de forma intensiva. Por encima de éste, se ubica una capa compuesta por arenas pumíticas, grava y conglomerados, de espesor reducido (50 m) y rocas fracturadas, compuesta de lavas, brechas y escorias de composición basáltica andesítica; siendo ésta la unidad acuífera de mayor explotación, actualmente (200 m). No es posible definir con precisión las áreas que están confinadas y las que funcionan como un acuífero libre.

El acuífero somero se distingue por gravas, arenas, limos y arcillas, suelos residuales. La profundidad al nivel freático oscila entre los 10 a 20 m. Las norias son los principales aprovechamientos que explotan éstos horizontes. Sin embargo, este acuífero superficial es limitado ya que tiene un espesor reducido que no permite sustentar su explotación.

Para el cálculo de la disponibilidad de las aguas subterráneas, se aplicó el procedimiento establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales, que en la fracción relativa a las aguas subterráneas establece que se determina por medio de la expresión siguiente:

Disponibilidad media anual de agua subterránea en una unidad hidrogeológica es igual a la recarga total media anual menos la descarga natural comprometida menos el volumen anual de aguas subterránea concesionado e inscrito en el REPDA.

La disponibilidad media anual de agua subterránea, Tabla 2.8, corresponde a una fecha de corte en el *Registro Público de Derechos de Agua al 30 de junio de 2014.*

Tabla 2.8 Disponibilidad de agua subterránea acuífero Valle de Guadalupe

REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA "LERMA-SANTIAGO-PACÍFICO"							
CLAVE	ACUÍFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
		CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES					
1416	VALLE DE GUADALUPE	31.6	1.7	33.145306	16.9	0.0	-3.245306

La cifra indica que existía en el 2015 un déficit de -3.245306 Hm³ anuales en el acuífero Valle de Guadalupe, Jalisco.

10. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Encarnación (1422), Estado de Jalisco.

El documento de disponibilidad media anual de agua subterránea es una actualización del Registro Público de Derechos de Agua al 30 de junio de 2014 y publicado en el Diario Oficial de la Federación el 20 de abril de 2015.

El acuífero Encarnación (CONAGUA, 2015c) se localiza en la porción noreste del estado de Jalisco y cubre una superficie 2,050 km², que representa cerca del 2.6% del territorio estatal. La zona de estudio comprende en su totalidad a los municipios de Teocaltiche y Villa Hidalgo, y parcialmente los municipios de Lagos de Moreno y Encarnación de Díaz.

El acuífero está localizado dentro de la Subcuenca No.5 (CRM, 1999). Debido a la escasa precipitación, los ríos y arroyos sólo llevan agua cuando existen manantiales o flujo base originado por aguas del subsuelo; éste es el caso de los ríos Verde y Encarnación, y del arroyo "San Matías" o "Agostadero". Siguiendo el curso del río Verde, se presenta una derivación para el pequeño distrito de riego de Belem, a través de la Presa Derivadora de Ajojúcar. Cerca de la población de Ornelas, recibe por su margen izquierda al río Encarnación, su principal afluente dentro de la Unidad Hidrogeológica Encarnación. El río Encarnación, después de pasar por la presa La Duquesa, sigue su curso hacia el poniente y recibe aportaciones de varios arroyos hasta ser captadas sus aguas en la presa La Cascaron, ya dentro del área de estudio. Finalmente, a ocho km aguas abajo de esta confluencia, el río Verde recibe otro importante afluente por su margen derecha llamada río Teocaltiche, que se origina en las faldas del cerro La Campana cerca de los límites con el estado de Zacatecas.

El área de estudio queda comprendida dentro de la Provincia Geológica de la Mesa Central, aunque tiene una ligera influencia del Eje Neovolcánico, según se puede apreciar en las emisiones basálticas, contemporáneas a las edades de la mayoría de los materiales volcánicos de finales del Terciario y Cuaternario.

Con el objeto de establecer una conceptualización sobre la configuración del acuífero en el subsuelo, se utilizaron los resultados de los estudios geológicos y geofísicos realizados en trabajos previos.

De acuerdo a la geología del subsuelo, se deduce que éste acuífero es un sistema compuesto por varias unidades geológicas que, por su origen, se pueden conjuntar en dos grupos principales, por una parte, las que son de origen volcánico y de composición riolítica y, por otra parte, los materiales de origen sedimentario, como arenas y gravas empacadas en matriz arcillosa. De esta forma se tiene un sistema de tipo libre a semiconfinado, existiendo éste último cuando los paquetes de arcillas predominan sobre las gravas y arenas, reduciendo la permeabilidad de la capa superior.

Para el cálculo de la disponibilidad de las aguas subterráneas, se aplicó el procedimiento establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales, que en la fracción relativa a las aguas subterráneas establece que se determina por medio de la expresión siguiente:

Disponibilidad media anual de agua subterránea en una unidad hidrogeológica es igual a la recarga total media anual menos la descarga natural comprometida menos el volumen anual de aguas subterránea concesionado e inscrito en el REPGA.

La disponibilidad media anual de agua subterránea, Tabla 2.9, corresponde a una fecha de corte en el *Registro Público de Derechos de Agua al 30 de junio de 2014*.

Tabla 2.9 Disponibilidad de agua subterránea acuífero Encarnación

REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA "LERMA-SANTIAGO-PACÍFICO"							
CLAVE	ACUÍFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
		CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES					
1422	ENCARNACIÓN	63.3	0.0	112.878265	72.6	0.0	-49.578265

La cifra indica que existía en el 2015 un déficit de -49.578265 Hm³ anuales en el acuífero Encarnación, Jalisco.

11. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Yahualica (1447), Estado de Jalisco.

El documento de disponibilidad media anual de agua subterránea es una actualización del Registro Público de Derechos de Agua al 30 de junio de 2014 y publicado en el Diario Oficial de la Federación el 20 de abril de 2015.

El acuífero Yahualica (CONAGUA, 2015d), se localiza al Noreste del estado de Jalisco, entre los paralelos 20° 49' y 21° 21' de latitud norte y los meridianos 102° 39' y 103° 04' de longitud oeste. Colinda al norte con el acuífero Nochistlán del estado de Zacatecas; al poniente con los acuíferos Cuquío y los Puentes al sur con Altos de Jalisco y Tepatitlán y al oriente con los acuíferos Valle de Guadalupe, Jalostotitlán y Encarnación, todos ellos pertenecientes al estado de Jalisco.

El acuífero abarca gran parte del territorio de los municipios Mexxicacán y Yahualica de González Gallo, una porción inferior de los municipios de Cuquío, Tepatitlán de Morelos y Cañadas de Obregón.

Geopolíticamente se encuentra ubicado en gran parte de los municipios Jalostotitlán y San Miguel el Alto, una porción de Cañadas de Obregón y pequeñas porciones de San Juan de Los Lagos, Arandas, Valle de Guadalupe, Mexxicacán y Teocaltiche.

El acuífero pertenece al Organismo de Cuenca VIII "Lerma-Santiago-Pacífico". Su territorio completo se encuentra sujeto a las disposiciones del decreto de veda tipo III "Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en las zonas no vedadas en diversos Municipios del Estado de Jalisco y se establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento, extracción y aprovechamiento de las aguas del subsuelo en todos los Municipios del Estado de Jalisco", publicado en el Diario Oficial de la Federación el 7 de diciembre de 1987.

De acuerdo a la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2009, los principales municipios Yahualica de González Gallo, Cuquío, Tepatitlán, y Cañadas de Obregón se ubica en la zona de disponibilidad 8 y Mexxicacán en zona de disponibilidad 9.

El acuífero es libre o semi-libre con drenaje retrasado, o semiconfinado localmente, con 0.10 y 0.05 de coeficiente de almacenamiento, respectivamente; éste, aporta menos volumen de agua, es más sensible al bombeo y tiene menos oportunidad de recarga. El acuífero volcánico posee características hidráulicas heterogéneas, dependen de la densidad e interconectividad de sus poros y fracturas, pozos perforados en este acuífero arrojan gastos diversos o pueden resultar fallidos, se requiere la prospección detallada en cada sitio de interés. Las rocas clásticas volcánicas y lacustres conforman el acuífero más importante, con distribución irregular, fuertes espesores y agua de buena calidad.

Para el cálculo de la disponibilidad de las aguas subterráneas, se aplicó el procedimiento establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales, que en la fracción relativa a las aguas subterráneas establece que se determina por medio de la expresión siguiente:

La disponibilidad de aguas subterráneas, constituye el volumen medio anual de agua subterránea disponible en un acuífero, al que tendrán derecho de explotar, usar o aprovechar los usuarios, adicional a la extracción ya concesionada y a la descarga natural comprometida, sin poner en peligro a los ecosistemas. Conforme a la metodología indicada en la norma referida anteriormente, se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de aguas subterráneas concesionado e inscrito en el REPGA.

La disponibilidad media anual de agua subterránea, Tabla 2.10, corresponde a una fecha de corte en el *Registro Público de Derechos de Agua al 30 de junio de 2014.*

Tabla 2.10 Disponibilidad de agua subterránea acuífero Yahualica

REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA "LERMA-SANTIAGO-PACÍFICO"							
CLAVE	ACUÍFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
		CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES					
1447	YAHUALICA	26.0	9.0	13.059286	5.7	3.940715	0.0

La cifra indica que existía en el 2015 un volumen adicional para otorgar nuevas concesiones de 3.940715 Hm³ anuales en el acuífero Yahualica, Jalisco.

3. DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO FISIAGRÁFICO Y ANÁLISIS GEOLÓGICO, GEOMORFOLÓGICO, CLIMATOLÓGICO, GEOHIDROLÓGICO, HIDROLÓGICO Y FÍSICOQUÍMICO

3.1. Localización y descripción del área de estudio

3.1.1. Área de estudio

El vaso de la presa Zapotillo se localiza en el río Verde, en el estado de Jalisco, cruzando parcialmente los municipios de Teocaltiche, Jalostotitlán, Cañada de Obregón, Mexxicacán y Yahualica de González Gallo. Se localiza dentro de la Cuenca Hidrológica 12 (CH12) Río Verde 1 que pertenece a Subregión Hidrológica del Río Santiago (Figura 3.1 y Figura 3.2).

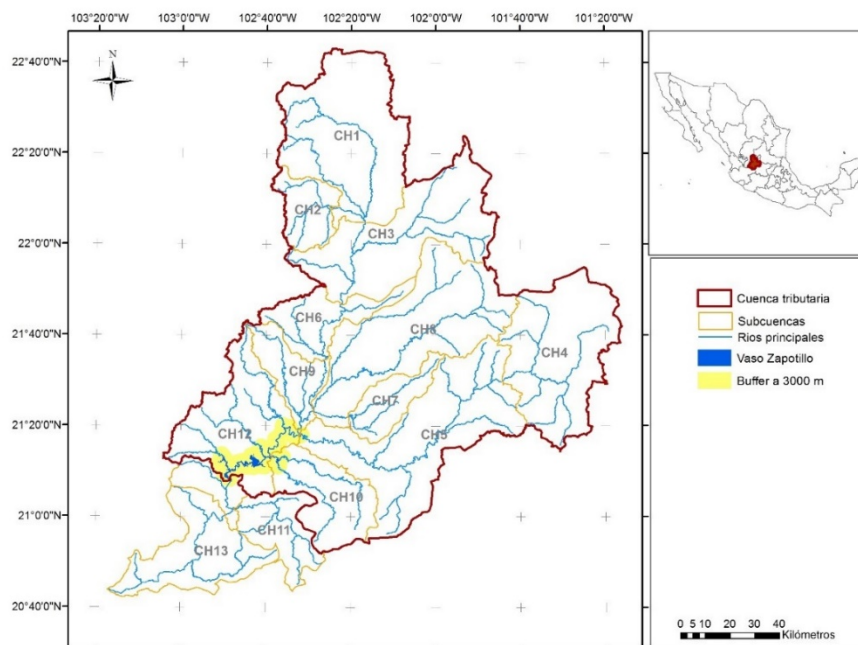


Figura 3.1 Localización de la zona de aportación a la presa El Zapotillo

Las localidades cercanas a la presa son: Nochistlán de Mejía, Yahualica de González Gallo, Mexxicacán y Cañadas de Obregón (Figura 3.3).

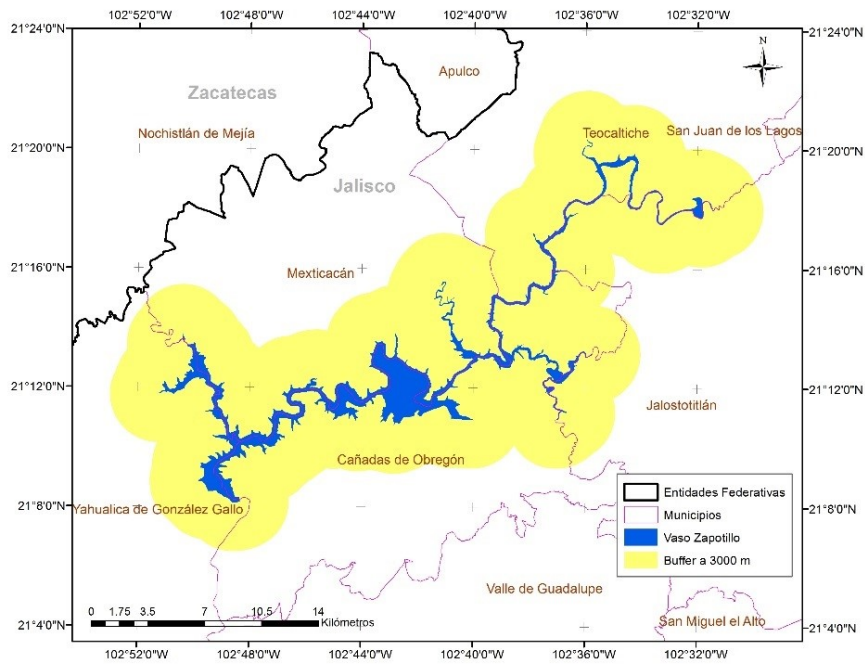


Figura 3.2 Ubicación del embalse de la presa El Zapotillo

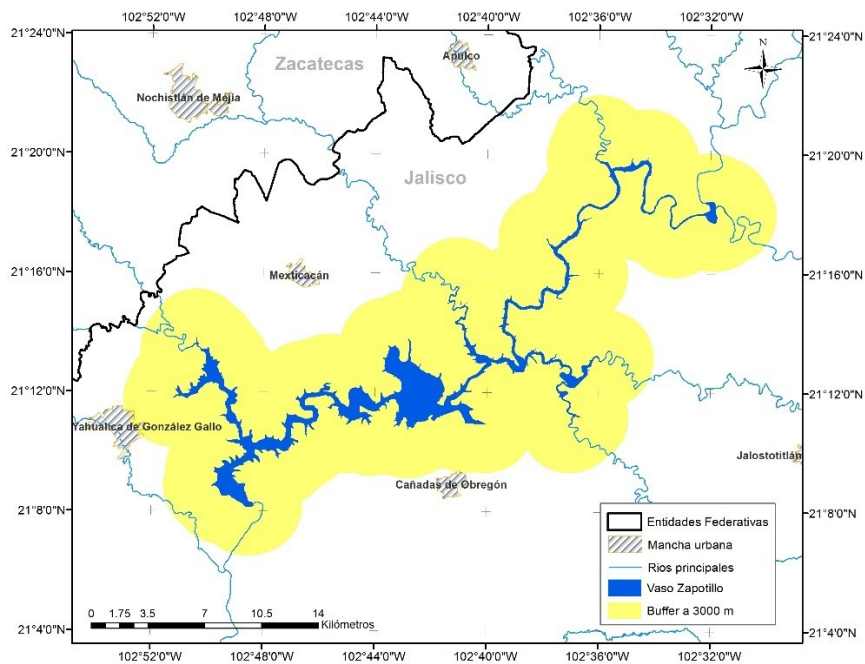


Figura 3.3 Localidades en la zona de estudio

3.1.2. Extensión

El área de aportación aguas arriba del vaso de la presa es de aproximadamente 18,000 km² (Figura 3.4).

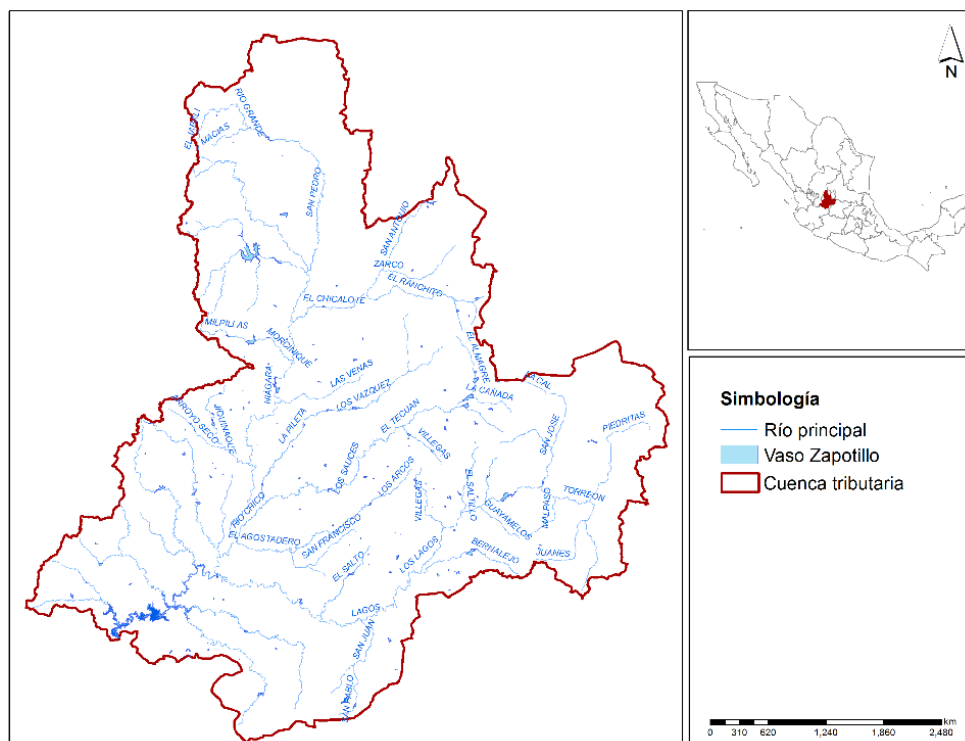


Figura 3.4 Cuenca tributaria y principales ríos

La zona de interés alrededor del embalse de la presa El Zapotillo se delimitó tomando en cuenta la cota de elevación de 1,660 msnm mediante un buffer de 3,000 metros alrededor del vaso cuya superficie es de aproximadamente 512 km² (Figura 3.5).

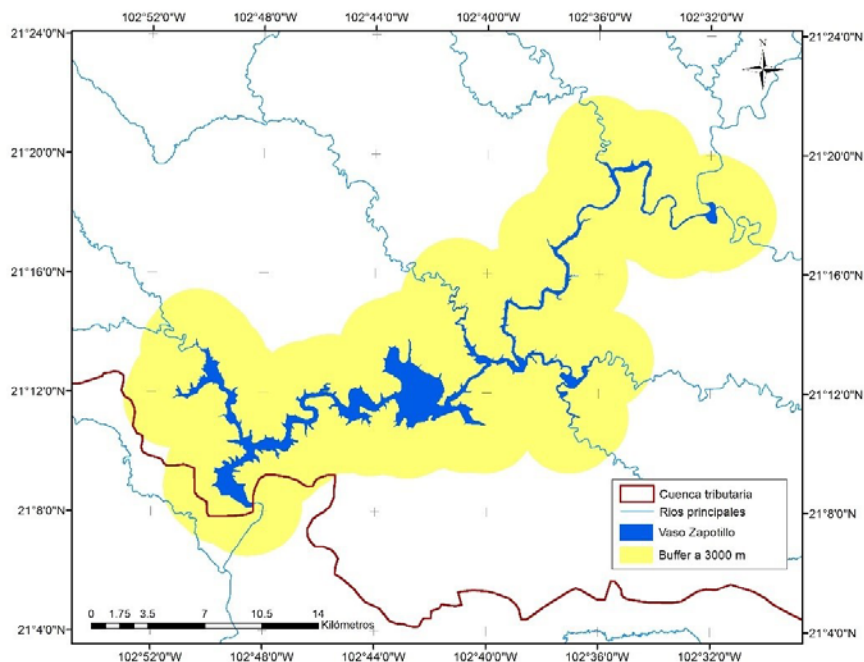


Figura 3.5 Área de trabajo para un buffer de 3,000 m

3.1.3. Vías de comunicación

En la zona existe una red de carretera que comunica a las localidades de Cañadas de Obregón, Mexxicacán y Yahualica de González Gallo y rodea el vaso de la presa (Figura 3.6).

Para llegar al sitio de la presa El Zapotillo, ubicada cerca del poblado del mismo nombre en el ejido El Zapotillo estado de Jalisco, se puede trasladar saliendo de la ciudad de Guadalajara por la carretera de cuota o federal No. 80 que va para Lagos de Moreno y en el entronque con la carretera que va para el poblado de Cañadas de Obregón y de allí por un camino de terracería a la ranchería El Zapotillo, por la margen derecha de la misma carretera No. 80 en el poblado de Tepatitlán pasa la carretera federal No. 80 que va para el poblado Yahualica el que se encuentra a 55 kilómetros de éste, al llegar a Yahualica se continúa por camino de terracería, aproximadamente a 10 km se encuentra el poblado El Zapotillo y continuando por el camino de terracería a dos kilómetros se localiza el sitio de la obra.

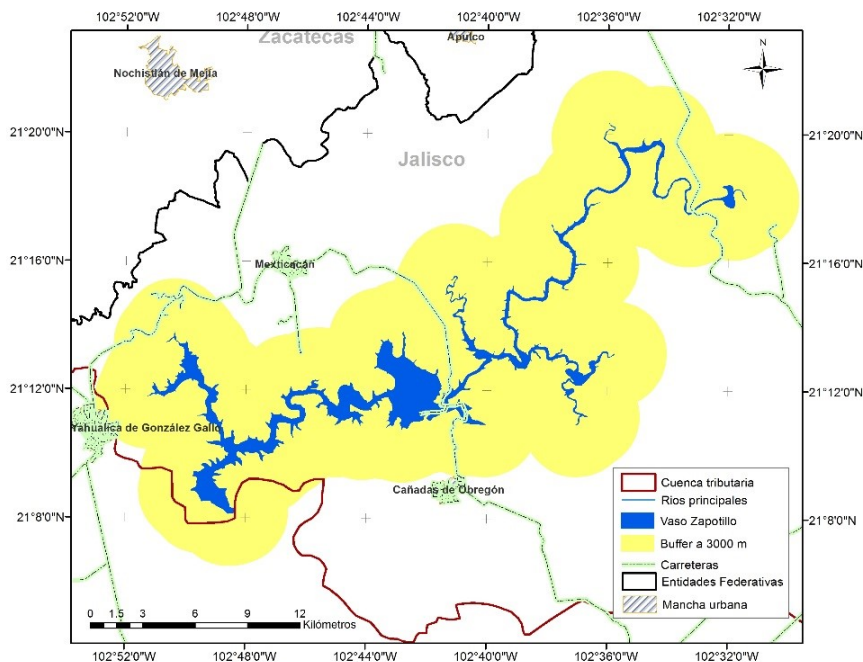


Figura 3.6 Vías de comunicación

3.1.4. Actividades económicas

Entre las principales actividades productivas del estado de Jalisco se encuentran el comercio; los servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles e intangibles; la construcción; la agricultura y cría de animales; el aprovechamiento forestal, la pesca y la caza; y la industria alimentaria. Los sectores estratégicos en el estado son: el turismo, la moda, el gourmet, la electrónica, el automotriz y las tecnologías de la información (gob.mx, 2018).

En el municipio de Cañada de Obregón las principales actividades económicas son: comercio al por mayor de materias primas agropecuarias y forestales, para la industria, y materiales de desecho; comercio al por menor de abarrotes, alimentos, bebidas, hielo y tabaco; comercio al por menor en tiendas de autoservicio y departamentales; industria alimentaria; servicios de preparación de alimentos y bebidas; servicios de reparación y mantenimiento; servicios profesionales, científicos y técnicos; suministro de agua y suministro de gas por ductos al consumidor final. En su conjunto estos subsectores de actividad económica representan el 66% de las empresas, 79% de la producción de riqueza, 67% del empleo en el municipio.

En el municipio de Mexicacán las principales actividades económicas son: comercio al por mayor de materias primas agropecuarias y forestales, para la industria, y materiales de desecho; comercio al por menor de abarrotes, alimentos, bebidas,

hielo y tabaco; curtido y acabado de cuero y piel, y fabricación de productos de cuero, piel y materiales sucedáneos; fabricación de productos a base de minerales no metálicos; industria alimentaria y servicios de preparación de alimentos y bebidas. En su conjunto, estos subsectores de actividad económica representan el 78% de las empresas, 71% de la producción de riqueza, 68% del empleo en el municipio.

En el municipio de Yahualica de González Gallo las principales actividades económicas son: comercio al por menor de abarrotes, alimentos, bebidas, hielo y tabaco; comercio al por menor de artículos para el cuidado de la salud; comercio al por menor de vehículos de motor, refacciones, combustibles y lubricantes; comercio al por menor en tiendas de autoservicio y departamentales; industria alimentaria; servicios de preparación de alimentos y bebidas; servicios de reparación y mantenimiento. En su conjunto, estos subsectores de actividad económica representan el 60% de las empresas, 56% de la producción de riqueza, 54% del empleo en el municipio.

Las principales actividades económicas del municipio de Teocaltiche son: comercio al por mayor de abarrotes, alimentos, bebidas, hielo y tabaco; comercio al por menor de abarrotes, alimentos, bebidas, hielo y tabaco; comercio al por menor de artículos de ferretería, tlapalería y vidrios; comercio al por menor en tiendas de autoservicio y departamentales; edificación; minería de minerales metálicos y no metálicos, excepto petróleo y gas; servicios de preparación de alimentos y bebidas; servicios de reparación y mantenimiento.

En el estado de Zacatecas, entre las principales actividades se encuentran: minería no petrolera; comercio; servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles e intangibles; agricultura, cría y explotación de animales, aprovechamiento forestal, pesca y caza; y, construcción. Los sectores estratégicos en el estado de Zacatecas son: metalmecánica, turístico y agroindustrial.

Las principales actividades económicas del municipio de Nochistlán de Mejía son: comercio al por mayor de abarrotes, alimentos, bebidas, hielo y tabaco; comercio al por menor de abarrotes, alimentos, bebidas, hielo y tabaco; comercio al por menor de artículos para el cuidado de la salud; comercio al por menor de productos textiles, bisutería, accesorios de vestir y calzado; instituciones de intermediación crediticia y financiera no bursátil; servicios de preparación de alimentos y bebidas; servicios de reparación y mantenimiento. En su conjunto, estos subsectores de actividad económica representan el 55% de las empresas, 45% de la producción de riqueza, 54% del empleo en el municipio (INEGI, 2018).

3.1.5. Servicios

Los servicios públicos con que cuenta la población son: agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales, alumbrado, recolección de basura, rastros, mercados, parques y jardines, canchas deportivas, panteones y seguridad pública. Las localidades menores sólo cuentan con los servicios elementales.

3.2. Geología

3.2.1. Geología regional

Dentro del estado de Jalisco se encuentran parte de cuatro provincias geológicas (Figura 3.7) Figura 3.1:

- Sierra Madre Occidental.
- Mesa Central.
- Eje Neovolcánico.
- Sierra Madre del Sur

En la parte nororiental predominan sierras, con una altitud de 2,850 msnm como Sierra Alta y lomeríos de origen volcánico, separadas por llanuras. En el norte hay cañones con 400 msnm y sierras con 2,860 msnm, entre ellos hay valles estrechos.

El estado de Jalisco presenta particularidades de suma importancia geológica, puesto que en él convergen las provincias geológicas Faja Volcánica Transmexicana, que corresponde a una secuencia de vulcanismo Miocénico-Cuaternario que se extiende desde Nayarit a Veracruz (Pasquarè et al., 1991), las estribaciones más australes de la Faja Ignimbrítica Mexicana, el Batolito de Jalisco en toda la región de la costa desde Puerto Vallarta a Melaque y el Complejo Orogénico de Colima-Guerrero, perteneciente a la Sierra Madre del Sur, que se distribuye en afloramientos al suroeste del estado.

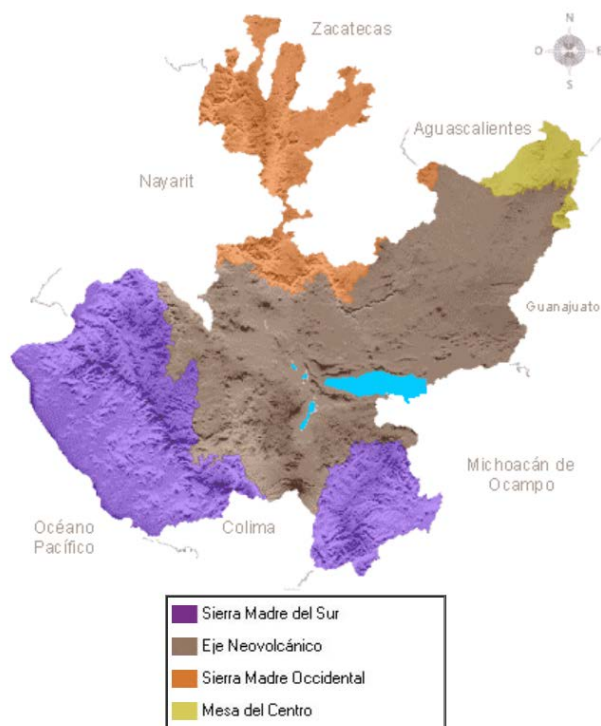


Figura 3.7 Provincias geológicas

3.2.2. Fisiografía

El río Verde es afluente por margen derecha del río Grande de Santiago. Sus orígenes se encuentran en el estado de Zacatecas, en la parte más elevada de cuenca y su desembocadura en el Santiago ocurre cerca de Guadalajara. Este río tiene una longitud desde sus orígenes hasta el sitio San Nicolás de 260 km con una pendiente de 0.29%. El río Lagos es efluente por margen izquierda del río Verde, sus orígenes se encuentran en Guanajuato pasando por las ciudades de Lagos de Moreno y San Juan de los Lagos y Jalostotitlán, para confluir con el río Verde aguas abajo de está ultimo poblado. El río tiene una longitud de 243 km y una pendiente de 0.31%. Ambos ríos junto con sus afluentes forman un área de captación hasta el sitio San Nicolás de 15,260 km². Dentro de la cuenca se encuentra una subcuenca cerrada de aproximadamente 71 km² cerca del poblado de Ocampo.

Fisiográficamente la zona de estudio se encuentra en la Provincia X “Eje Neovolcánico” ésta se caracteriza por ser una enorme masa de rocas volcánicas de todos tipos, acumulada en innumerables y sucesivas etapas, desde mediados del Terciario (unos 35 millones de años atrás) hasta el presente. Esta provincia que se localiza en la parte central del estado y limita al norte con la Sierra Madre Occidental,

al noreste con la Mesa del Centro y al oeste y sur con la Sierra Madre del Sur (Figura 3.8).



Figura 3.8 Provincias fisiográficas

El vaso de la presa Zapotillo se localiza en la subprovincia 48 Altos de Jalisco que se caracteriza por amplias mesetas de origen volcánico y presenta la mayor densidad de topeformas degradativas, generadas por disección hídrica y abundancia de valles profundos de laderas escarpadas a fines de los cañones de la Sierra Madre Occidental. Representa el 17.51% con respecto a la superficie total de la entidad y se distinguen en ella los siguientes sistemas de topeformas: Escudo-Volcanes Aislados o en Conjunto, Pequeña Meseta asociada con lomeríos, Gran Meseta con Cañadas, Meseta Lávica, Meseta Lávica asociada con lomeríos, Meseta Escalonada, Lomerío de Colinas Redondeadas, Lomeríos Suaves en Arenisca Conglomerado, Valle de Laderas Escarpadas asociadas a lomeríos, Valle con Terrazas, Cañón y Depresión (Figura 3.9).

La mayor parte de esta subprovincia queda dentro del estado de Jalisco, aunque pequeñas porciones de ella entran en Zacatecas y Aguascalientes, y una porción mayor en Guanajuato. Abarca los municipios de: Acatic, Arandas, Cuquío, Jesús María, Jalostotitlán, San Julián, San Miguel el Alto, San Juan de los Lagos, Tepatitlán

de Morelos, Unión de San Antonio, Valle de Guadalupe, Villa de Obregón y parte de los municipios de Atotonilco el Alto, Encarnación de Díaz, Degollado, Ixtlahuacán del Río, Lagos de Moreno, Mexxicacán, Villa Hidalgo, Yahualica de González Gallo y Zapotlanejo.

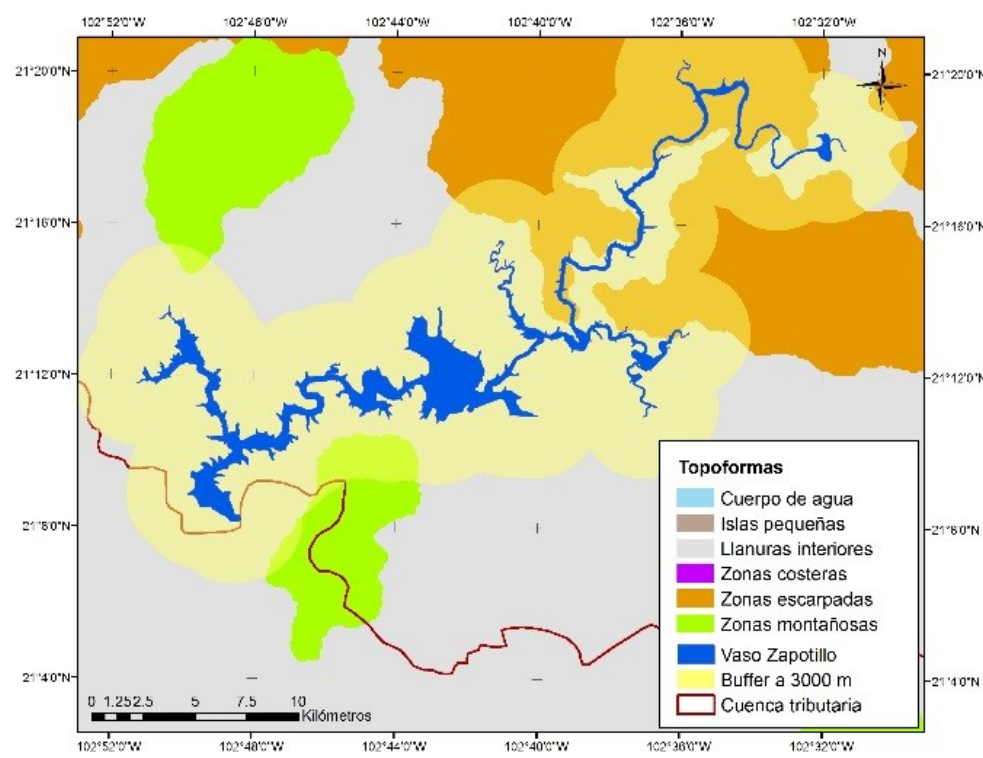


Figura 3.9 Topoformas

3.2.3. Geomorfología

La geomorfología en la zona es el resultado de fuerzas tectónicas y actividad volcánica muy intensas, que actuaron combinadamente y alternadamente con la erosión. Cerca del vaso de la presa Zapotillo existe una fractura orientada de Noroeste a Suroeste, además de tres aparatos volcánicos inactivos y una mina de manganeso (Figura 3.10).

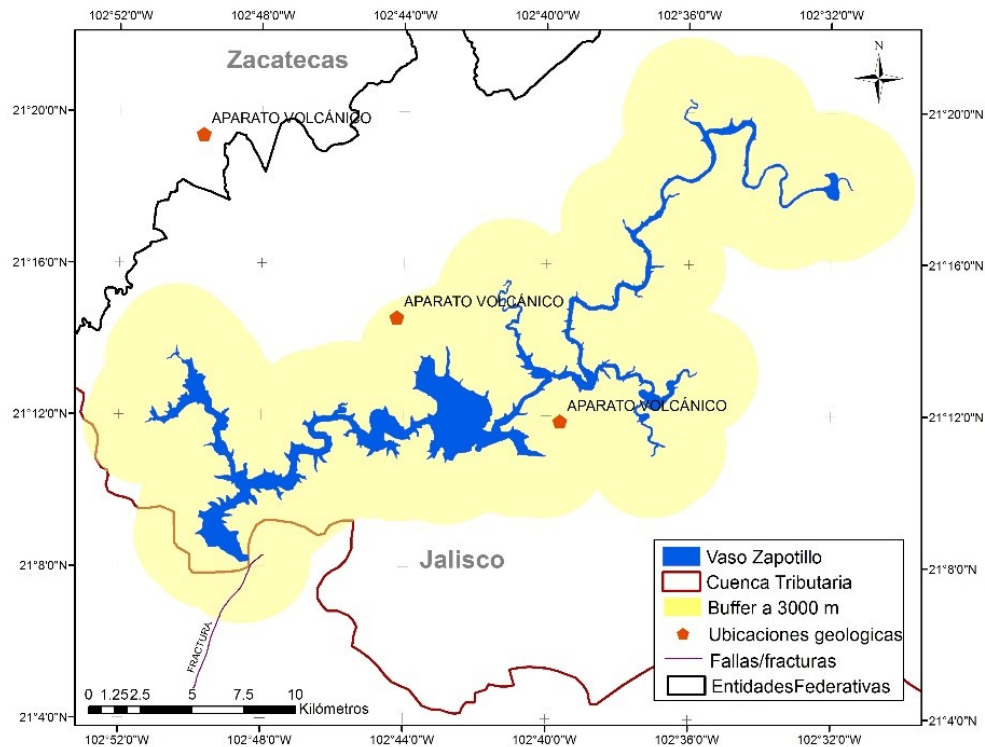


Figura 3.10 Geomorfología de la zona

3.2.4. Estratigrafía

En el área afloran rocas de origen ígneo extrusiva, caliza-limolita, limolita-arsénica. Las primeras están constituidas por derrames de lavas, escorias, aglomerados, tobas y flujos de tobas soldadas, cuyas composiciones varían desde ácidas hasta básicas; sistema Neógeno y Cuaternario de la Era del Cenozoico.

Las rocas sedimentarias de origen marino y las rocas ígneas intrusivas ácidas del cretácico, que afloran en esta provincia, fueron cubiertas por derrames volcánicos y productos piroclásticos del Terciario. De esta misma edad, son algunos cuerpos de rocas ígneas intrusivas básicas, así como las rocas sedimentarias (areniscas y conglomerados). Las rocas más recientes son del Cuaternario y están constituidos por areniscas, conglomerados y depósitos aluviales, y algunos derrames de basalto. Ubicando el área de influencia en la escala del tiempo geológico, se reconocieron dos tipos de rocas ígneas, registrándose basaltos y toba riolítica.

Basalto (B) es una roca de granos finos, que se cristaliza a partir de los magmas máficos (45% a 52% de sílice). La mayor parte se encuentra constituida por plagioclasa rica en calcio y piroxeno, con cantidades menores de olivino. Como

contienen gran proporción de silicatos ferromagnesianos es de color oscuro. El basalto es roca ígnea extrusiva siendo la más común en la corteza continental. Son las rocas efusivas más extendidas y, por lo general pueden presentarse en estructuras masivas o bien en lajas.

Toba riolítica. Una de las rocas piroclásticas más comunes, denominada toba, se compone fundamentalmente de diminutos fragmentos del tamaño de cenizas que se cementaron después de su caída (Figura 3.11).

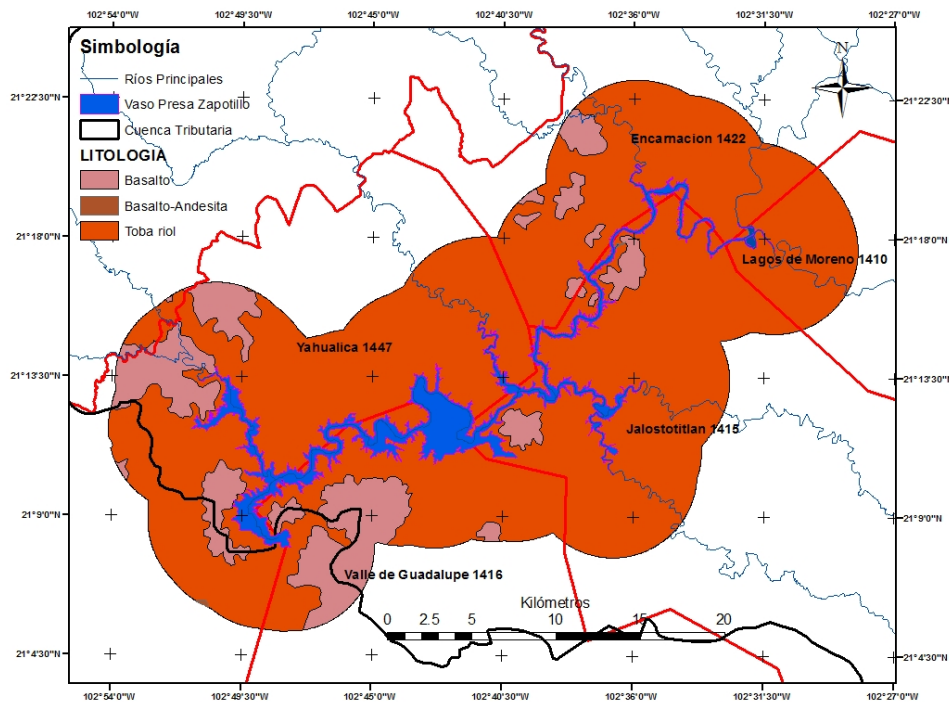


Figura 3.11 Geología de la zona

3.2.5. Geología histórica

La evolución geológica de la Provincia está ligada con los movimientos de las placas y subplacas oceánicas y continentales. De hecho, para A. Demant (1979), la edad Plio-Cuaternaria de las rocas que la conforman, y su composición primordialmente básica, determina que el vulcanismo de la provincia está relacionado con el movimiento relativo existente entre las placas Caribeña y Norteamericana, que se inició a partir del Oligoceno Temprano y cuyos límites están dados por la falla de transformación Polochic-Motagua, que observa una dirección en sus trazas SW-NE. Este movimiento relativo de la placa Norteamericana al oeste y la de Cocos al este

originó la Fosa de Acapulco, con un ángulo débil y orientación oblicua en México y con mayor inclinación y perpendicular a la Placa Caribeña en América Central, ocurriendo el cambio de rotación de la placa de Cocos durante el Mioceno Tardío, edad en la que se inició el desplazamiento relativo entre las placas Norteamericana y del Caribe y en consecuencia también la separación de América Central del Sur de México, lo que originó posteriormente a la Provincia del Eje Neovolcánico.

3.2.6. Geología estructural

La mayoría de las opiniones sobre los orígenes de la provincia del Eje Neovolcánico, convergen en que se originó por la interacción de placas y subplacas, que dieron lugar al vulcanismo y características estructurales de ella. En base a fotografías de satélite M. Tardy (1980), elaboró un plano en el que se observa de manera simplificada la geología de la provincia, considerándose en los afloramientos de las rocas predominantes, los alineamientos estructurales y aparatos volcánicos existentes.

En dicho plano se ilustra, también la geología circundante de la provincia, observándose el predominio de rocas de composición y edades definidas en cada una de las provincias geológicas que rodean a la del Eje Neovolcánico; predominancia que es consecuencia de la particular evolución geológica de cada una de ellas, la que determinó; en la provincia del Eje Neovolcánico en cuyo extremo centro-sur se ubica el área estudiada, afloran rocas de composición basáltica y andesítica y edades del Plio-Cuaternario, que son las que las caracterizan, pero también existen de composición riolítica de igual edad como las que conforman el Domo La Primavera, así como de carácter ignimbrítico pero edades Mio-Pliocénicas, las que se encuentran ampliamente distribuidas en la provincia.

Las estructuras geológicas que constituyen el principal sistema de discontinuidades en la zona de la boquilla, son la pseudoestratificación horizontal y el fracturamiento columnar. Por lo que respecta a las fallas geológicas, solo se ha inferido la existencia de una sobre la margen izquierda y otra un poco alejada en la margen derecha.

3.3. Hidrología

3.3.1. Hidrometría

Los datos hidrométricos se obtuvieron del BANDAS 2013 del sitio web de CONAGUA, esta base de datos concentra la información de las estaciones hidrométricas que contienen los gastos y volúmenes aforados de los principales ríos del país. Se tomaron los gastos medios mensuales registrados hasta diciembre del 2011.

En la Tabla 3.1 se muestran las estaciones hidrométricas ubicadas en el área de aportación.

Tabla 3.1 Estaciones hidrométricas (EH) localizadas en la zona

Clave EH	Estación	Inicio registro	Fin registro	Años con información	Años sin información	% con información con respecto al periodo 1945-2013
12378	Presa Calles	1942	2011	48	21	70%
12370	San Gaspar	1941	2010	66	3	96%
12422	Cuarenta II	1965	2011	29	40	42%
12476	Km. 0+340	1951	2009	57	12	83%
12358	Ajojúcar	1939	2011	63	6	91%
12425	Ajojúcar	1943	2011	64	5	93%
12504	La Cuña	1947	2011	60	9	87%
12472	Arcediano	1951	2007	53	16	77%
12400	Las Juntas	1951	1999	39	30	57%
12128	Corona	1926	2011	63	6	91%
12288	Zapotlanejo	1933	2011	59	8	88%
12730 12749	Atequiza I y II	1933	2006	2	51	74%

En la Figura 3.12 se muestra la distribución espacial de las estaciones hidrométricas.

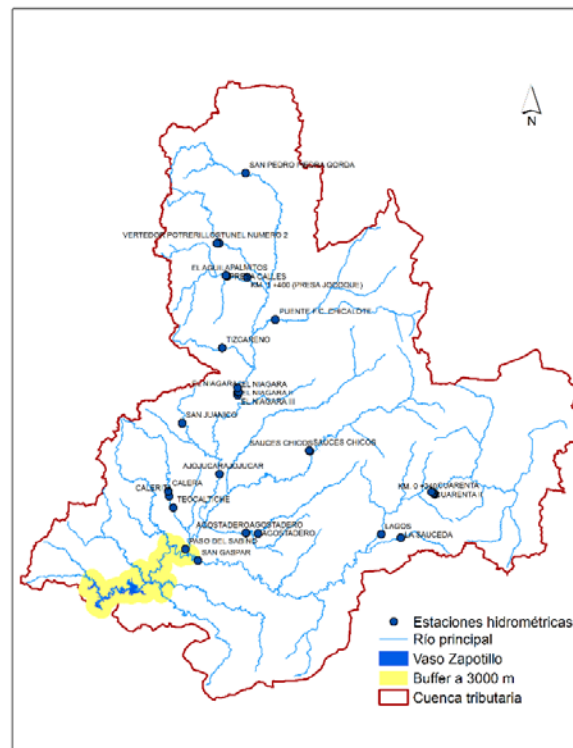


Figura 3.12 Estaciones hidrométricas

3.3.2. Presas de almacenamiento

Existen siete presas de almacenamiento localizadas en la zona de aportación de la presa El Zapotillo (Tabla 3.2). Consultada la base de datos del Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS, 2013) de la CONAGUA se obtuvo la siguiente información:

Tabla 3.2 Presas dentro de la cuenca de aportación

No.	Nombre Presa	Clave	Estado
1	El Jocoqui	552JCO	Aguascalientes
2	Cincuenta Aniversario	062CTA	Aguascalientes
3	Elías Calles	055CLL	Aguascalientes
4	Abelardo Rodríguez	006ABR	Aguascalientes
5	El Niágara	110NIA	Aguascalientes
6	El Cuarenta	080CRT	Jalisco
7	El Estribón	102EST	Jalisco

A continuación, se describen las principales características de las presas.

1. Presa El Jocoqui

Esta presa se localiza en el municipio de Rincón de Romos, Aguascalientes, su principal función es la de derivar las aguas extraídas de la presa Elías Calles hacia la zona de riego de la cuenca Río San Pedro, la capacidad del vaso es de 10.0 hm³.

2. Presa Cincuenta Aniversario

Esta presa se localiza en la cuenca Presa Calles y recibe las importaciones provenientes de la derivadora Potrerillos. Se localiza en el municipio de San José de Gracia, Aguascalientes; tiene una capacidad total de 5.0 hm³ y un volumen útil de 3.1 hm³.

3. Presa Elías Calles

Esta presa representa el punto de salida de la cuenca denominada Presa Calles, se localiza en el municipio de San José de Gracia, Aguascalientes; tiene una capacidad total de 340 hm³ y un volumen útil de 338.9 hm³, en la presa se almacenan en promedio 79.488 hm³.

4. Presa Abelardo Rodríguez

Esta presa se localiza en el municipio de Jesús María, Aguascalientes, dentro de la cuenca Presa El Niágara, tiene una capacidad total de 18.82 hm³ y un volumen útil de 16.0 hm³.

5. Presa El Niágara

Esta presa se localiza en Aguascalientes, Aguascalientes, y representa el punto de salida de la cuenca Presa El Niágara, tiene una capacidad total de 31.0 hm³ y un volumen útil de 12.8 hm³.

6. Presa El Cuarenta

Esta presa representa el punto de salida de la cuenca Presa El Cuarenta, se localiza en el municipio Lagos de Moreno, Jalisco, tiene una capacidad total de 30.625 hm³.

7. Presa El Estribón

Esta presa se localiza en el municipio de Yahualica de González, Jalisco, dentro de la cuenca Río Verde 1, con una capacidad total de 7.0 hm³.

Las principales características de cada una de las presas antes señaladas se presentan a continuación, Tabla 3.3:

Tabla 3.3 Características de las presas

No.	Nombre Presa	Clave	Estado	Latitud	Longitud	Corriente principal	Año fin
1	El Jocoqui	552JCO	Aguascalientes	22.1208	102.3583	R. Santiago	1929
2	Cincuenta Aniversario	062CTA	Aguascalientes	22.1917	102.4667	R. Blanco	
3	Elías Calles	055CLL	Aguascalientes	22.1408	102.4173	R. Santiago y R. Pabellón	1931
4	Abelardo Rodríguez	006ABR	Aguascalientes	21.9203	102.4247	R. Morcinique	1934
5	El Niágara	110NIA	Aguascalientes	21.7789	102.3694	R. San Pedro o Aguascalientes	1963
6	El Cuarenta	080CRT	Jalisco	21.4969	101.7375	R. De Lagos	1949
7	El Estribón	102EST	Jalisco	21.1833	102.9019	R. Yahualica	1946

No.	Nombre Presa	Cap. tot hm ³	Cap. útil hm ³	Uso	Sup. riego ha	Operador
1	El Jocoqui	10.0000		Derivadora	-	CONAGUA
2	Cincuenta Aniversario	5.0400	3.1000	Riego	-	
3	Elías Calles	340.1040	338.9000	Riego y Control de avenidas	-	CONAGUA
4	Abelardo Rodríguez	18.8200	15.9960	Riego y Abrevadero	750	CONAGUA
5	El Niágara	31.0000	12.8000	Riego	1,750	CONAGUA
6	El Cuarenta	30.6250	29.625	Riego	2,887	CONAGUA
7	El Estribón	6.4000		Riego	808	DDR_13

No.	Nombre Presa	Dimensiones de la cortina			Elevaciones		
		Altura m	Longitud m	Ancho m	NAME msnm	NAMO msnm	NAMIN msnm
1	El Jocoqui	44.00					
2	Cincuenta Aniversario	33.50	115.00		2,088.000	2,086.000	70.300
3	Elías Calles	67.00	280.00	3.00	2,022.000		
4	Abelardo Rodríguez	20.00	103.00	2.13	1,889.700	1,888.880	1,866.350
5	El Niágara	31.50	193.00	3.00	1,832.400	1,828.000	1,820.600
6	El Cuarenta		42.00	482.00	10.00	2,001.950	
7	El Estribón	20.50	338.00	6.00	1,881.410	1,880.000	1,865.200

3.3.3. Uso de suelo

Considerando el área de aportación aguas arriba del vaso de la presa, se identificaron los usos de suelo. En la Figura 3.13 y Figura 3.14 se puede observar que la mayor parte del territorio se utiliza para la agricultura y los pastizales, ocupando el 77% del total. En esta zona de estudio se observa que la superficie para los asentamientos humanos es tan solo del 1.5% (Tabla 3.4).

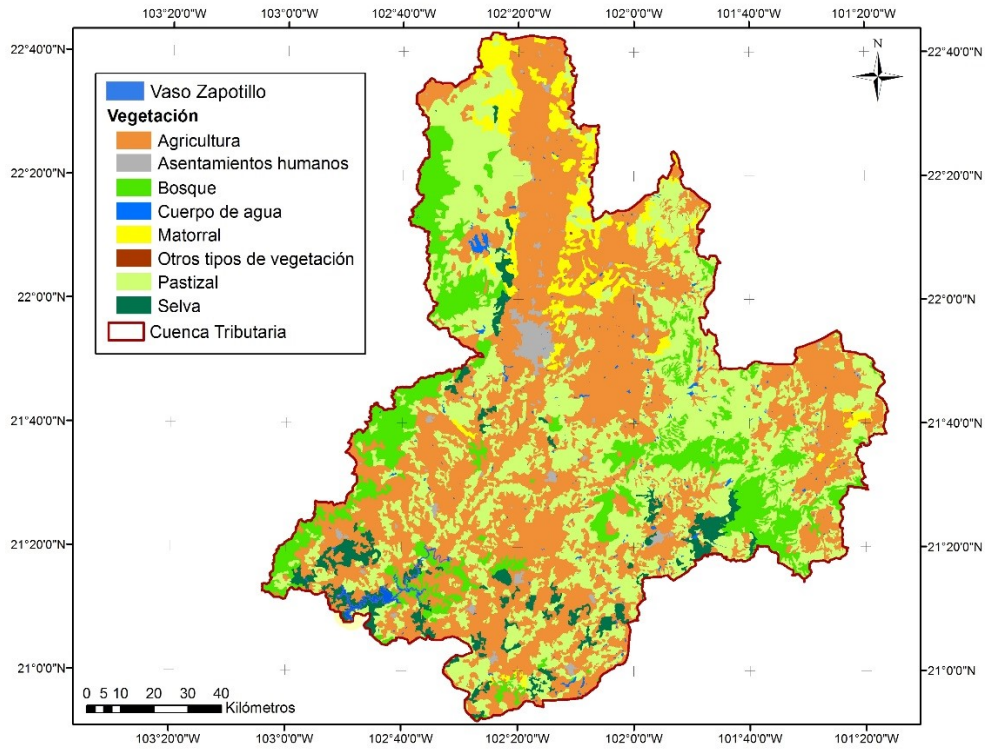


Figura 3.13 Mapa de uso de suelo del área de aportación

Tabla 3.4 Área por uso de suelo

No.	Uso	Área (km ²)	%
1	Agricultura	7,951.74	43.73
2	Asentamientos humanos o zona urbana	273.26	1.50
3	Bosque	2,245.24	12.35
4	Cuerpo de agua	109.22	0.60
5	Matorral	828.22	4.56
6	Otros tipos de vegetación	0.61	0.00
7	Pastizal	6,058.39	33.32
8	Selva	715.24	3.93
Total		18,181.93	100



Figura 3.14 Distribución de los diferentes usos de suelo, en porcentaje

Cerca del vaso, el uso agrícola en la zona es mayor respecto al resto de los usos, Figura 3.15 y Tabla 3.5.

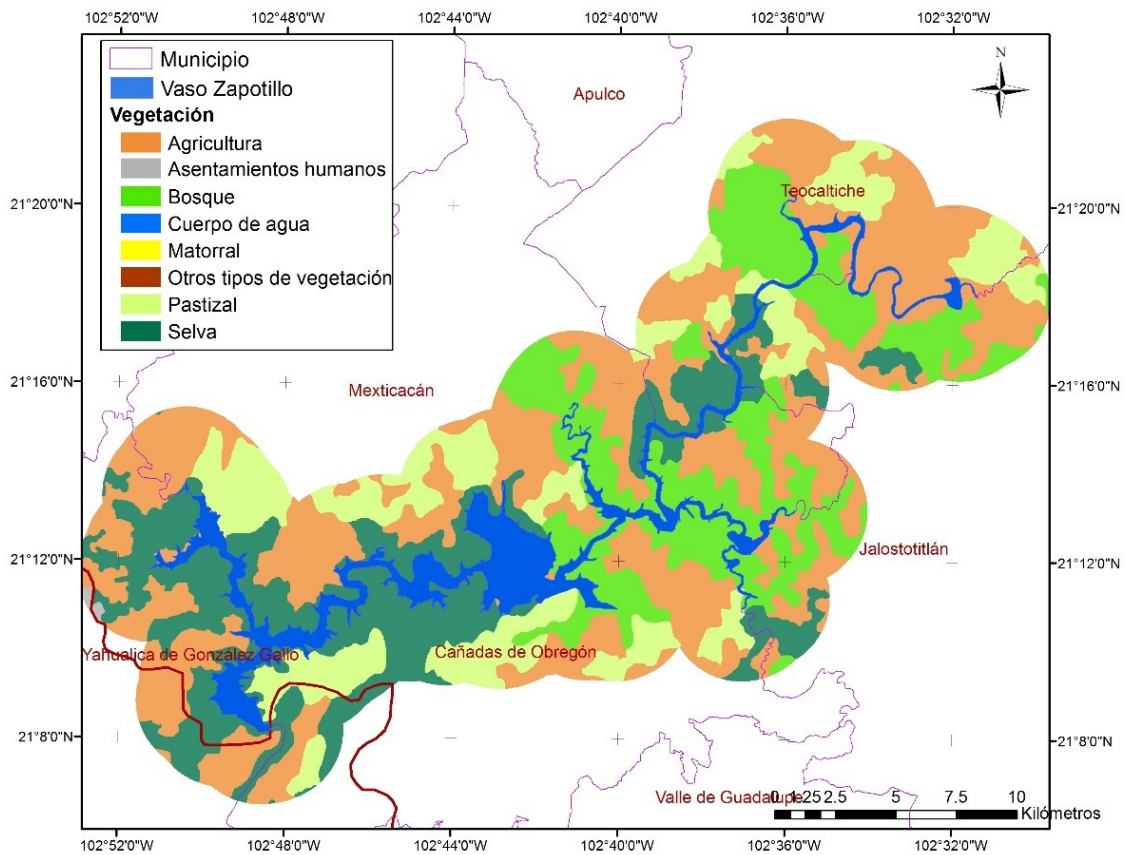


Figura 3.15 Mapa de uso de suelo dentro del buffer de trabajo

Tabla 3.5 Área por uso de suelo considerando el buffer

No.	Uso	Área (km ²)	%
1	Agricultura	202.08	39.45
2	Asentamientos humanos o zona urbana	0.63	0.12
3	Bosque	101.11	19.74
4	Cuerpo de agua		-
5	Matorral		-
6	Otros tipos de vegetación		-
7	Pastizal	85.13	16.62
8	Selva	123.24	24.06
	Total	512.19	100.00

3.3.4. Tipo de suelo

En la Figura 3.16 y Figura 3.17 se puede visualizar los tipos de suelo en la cuenca de aportación de la presa El Zapotillo.

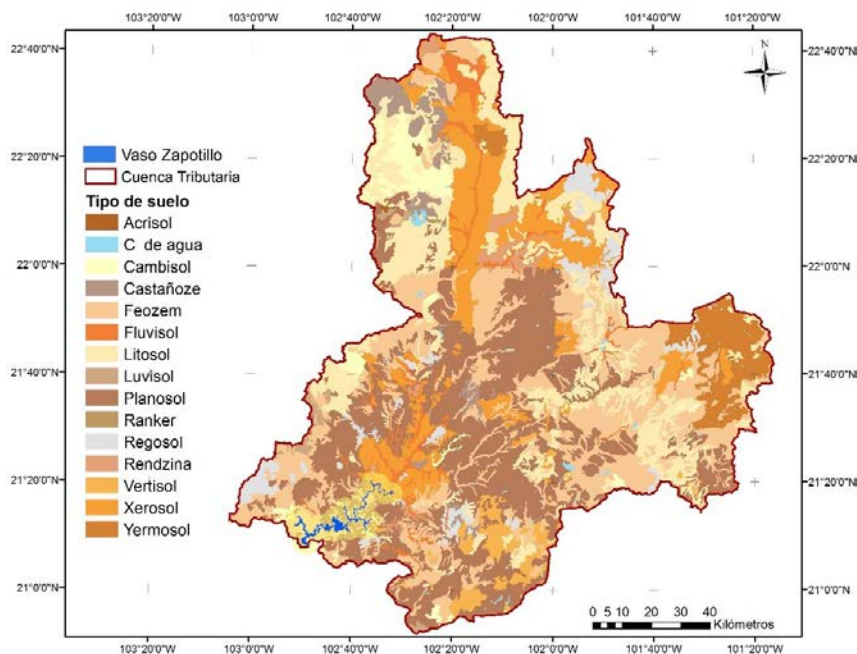


Figura 3.16 Mapa de tipo de suelo del área de aportación

Para el caso de tipo de suelo se puede observar en la Tabla 3.6 que en la zona existen tipos de suelo clasificación B, C y D.

Tabla 3.6 Área por tipo de suelo

Tipo de suelo	B	C	D	Total
Acrisol		6.61		6.61
C de agua			110.05	110.05
Cambisol		562.17		562.17
Castañoze		442.46		442.46
Feozem		4,151.12		4,151.12
Fluvisol	564.93			564.93
Litosol			3,033.08	3,033.08
Luvisol		110.05	23.74	133.79
Planosol			4,792.66	4,792.66
Ranker	10.17			10.17
Regosol	674.50			674.50
Rendzina		287.23		287.23
Vertisol		136.81	321.18	458.00
Xerosol		1,153.06	1,020.22	2,173.28
Yermosol		701.83	80.04	781.87
Total	1,249.60	7,551.34	9,380.98	18,181.93
%	6.87	41.53	51.60	100.00

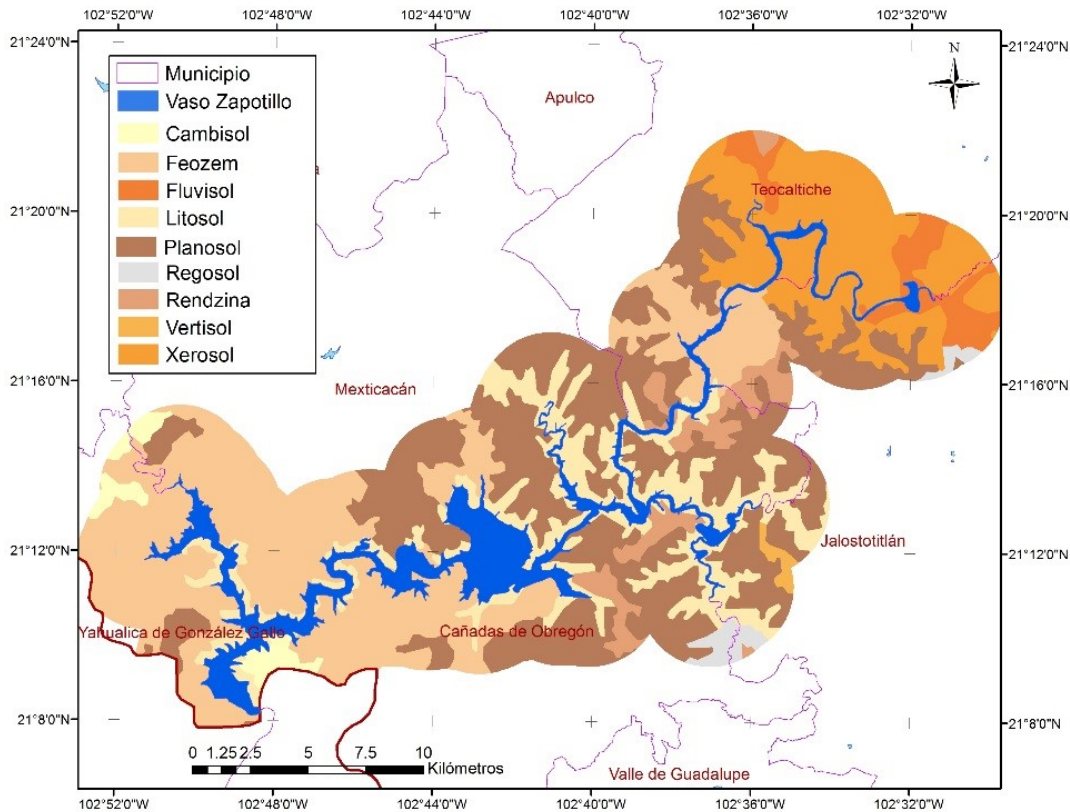


Figura 3.17 Mapa de tipo de suelo dentro del buffer de trabajo

Feozem (H) (Del griego. *Phaios*, negruzco y de la palabra rusa *Zemlja*, tierra). Son suelos que se encuentran en varias condiciones climáticas, desde zonas semiáridas hasta templadas o tropicales muy lluviosas, así como diversos tipos de terrenos, desde planos hasta montañosos; pueden presentar casi cualquier tipo de vegetación en condiciones naturales. Su característica principal es una capa superficial oscura, suave, rica en materia orgánica y en nutrientes. Los Feozems son suelos abundantes en nuestro país y los usos que se le dan son variados, en función del clima, relieve y algunas condiciones de suelo. Muchos Feozems profundos y situados en terrenos planos se utilizan en agricultura de riego o de temporal, de granos, legumbres u hortalizas, con altos rendimientos. Otros menos profundos, o aquellos que se presentan en laderas y pendientes tienen rendimientos más bajos y se erosionan con mucha facilidad. Sin embargo, pueden utilizarse en el pastoreo o la ganadería con resultados aceptables, es decir el uso óptimo de estos suelos, depende mucho del tipo de terreno y las posibilidades de obtener agua.

Estos suelos tienen una fertilidad natural moderada, los contenidos de materia orgánica son pobres en la superficie y disminuyen con la profundidad, el pH es ácido

lo cual indica un fuerte lavado de bases intercambiables, posiblemente estas tierras tengan problemas de falta de fósforo. Feozem háplico: tienen un horizonte A mólico. Esta unidad representa el 48.4% del área de influencia.

Litosol (I) (Del griego *Lithos*; piedra. Literalmente: suelo de piedra). Son suelos que se encuentran en todos los climas y con muy diversos tipos de vegetación. Se caracterizan por tener una profundidad menor de 10 cm hasta la roca, tepetate o caliche duro. Se localizan en todas las sierras de México en mayor o menor proporción, en laderas, barrancas, malpaís, así como en lomeríos y algunos terrenos planos. Tienen características muy variables, en función del material que los forma. Pueden ser fértiles o infértiles, arenosos o arcillosos. Su susceptibilidad a erosionarse depende de la zona en donde se encuentran, de la topografía y del mismo suelo, y pueden ser desde moderada hasta muy alta. El uso de estos suelos depende principalmente de la vegetación que los cubre. En bosques y selvas su utilización es forestal; en aquéllos que presentan pastizales o matorrales se puede llevar a cabo algún tipo de pastoreo más o menos limitado, y en algunos casos se utilizan con rendimientos variables para la agricultura, sobre todo de frutales, café y nopal. Este uso agrícola se halla limitado por la presencia de suficiente agua y por el peligro de erosión que siempre existe.

Planosol (W) (Del latín *Planus*; plano, llano. Literalmente, suelo plano). Estos suelos generalmente se presentan en climas semiáridos en nuestro país su vegetación natural es pastizal. Se caracterizan por presentar, debajo de la capa más superficial, una capa más o menos delgada de un material claro que es siempre menos arcilloso que las capas que cubren y lo subyacen. Esta capa es infértil y ácida y a veces impide el paso de las raíces. Debajo de la capa mencionada se presenta un subsuelo muy arcilloso e impermeable, o bien, roca o tepetate, también impermeables. En México estos suelos se utilizan con rendimientos moderados en la ganadería de bovinos, ovinos y caprinos en el Centro y Norte del país. En ocasiones se utilizan también para la agricultura, con rendimientos variables en función de tipo de capa superficial. Son muy susceptibles a la erosión, sobre todo de las capas más superficiales que descansan sobre la arcilla o tepetate impermeables. Al presentar la subunidad Eútrico, (del griego: *Eu*; bueno), nos indica que son suelos fértiles y favorables hasta cierto punto para la agricultura. Planosol eútrico: Tienen un horizonte A ótrico y una saturación de base de 50% o más en todo el horizonte lentamente permeable, pero con menos de 6% de sodio intercambiable en el mismo. Representa el 20.7% del área de influencia.

Xerosol (X) (del griego *Xaros*; seco. Literalmente suelo seco). Estos suelos se localizan en las zonas áridas y semiáridas del Centro y Norte de México. Su vegetación natural es de matorrales y pastizales. Se caracterizan por tener una capa superficial de color claro y muy pobre en humus. Debajo de ella puede haber un subsuelo rico en arcillas, o bien muy semejante a la capa superficial. Muchas veces

presentan a cierta profundidad manchas, polvo o aglomeraciones de cal, y cristales de yeso, o caliche, de mayor o menor dureza. En agricultura de riego se cultiva algodón y granos, así como de vid, es de rendimientos altos, debido a su falta de fertilidad. Los xerosoles son suelos con baja susceptibilidad a la erosión, salvo cuando están en pendientes y sobre caliche o tepetate, en donde sí presentan este problema. En el área de estudio se presenta la subunidad Háplico (del griego *Haplos*; simple). No presentan acumulación de arcilla en el subsuelo, ni acumulación de yeso o cal en el mismo. Xerosol háplico: no tienen más horizontes de diagnóstico que un horizonte A ócrico débil y un horizonte B cámbico. Se encuentra en el 3.6% del área de influencia. Xerosol lúvico: Tienen un horizonte B argílico, puede estar presente un horizonte cálcico o gypsic. Esta unidad representa el 26.7% del área de influencia.

3.3.5. Usos del agua

En cuanto a los usos de agua en la cuenca de aportación, se cuenta con la base de datos REPDA, en la cual se observa que el sector agrícola son los que más utilizan el agua, con 75.37% (Figura 3.18 y Tabla 3.7).

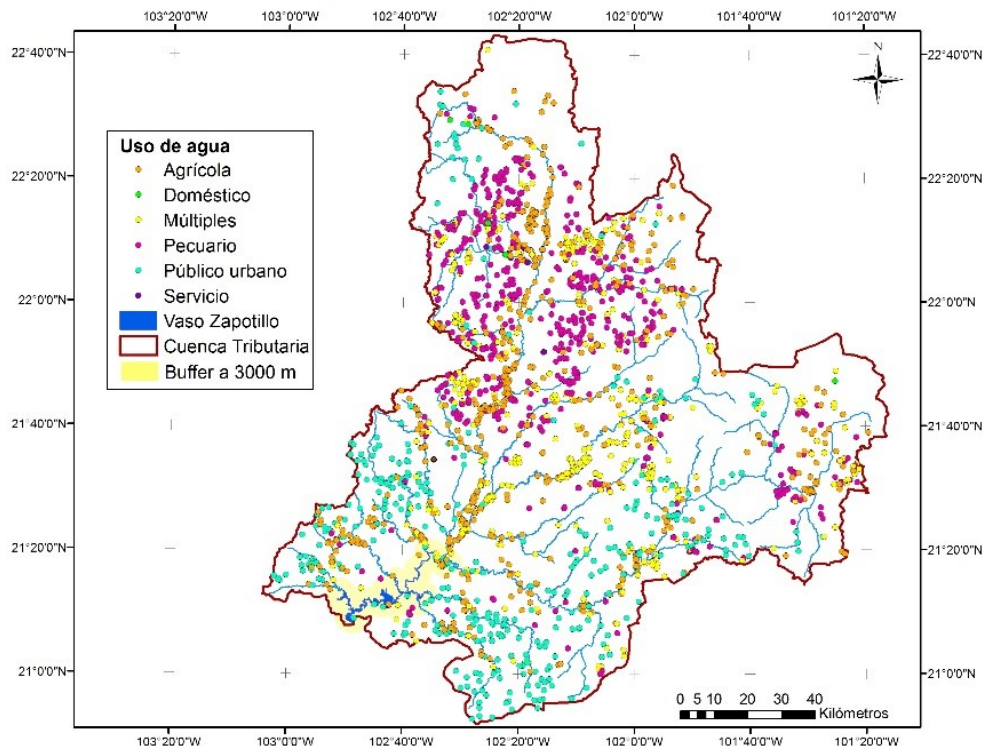


Figura 3.18 Mapa de usos de agua

Tabla 3.7 Área de usos de agua

Uso	Volumen (hm ³)	%
Pecuario	5.66	3.5
Servicio	1.97	1.09
Múltiples	34.02	18.89
Agrícola	135.72	75.37
Público urbano	2.63	1.46
Doméstico	0.06	0.03
Otro	0.01	0.00
Total	180.06	100.00

3.4. Climatología

Los tipos de climas que prevalecen en el área de estudio de acuerdo a la clasificación climática de Köppen, modificado por García (1973), son los siguientes: semicálido húmedo con lluvias de verano, semicálido subhúmedo con lluvias de verano, templado subhúmedo con lluvias de verano y clima seco.

3.4.1. Precipitación

En la Figura 3.19 se puede visualizar que la parte alta de la cuenca se presentan valores bajos de precipitación, y en la zona cercana al vaso, precipitaciones cercanas a los 400 mm anual; precipitaciones de 40 mm en el mes más seco, y un porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.

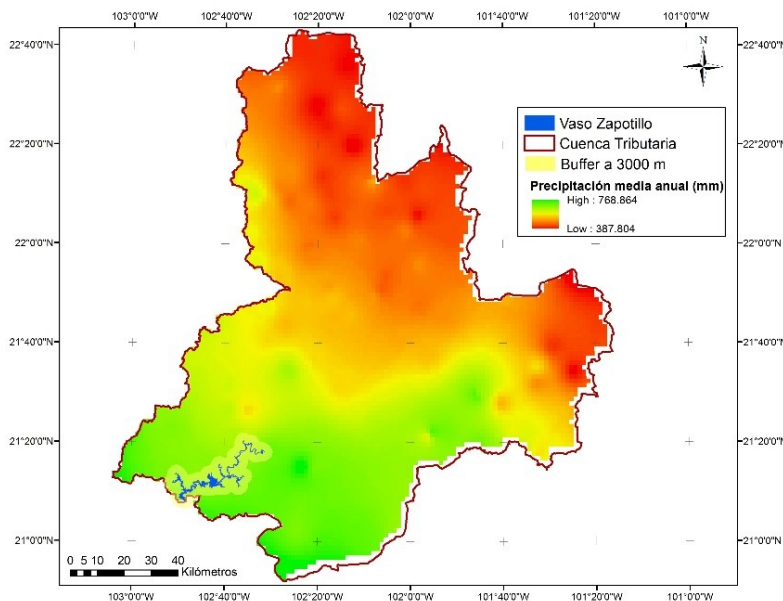


Figura 3.19 Mapa de precipitación

3.4.2. Temperatura

El clima en la zona en cuanto a temperatura se caracteriza por ser semicálido subhúmedo del grupo C, presentando una temperatura media anual cercana a los 18°C, reportando en el mes más cálido temperaturas mayores a los 22°C (Figura 3.20).

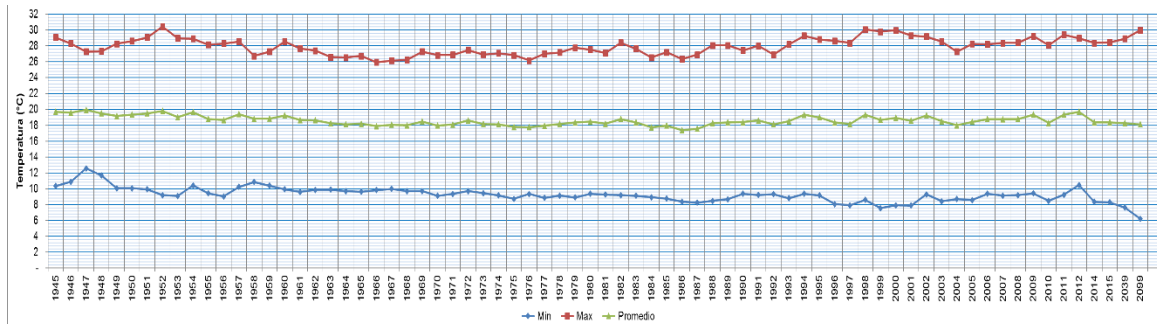


Figura 3.20 Temperatura máxima, mínima y media anual

3.4.3. Evaporación

Como ya se mencionó, existen en la zona de aportación siete presas importantes, así como pequeños cuerpos de agua distribuidos espacialmente, con información registrada de estos cuerpos de agua de origen antropogénico y natural, se estimó la evaporación generada (Figura 3.21).

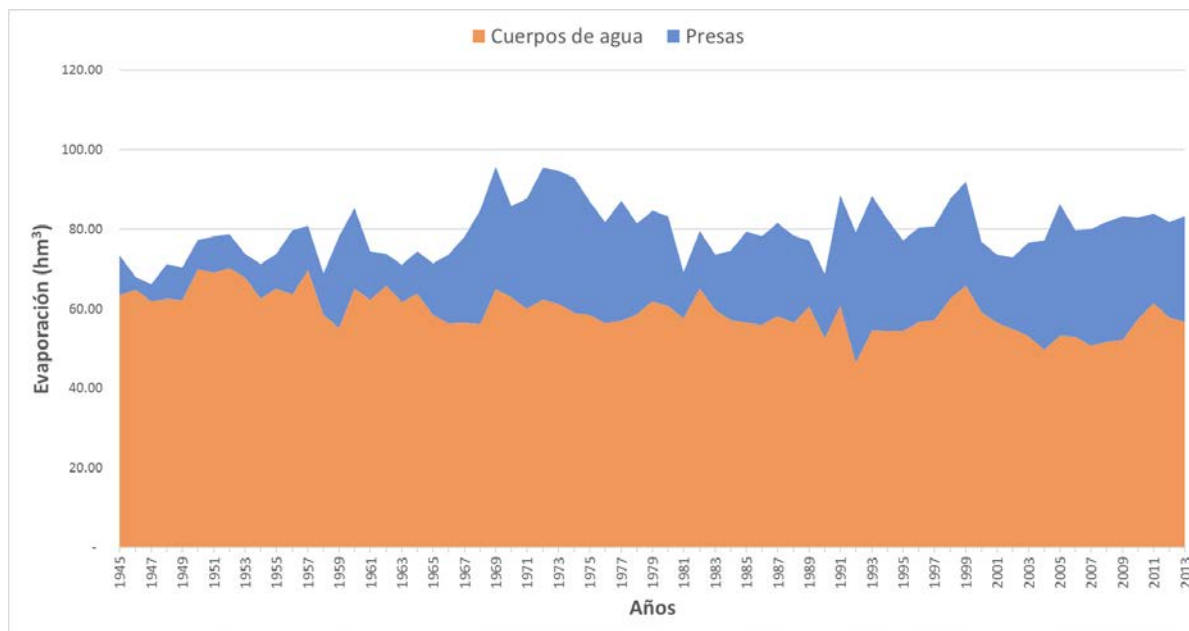


Figura 3.21 Evaporación de cuerpos de agua en la cuenca de aportación

Tomando en cuenta los registros históricos de evaporación anual de las presas, considerando un periodo de 1945 a 2013, se tiene un promedio de 20.2 hm³, en el caso de los cuerpos de agua se tiene un promedio de 59.4 hm³.

En la Figura 3.22, se puede observar que la mayoría de las presas se localizan en la parte alta del área de aportación.

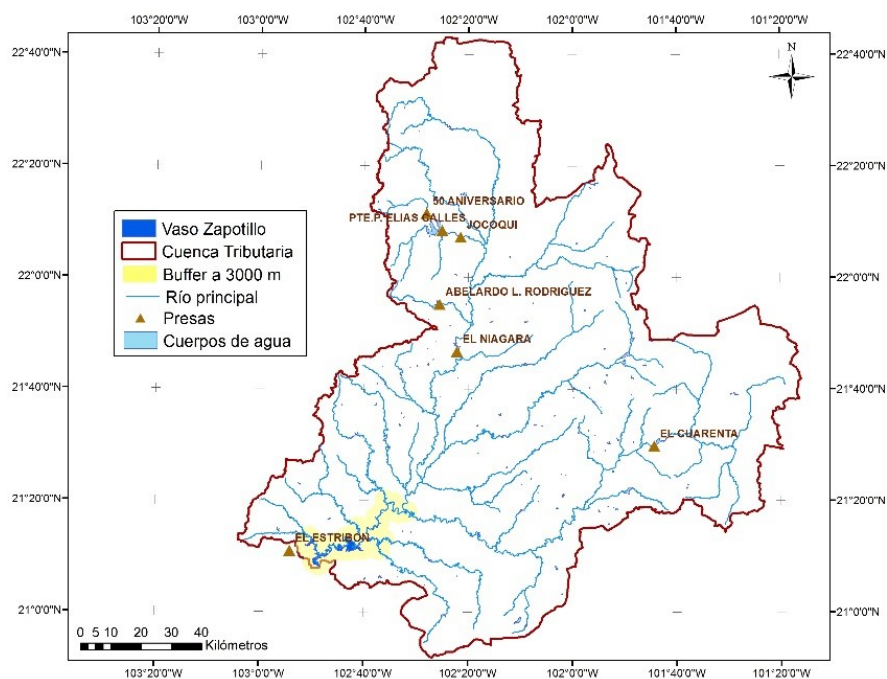


Figura 3.22 Localización de presas y cuerpos de agua

4. GEOLOGÍA DEL SUBSUELO Y GEOFÍSICA

Dentro del área de estudio y partiendo de un buffer de 5 km a todo lo largo del área de embalse de la presa El Zapotillo se realizó la identificación y localización de los sitios donde se realizó los estudios de geofísica (

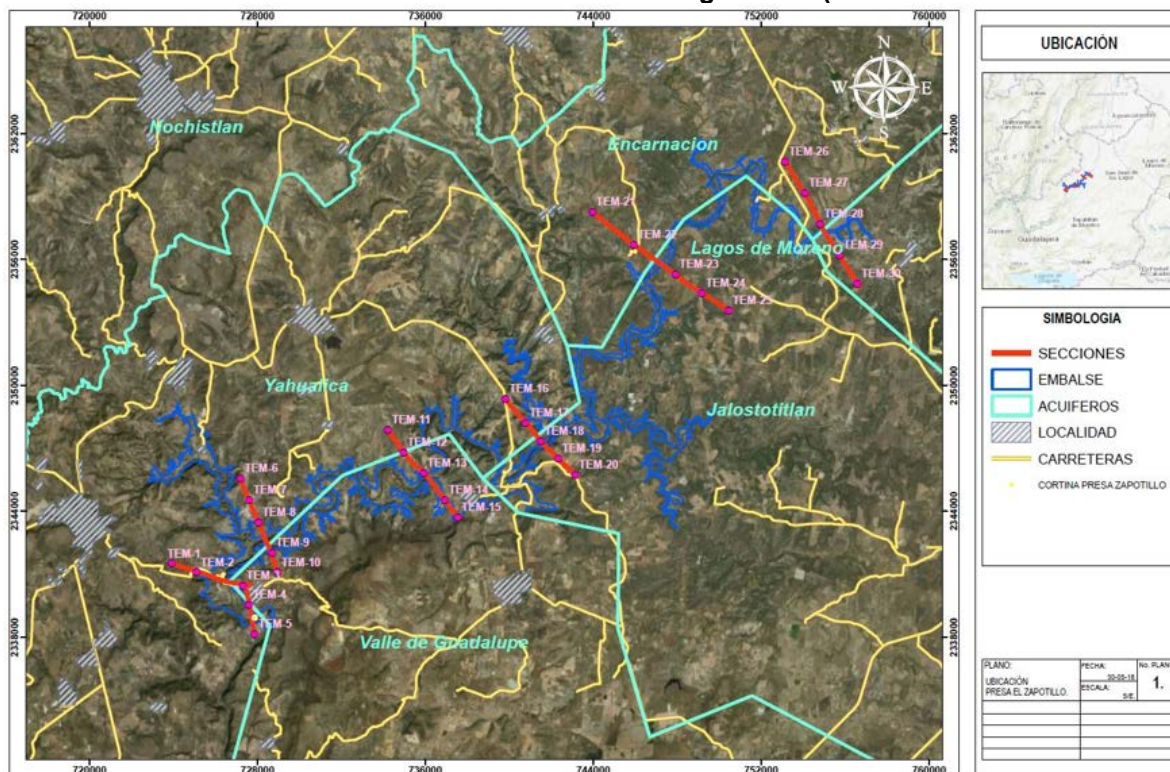


Figura 4.1).

Para evaluar las condiciones que se presentan en el subsuelo se propuso realizar sondeos geofísicos aplicando la técnica de sondeo electromagnético en el dominio del tiempo (TEM), para identificar rasgos geológicos y el comportamiento a nivel regional de las capas del subsuelo a una profundidad de investigación del orden de los 300 m.

La combinación de los métodos indirectos y directos de exploración, permitió conocer la secuencia de materiales (secuencia estratigráfica) en la zona de estudio, así como su distribución lateral y vertical, hasta una profundidad del orden de los 300 metros y la caracterización en términos del potencial productor probable.

También es necesario aclarar que la extensión y distribución de los puntos de medición fueron precisadas y ajustadas en campo.

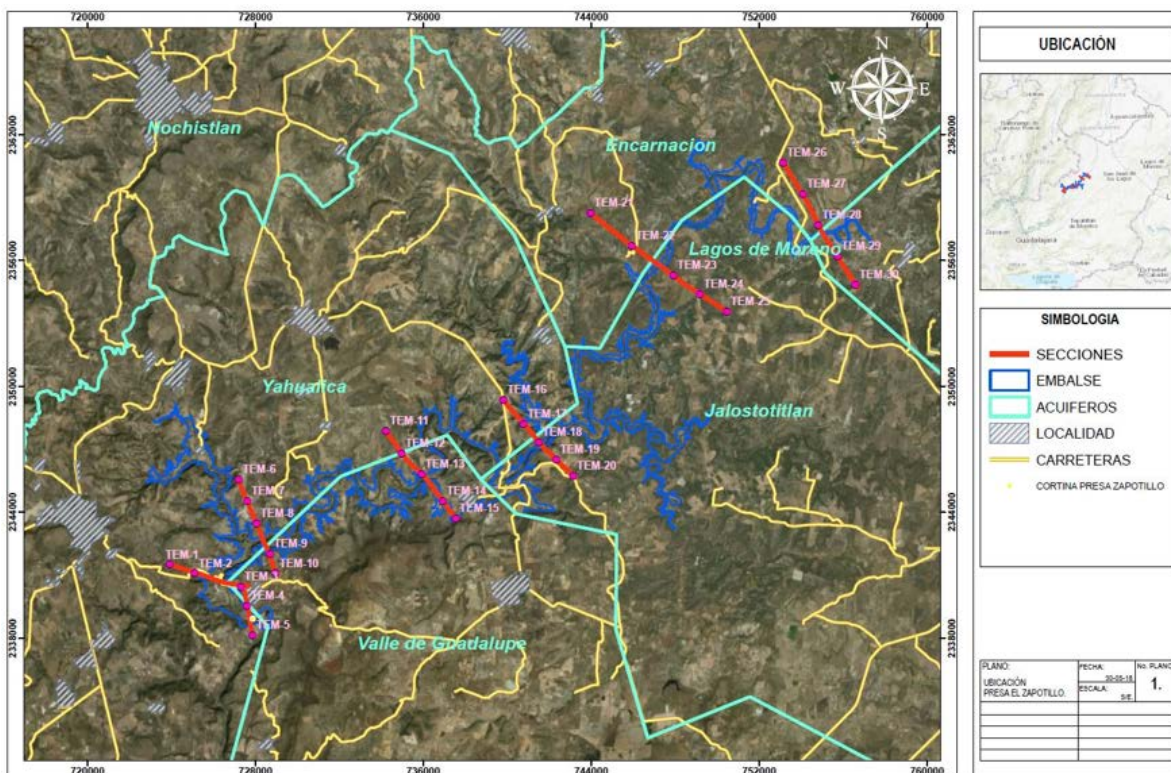


Figura 4.1 Localización de los sitios para los sondeos geofísicos

4.1. Geología del subsuelo

4.1.1. Fisiografía

De acuerdo con las regiones definidas por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2018a) para la República Mexicana, el área de estudio se localiza dentro de la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico, exactamente en la Subprovincia Altos de Jalisco, como se identifica en la Figura 3.8.

La mayor parte de esta subprovincia queda dentro del estado de Jalisco, aunque pequeñas porciones de ella pertenecen a los estados de Zacatecas, Aguascalientes y una porción mayor en Guanajuato. Abarca los municipios de: Acatic, Arandas, Cuquío, Jesús María, Jalostotitlán, San Julián, San Miguel el Alto, San Juan de los Lagos, Tepatitlán de Morelos, Unión de San Antonio, Valle de Guadalupe, Cañadas

de Obregón y parte de los municipios de Atotonilco El Alto, Encarnación de Díaz, Degollado, Ixtlahuacán del Río, Lagos de Moreno, Mexxicacán, Villa Hidalgo, Yahualica de González Gallo y Zapotlanejo.

En cuanto a los aspectos de relieve, esta subprovincia es caracterizada por amplias mesetas de origen volcánico; presenta mayor densidad de topofomas degradativas, generadas por disección hídrica y abundancia de valles profundos a los cañones de la Sierra Madre Occidental.

Las unidades hidrogeomorfológicas que se encuentran en el área donde se localizará el embalse y aguas abajo, son de lomeríos y piedemonte, con escasos afloramientos de roca, con ríos y arroyos de pendiente moderada y de planicie, con predominancia de suelos y escurrimiento lento o laminar.

4.1.2. Geomorfología

La morfología de la zona presenta una topografía con pendiente escarpada, producto de la actividad volcánica. Las efusiones volcánicas de composición basáltica, a través de estructuras fisúrales, constituyen algunas de las mayores elevaciones presentes en la región, entre ellas los cerros, Grande, El Caracol, El Capulín y Pelón, con altitudes de más de 2,000 msnm.

El sector E y SE de Los Altos es el dominio de los relieves tabulares elevados, formados sobre bloques del “plateau riolítico”, se trata de la altiplanicie de Tepatitlán (1,900 msnm), las mesetas de San Julián y Arandas, separadas por el valle del arroyo Jalpa y cuya altura es de 2,000 a 2,200 m.

La mitad N y NW de Los Altos geomorfológicamente es el dominio de las planicies formadas a expensas de la cuenca sedimentaria del río Aguas Calientes, río Belén o río Verde.

Esta cuenca limita al NW con la sierra de Nochistlán, al S y SE con el Altiplano de Tepatitlán y la meseta de San Julián. En esta zona el paisaje se caracteriza por los relieves planos, tabulares, fosilizados por derrames de basaltos geológicamente modernos y disecados por la erosión fluvial cuaternaria.

También se encuentran sierras alargadas rematadas por mesetas y valles de perfil suave o tipo terraza y por lomeríos producto de la erosión de antiguos pisos de valles elevados.

4.1.3. Geología Regional

Con el fin de situar en el marco geológico regional el territorio Noroeste de la región de los altos de Jalisco a continuación se presenta una breve síntesis de la geología regional de esta porción del estado.

En lo que se refiere al contexto geotectónico, la mayor parte de la región estudiada queda incluida en la unidad tectonoestratigráfica denominada Terreno Guerrero y en Eje Volcánico Transmexicano (Campa y Coney, 1983), ver Figura 4.2.



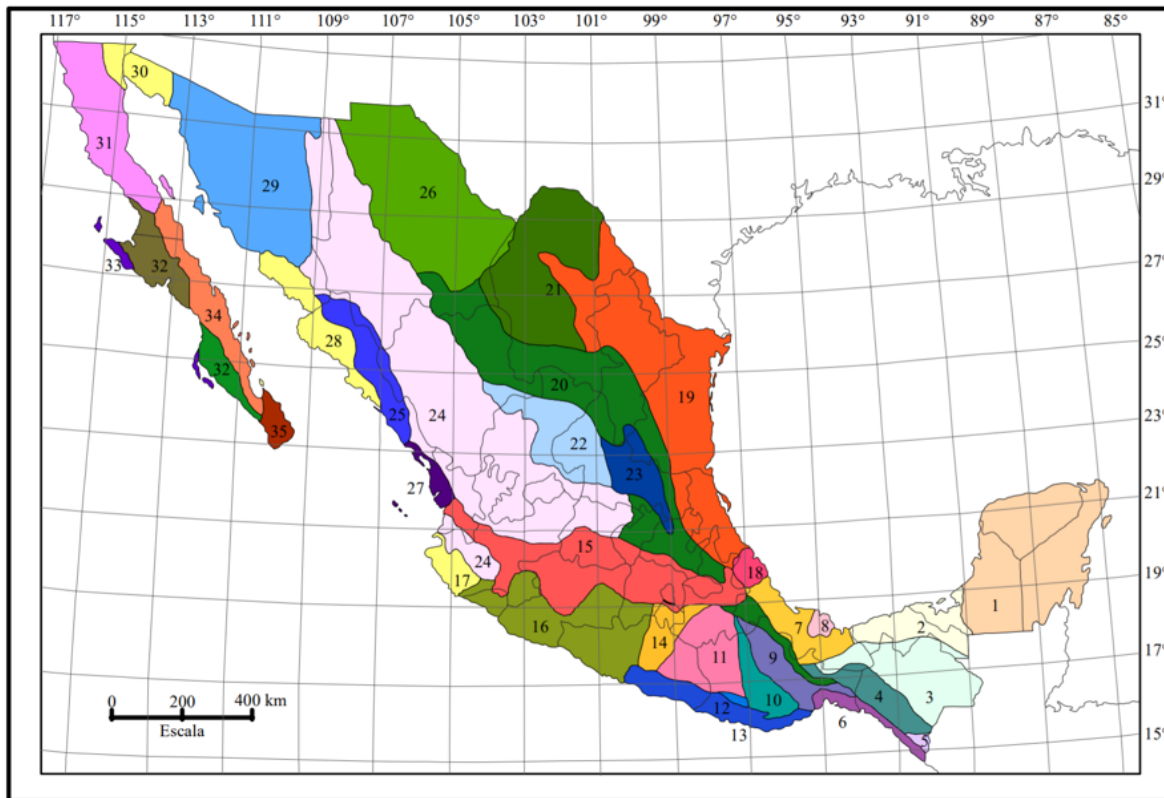
EXPLICACION

 CHIHUAHUA	 OAXACA
 CABORCA	 MIXTECA
 COAHUILA	 XOLAPA
 MAYA	 SONOBARI
 SIERRA MADRE	 RUSIAS
 ALISITOS	 VIZCAINO
 GUERRERO	 SIERRA MADRE OCCIDENTAL
 JUAREZ	 EJE VOLCANICO TRANSMEXICANO

Figura 4.2 Terrenos tectonoestratigráficos de México

En cuanto a provincias geológicas (Figura 4.3), la región estudiada se encuentra comprendida entre la provincia de la “Faja Volcánica Transmexicana” y “Faja Ignimbrítica Mexicana” (Ortega, 1991). La primera caracterizándose por presentar grandes derrames de rocas máficas como lo son basaltos, andesitas y tobas de la misma composición, mientras que la Faja Ignimbrítica Mexicana manifiesta potentes espesores de ignimbritas de composición acida intercalada con riolitas, tobas riolíticas y algunos derrames de basalto.

Las rocas predominantes en la zona aledaña a la presa El Zapotillo son de composición riolítica y básicamente corresponden a diferentes eventos de actividad volcánica, cuya edad varía del Terciario al Cuaternario.



- | | |
|------------------------------------|--|
| 1. Plataforma de Yucatán | 18. Macizo Ígneo de Palma Sola |
| 2. Cuenca Deltaica de Tabasco | 19. Miogeoclinal del Golfo de México |
| 3. Cinturón Chiapaneco de Pliegues | 20. Cinturón Mexicano de Pliegues y Fallas |
| 4. Batolito de Chiapas | 21. Plataforma de Coahuila |
| 5. Macizo Ígneo del Soconusco | 22. Zacatecana |
| 6. Cuenca de Tehuantepec | 23. Plataforma de Valles-San Luis Potosí |
| 7. Cuenca deltaica de Veracruz | 24. Faja Ignimbrítica Mexicana |
| 8. Macizo Volcánico de los Tuxtlas | 25. Cinturón Orogénico Sinaloense |
| 9. Cuicateca | 26. Chihuahuense |
| 10. Zapoteca | 27. Cuenca de Nayarit |
| 11. Mixteca | 28. Cuenca Deltaica de Sonora-Sinaloa |
| 12. Chatina | 29. Sonorense |
| 13. Juchateca | 30. Delta del Colorado |
| 14. Plataforma de Morelos | 31. Batolito de Juárez-San Pedro Mártir |
| 15. Faja Volcánica Transmexicana | 32. Cuenca de Vizcaíno-Purísima |
| 16. Complejo Orogénico de Col-Gro | 33. Cinturón Orogénico Cedros-Vizcaíno |
| 17. Batolito de Jalisco | 34. Faja Volcánica de La Giganta |
| | 35. Complejo Plutónico de La Paz |

Figura 4.3 Provincias geológicas de México (Ortega, 1991)

4.1.4. Geología local

El marco geológico del área de estudio es eminentemente volcánico y como grupo principal se puede encontrar a las rocas ígneas extrusivas y más concretamente al tipo ácido representado principalmente por tobas riolíticas e ignimbrita, sobreyaciendo a éstas un miembro de composición intermedia a básica representado por basaltos y andesitas. Éstas últimas se encuentran formando depósitos de menor extensión repartidos por toda el área de estudio; al igual que las riolitas, los basaltos constituyen zonas de recarga por infiltración a través de las fracturas secundarias presentes en ellas.

La Figura 4.4 muestra la distribución de la geología local en la zona de embalse de la presa El Zapotillo.

Toba Riolítica (Tom Tr)

La unidad de tobas se encuentra ampliamente distribuida en la zona de interés, presentando colores que van del rojo oscuro a rosa con tonalidades grises, compacta de grano fino a grueso, en matriz microcristalina a vítrea constituida por ceniza volcánica, presenta intercalaciones de horizontes de ignimbrita y brechas volcánicas de color café claro a rosa amarillento, se le asigna una edad del oligoceno.

Basalto-Andesita (TmB)

La unidad de basaltos y andesitas pertenecientes al Mioceno Superior, corresponden a un mismo derrame lávico, presentándose las andesitas con color gris y tonalidad oscura con textura fanerítica fina, mientras que los basaltos son de color negro textura afanítica y en su superficie textura vesicular con ligera hematización, éstas rocas se encuentran sobreyaciendo rocas félsicas presentes en toda el área de influencia de la presa El Zapotillo.

Basalto (Tp B)

Roca de color gris oscuro a café rojizo, microcristalina a vesicular, algunas vesículas rellenas de cuarzo euhedral de color blanco, intemperizado a color rojo con hematización, generando suelos rojizos a café claro.

Aluvión (Qal)

Cubre gran parte de las laderas de los cerros y partes bajas de los valles, su coloración es variable debido a la desintegración y erosión de la roca original, siendo así los suelos pardos a gris claro son derivado de la degradación de las tobas riolíticas, los pardos oscuros a gris oscuro a basaltos y los rojizos de las andesitas.

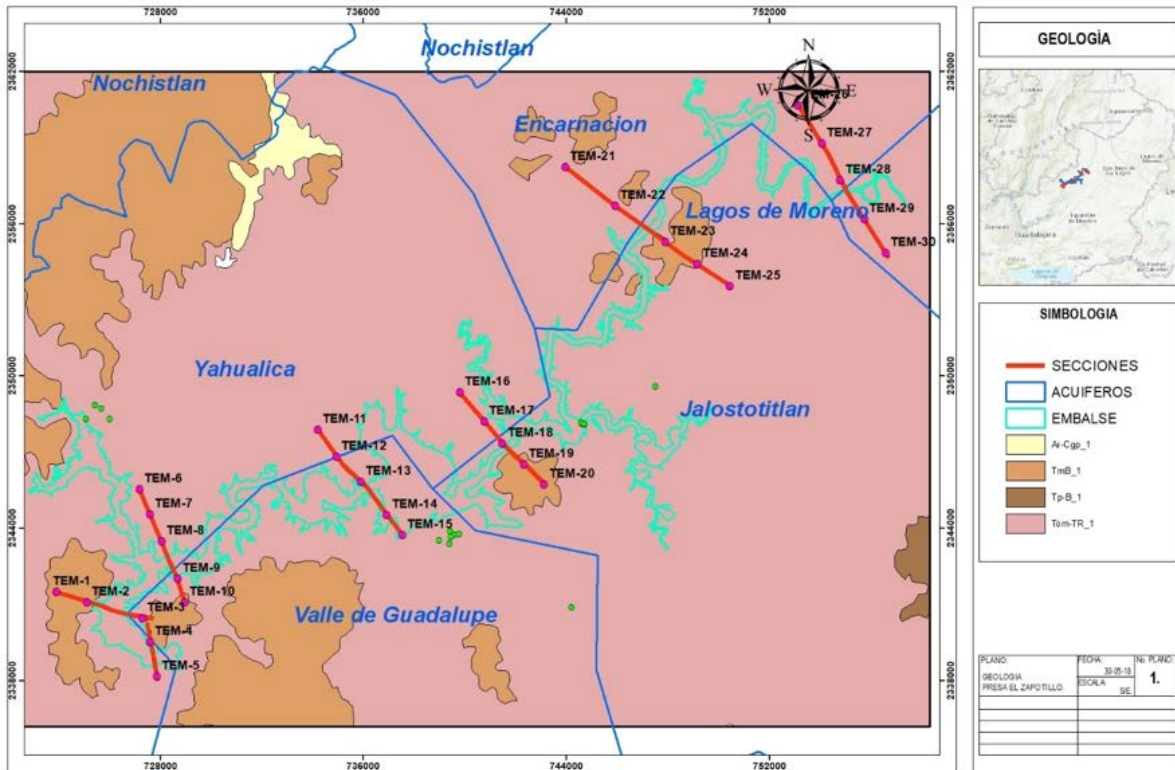


Figura 4.4 Geología de la zona de embalse de El Zapotillo

4.2. Geofísica

Como apoyo para determinar las condiciones geológicas del subsuelo, particularmente en la zona de estudio, se recopiló y reprocesó la información de campañas previas de exploración geofísica, además de integrar datos de pozos perforados (parámetros de perforación, litología y registros geofísicos), realizados dentro y en los alrededores de la presa El Zapotillo.

4.2.1. Sondeos transitorios electromagnéticos (TEM's)

El procesado e interpretación de los Sondeos Transitorios Electromagnéticos de la campaña de exploración geofísica realizada en el presente estudio, nos permite conocer la distribución de resistividad a lo largo de perfiles 2-D.

Se levantaron en campo 30 Sondeos Transitorios Electromagnéticos con una bobina simple de 150 metros de lado (22,500 m²), el equipo utilizado para el levantamiento es un Terratem 24 de Monex GeoScope de fabricación australiana (Figura 4.5).

Las corrientes transmitidas en la bobina fueron de aproximadamente 4.7 amperes, generando un momento magnético de 105,750 Am², la posición en campo de los TEM's y Secciones Geofísicas se muestran en la Tabla 4.1:

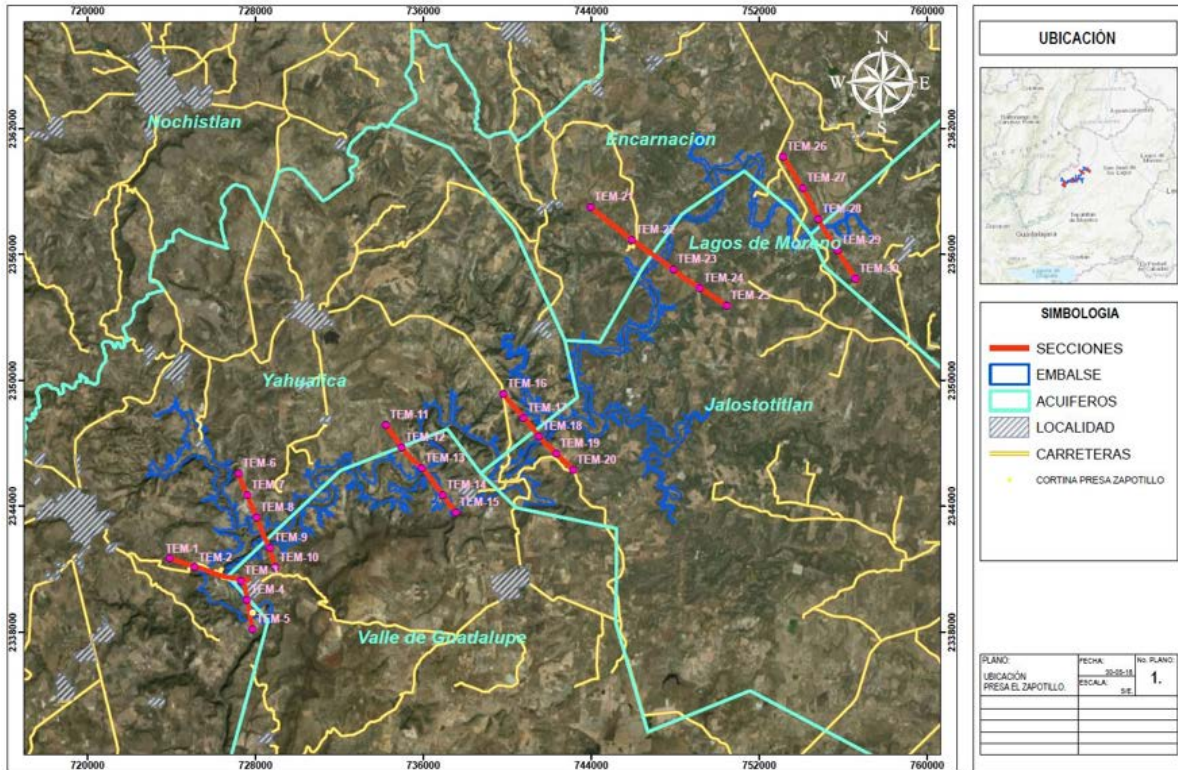


Figura 4.1; en coordenadas UTM Datum WGS-84, UTM (13Q).



Figura 4.5 Equipo Terratem 24 de Monex GeoScope

Tabla 4.1 Sondeos transitorios electromagnéticos

No. TEM	OESTE (UTM)	NORTE (UTM)	ELEVACIÓN (msnm)	No. TEM	OESTE (UTM)	NORTE (UTM)	ELEVACIÓN (msnm)
TEM-1	723,924	2'341,496	1,826	TEM-16	739,809	2'349,349	1,757
TEM-2	725,105	2'341,084	1,765	TEM-17	740,772	2'348,215	1,721
TEM-3	727,296	2'340,448	1,716	TEM-18	741,498	2'347,339	1,718
TEM-4	727,594	2'339,526	1,701	TEM-19	742,334	2'346,506	1,779
TEM-5	727,865	2'338,142	1,721	TEM-20	743,136	2'345,727	1,807
TEM-6	727,196	2'345,540	1,748	TEM-21	743,963	2'358,239	1,728
TEM-7	727,614	2'344,535	1,733	TEM-22	745,931	2'356,694	1,728
TEM-8	728,057	2'343,474	1,703	TEM-23	747,913	2'355,283	1,742
TEM-9	728,700	2'341,993	1,700	TEM-24	749,173	2'354,400	1,750
TEM-10	728,958	2'341,085	1,756	TEM-25	750,459	2'353,540	1,751
TEM-11	734,215	2'347,873	1,754	TEM-26	753,136	2'360,671	1,734
TEM-12	734,960	2'346,817	1,725	TEM-27	754,081	2'359,170	1,710
TEM-13	735,914	2'345,821	1,714	TEM-28	754,804	2'357,708	1,700
TEM-14	736,929	2'344,513	1,634	TEM-29	755,738	2'356,191	1,755
TEM-15	737,541	2'343,714	1,677	TEM-30	756,583	2'354,860	1,754

De acuerdo a las seis secciones geoelectricas desarrolladas se registraron cinco unidades geoelectricas, a continuación, se presenta la descripción y sus características geológicas, las cuales pueden observarse en la Figura 4.6.

Unidad A: Asociada a depósitos aluviales y fragmentos de gran variedad de tamaños de rocas básicas a ácidas.

Unidad A1: Cubierta superficial de ladera conformada por depósitos de talud (materiales sueltos), suelo residual, fragmentos y bloques de roca volcánica de composición intermedia-acida intensamente fracturadas con proceso de alteración.

Unidad B: Rocas volcanobásicas, de textura afanítica y en superficie vesicular con presencia de hematización.

Unidad B1: Basaltos escoriáceos, que por diferenciación magmática en transición cambian de composición a andesita lajeada.

Unidad C: Brecha volcánica constituida por clastos de rocas ignimbríticas, con presencia de líticos de roca basáltica, en una matriz compuesta por materiales areno arcilloso.

Unidad C1: Tobas líticocrystalinas de composición riolítica de matriz vítrea principalmente feldspatos y cuarzo con presencia de clastos de pómez mezclados con líticos de composición intermedia.

Unidad D: Toba vitrolítica riolítica de textura piroclástica con una matriz vítrea, presenta líticos de diferentes tamaños de composición intermedia a ácida y fragmentos de pómez, con alteración hidrotermal por clorita y escasa hematita.

Unidad D1: Toba líticocrystalina riolítica de textura piroclástica y matriz vítrea, presenta fragmentos líticos de formas angulosas, de composición intermedia a ácida, los fragmentos de pómez, con intercalaciones de horizontes de toba brechoide de composición riolítica con horizontes de material arcilloso.

Unidad E: Ignimbrita riolítica con presencia de líticos de composición intermedia a ácida, de formas subangulosas, algunos fragmentos de pómez, en una matriz vitrocristalina con presencia de hematización.

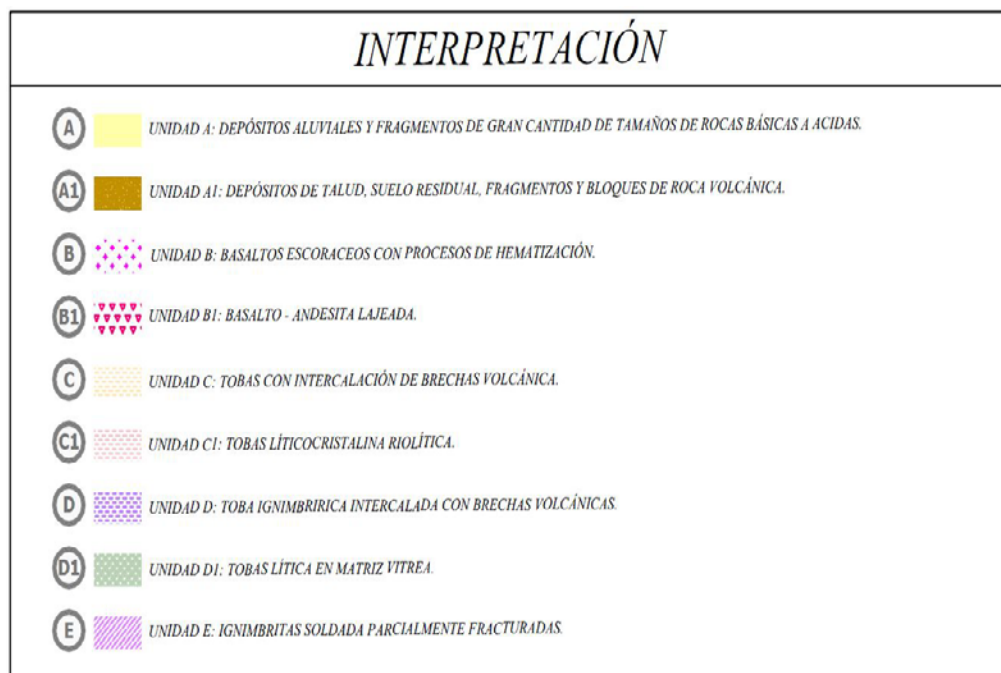


Figura 4.6 Descripción de la interpretación

Con base a la interpretación de los 30 Sondeos Transitorios Electromagnéticos, se realizaron seis secciones geofísicas conformada por un perfil de isorresistividad con su respectiva sección geoelectrica, como se observa de la Figura 4.7 a la Figura 4.12.

A continuación, se presenta una breve descripción de los resultados obtenidos en los perfiles de resistividad.

Sección geoelectrica A-A'

El siguiente perfil inicia en la parte Suroeste del área de estudio, lo constituye los TEM's 1 a 5, presenta una longitud promedio de 3,500 metros, con una dirección preferencial NW-SE y una profundidad de investigación aproximada de 300 m.

En la parte superficial en tonos rojos degradados corresponden a las resistividades más altas, que oscilan de 210 a 235 Ohm-m, se relaciona geológicamente con rocas basálticas vesiculares, que por diferenciación magmática en transición cambian de composición a andesita lajeada; como base en el sector sureste se asocia a una secuencia de ignimbritas parcialmente fracturadas a compactas.

En tonos azules en la parte superficial, muestran los valores más bajos de resistividad del orden de 10 a 35 Ohm-m, correspondiente geológicamente con la cubierta superficial de ladera conformada por depósitos de talud (materiales sueltos), suelo residual, fragmentos y bloques de roca volcánica de composición intermedia-acida intensamente fracturadas con proceso de alteración hidrotermal.

A profundidad en la parte noroeste de la sección se observan estos tonos y son interpretados como una toba ignimbrítica y/o toba brechoide con fragmentos de roca de composición intermedia.

Los colores cian que se observan en la parte media del perfil, se asocian geológicamente a tobas con intercalación de brechas volcánica constituida por clastos de rocas ignimbríticas, con presencia de líticos de roca basáltica, en una matriz compuesta por materiales areno arcillosos, su resistividad va de 35 a 60 Ohm-m.

Finalmente, las tonalidades degradadas verdes y amarillas, que se aprecian en la parte media y media inferior del perfil, con resistividades de 85 a 135 Ohm-m, se correlacionan geológicamente con tobas líticocrystalina riolítica, compuestas por líticos de formas angulosas, principalmente andesitas, riolitas y fragmentos de pómez, que eventualmente son intercalados por tobas brechoides de composición riolítica y horizontes de material arcilloso.

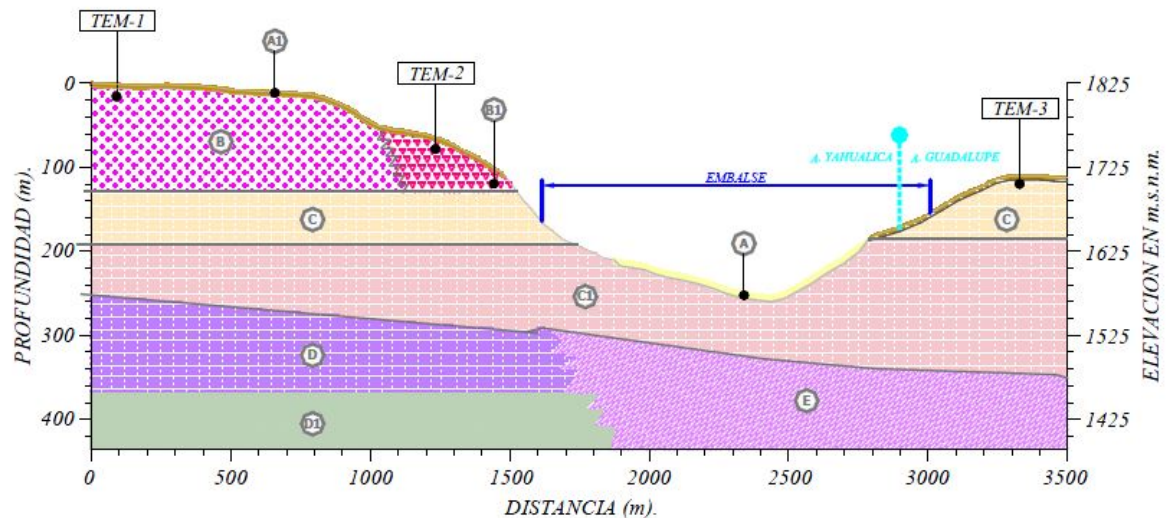
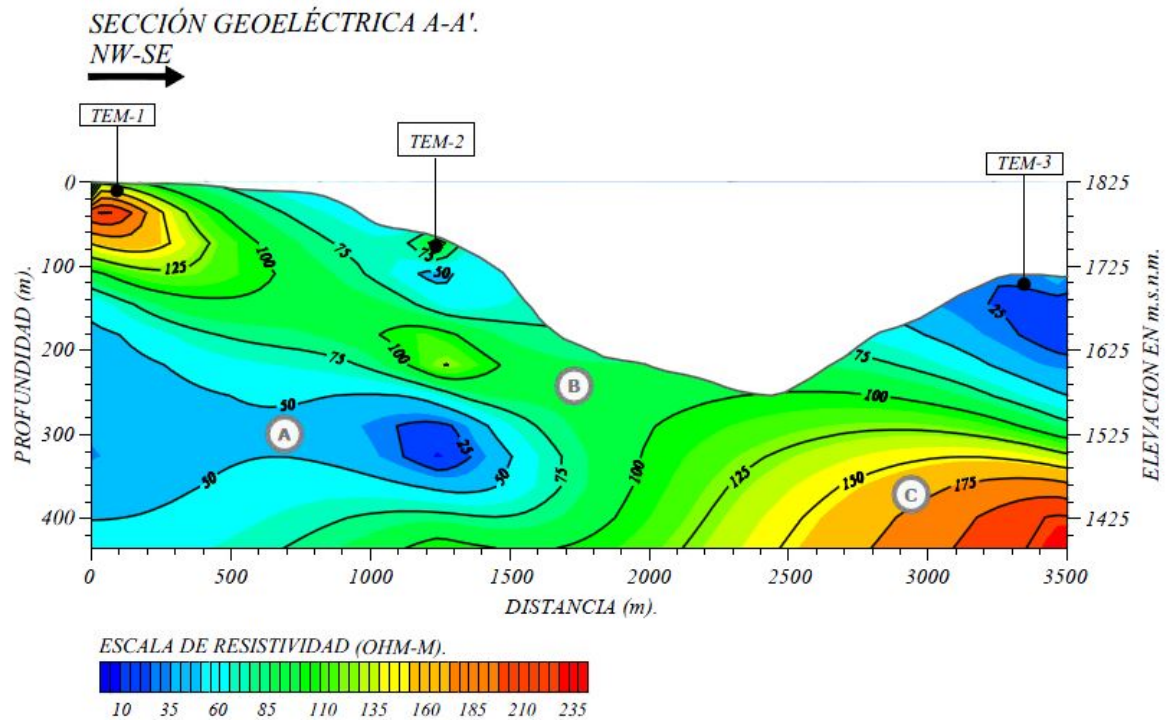


Figura 4.7 Sección geoelectrónica A-A'

Sección geoelectrónica B-B'

El siguiente perfil inicia en la parte Suroeste, cerca del poblado de Acasico, se encuentra constituido por los TEM's 6 a 10, presenta una longitud promedio de 4,750 metros, con una dirección preferencial NW-SE y una profundidad de investigación aproximada de 300 m.

En el extremo Sureste en la parte superficial en tonos rojos, que oscilan de 150 a 170 Ohm-m, se relaciona geológicamente con basaltos escoriáceos. A profundidad y como base de la sección se interpretan una secuencia de rocas ácidas ignimbríticas cristalinas parcialmente fracturada a compacta.

Los tonos verdes en la parte superficial sureste, con resistividad que van de 70 a 90 Ohm-m, correlacionado a rocas vulcano-sedimentarias compuestas por tobas vítreas arenoso arcillosas con horizontes silíceos, lentes de paleoaluviones y fragmentos de rocas básicas.

Por debajo de los 250 metros, se interpreta como una toba vitrocristalina riolítica con intercalaciones de ignimbríticas fracturadas, estas fracturas posiblemente se encuentran rellenas por cristales de calcita y finas películas de arcilla.

La parte superficial intermedia al noroeste de la sección, teñida en azul con resistividades que van de 10 a 30 Ohm-m, se asocia a una toba riolítica de textura piroclástica con una matriz arcillo arenosa, fragmentos de pómez y roca volcánica de composición intermedia a ácida, alteradas por hidrotermalismo.

Los colores cian con resistividades de 30 a 60 Ohm-m, que se observan en la parte media del perfil, se interpretan como materiales tobáceos riolíticos en una matriz vítrea con fragmentos de pómez y roca de composición intermedia a ácida, presenta intercalaciones de toba brechoide riolítica y horizontes de arcilla.

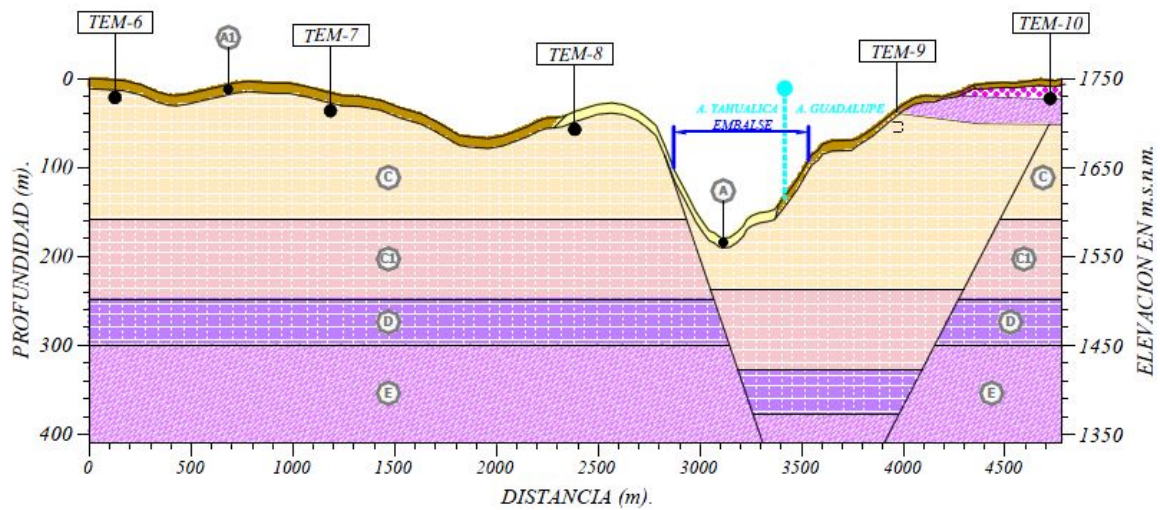
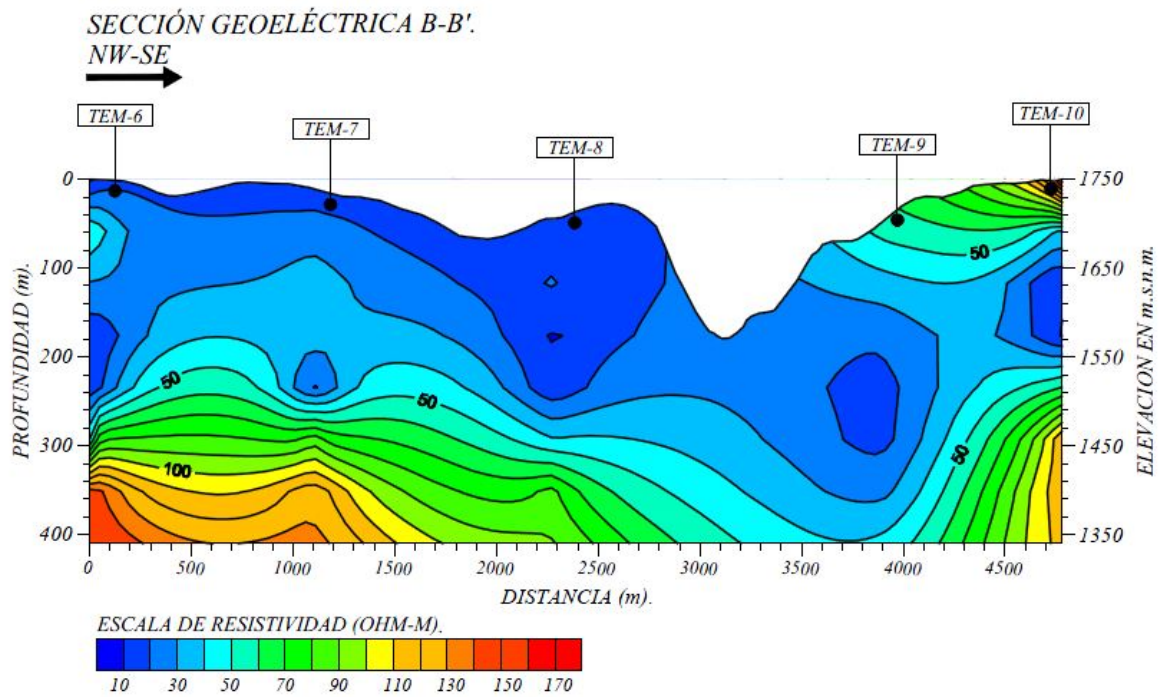


Figura 4.8 Sección geoelectrica B-B'

Sección geoelectrica C-C'

El siguiente perfil inicia en la parte Suroeste central del área de estudio, cerca del poblado El Santuario, se encuentra constituido por los TEM's 11 a 15, presenta una longitud promedio de 5,400 metros, con una dirección preferencial NW-SE y una profundidad de investigación aproximada de 300 m.

Al igual que la sección B-B, en el sector Sureste en la parte superficial en tonos rojos con resistividades de 130 a 160 Ohm-m, se relaciona con basaltos escoriáceos. Estos tonos además se presentan en la base de la sección, los cuales se interpretan como una ignimbrita cristalina parcialmente fracturada a compacta.

La parte superficial intermedia de la sección, en tonos azules con resistividades que van de 10 a 25 Ohm-m, se asocia a una toba riolítica de textura piroclástica con una matriz arcillo arenosa, fragmentos de pómez y roca volcánica de composición intermedia a ácida, alteradas por hidrotermalismo.

Los colores cian con resistividades de 25 a 45 Ohm-m, que se observan en la parte media del perfil, y con mayor nitidez en el TEM-13, en el que se infiere una discontinuidad de materiales y geológicamente se asocia a una secuencia de materiales tobáceos riolíticos en una matriz vítrea con fragmentos de pómez y roca de composición intermedia con intercalaciones de toba brechoide riolítica y horizontes de arcilla.

Finalmente, en tonos verdes con resistividad que van de 45 a 80 Ohm-m, geológicamente se correlaciona con una toba vitrocristalina riolítica con intercalaciones de ignimbritas vesiculares fracturadas, estas posiblemente se encuentran rellenas por cristales de calcita y finas películas de arcilla.

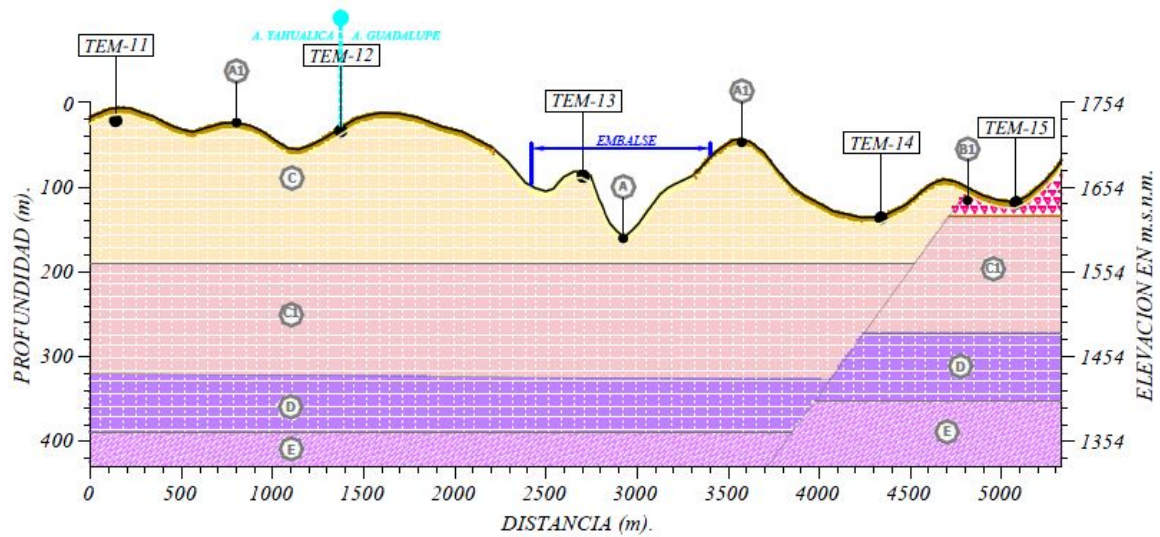
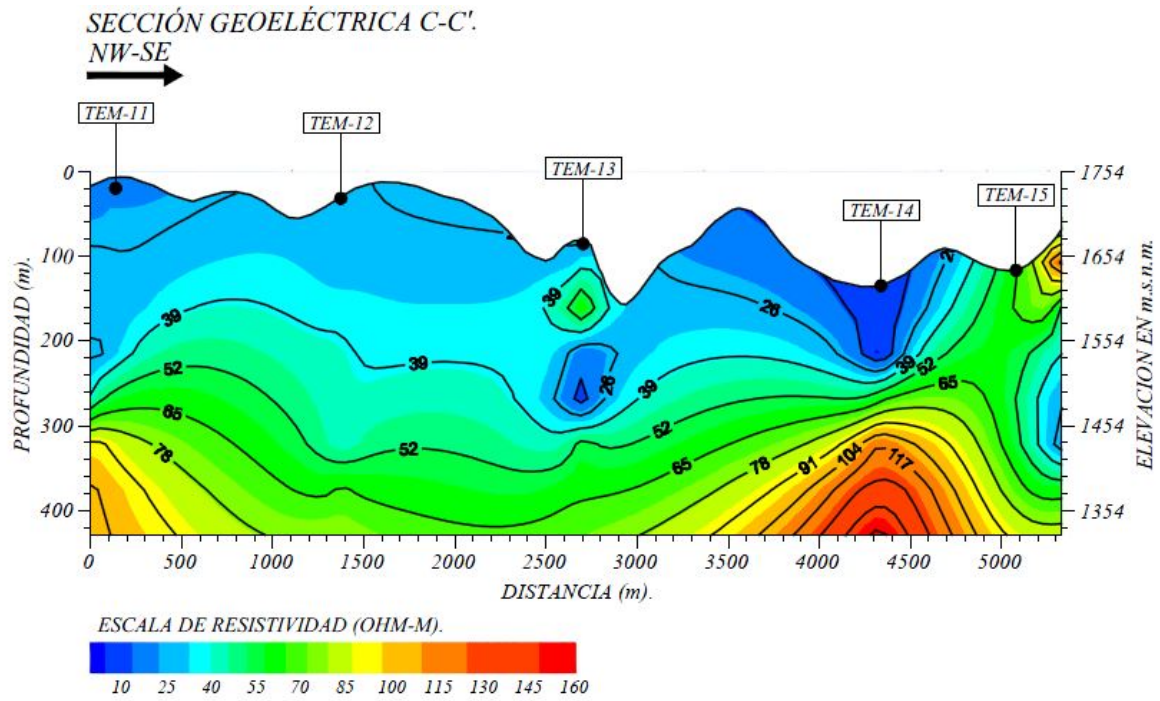


Figura 4.9 Sección geoelectrica C-C'

Sección geoelectrónica D-D'

El siguiente perfil inicia en la parte central del área de estudio, al Suroeste del poblado de Ojuelo, se encuentra constituido por los TEM's 16 a 20, presenta una longitud promedio de 4,950 metros, con una dirección preferencial NW-SE y una profundidad de investigación aproximada de 300 m.

En la parte superficial en tonos rojos degradados, que oscilan de 160 a 220 Ohm-m, se relaciona geológicamente con rocas basálticas parcialmente fracturadas y ligeramente alteradas por hematización. A profundidad como base de la sección se correlaciona con una ignimbrita cristalina parcialmente fracturada a compacta.

Los tonos verdes con resistividad que van de 70 a 100 Ohm-m, se interpreta como una secuencia de tobas litocristalinas riolíticas, compuestas por líticos angulosos de composición intermedia a ácida, con intercalaciones de tobas brechoides y materiales arcillosos. Por debajo de los 220 metros se interpreta como una toba vitrocrystalina riolítica con intercalaciones de ignimbritas fracturadas, con zonas de vesículas parcialmente rellenas por cristales de calcita y finas películas de arcilla.

Los colores azules a cian con resistividades de 40 a 70 Ohm-m, se interpreta como una de textura piroclástica con una matriz arcillo arenosa, fragmentos de pómez y rocas volcánica de composición intermedia a ácida, alteradas por hidrotermalismo.

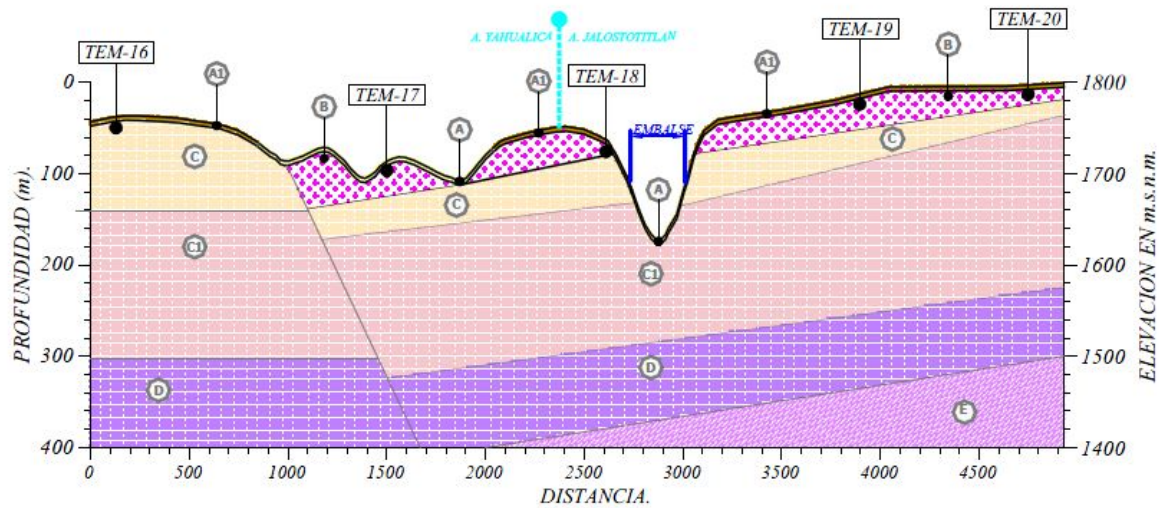
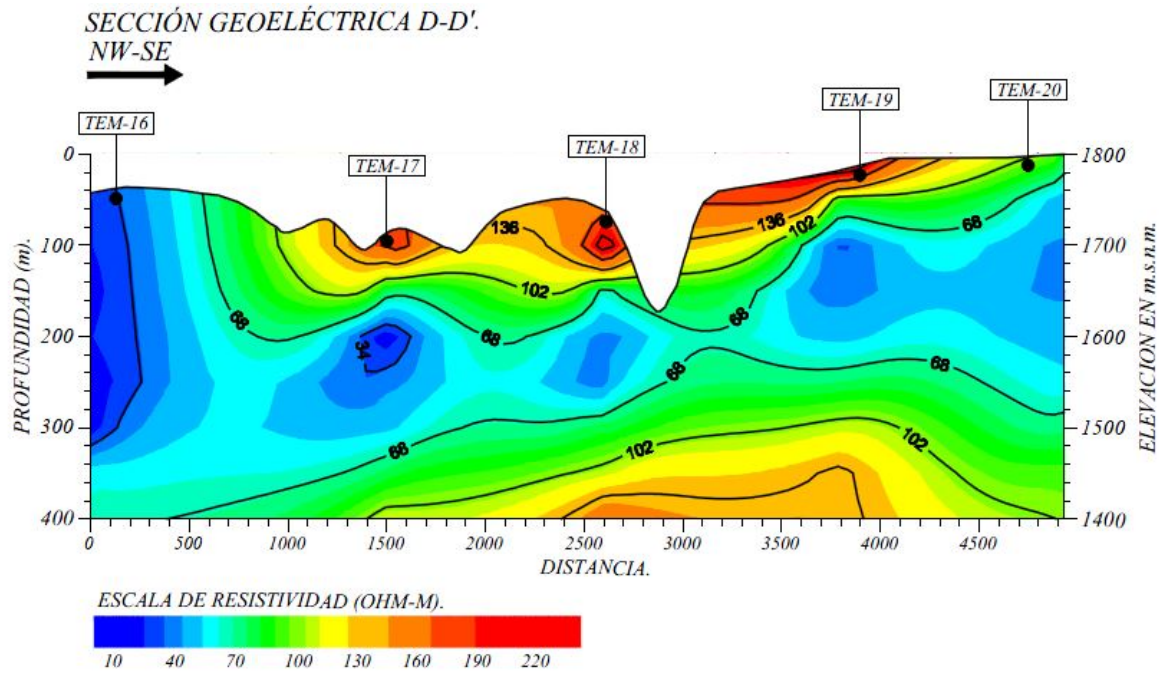


Figura 4.10 Sección geoelectrica D-D'

Sección geoelectrica E-E'

El siguiente perfil inicia cerca del poblado de Ostotán en el municipio de Teocaltiche, se encuentra constituido por los TEM's 21 a 25, presenta una longitud promedio de 8,000 metros, con una dirección preferencial NW-SE y una profundidad de investigación aproximada de 300 m.

En la parte superficial intermedia de la sección, en tonos azules con resistividades que van de 15 a 30 Ohm-m, se relaciona geológicamente a tobas riolítica de textura piroclástica con una matriz arcillo arenosa, fragmentos de pómez y roca volcánica de composición intermedia a ácida, alteradas por hidrotermalismo.

Los tonos cian con resistividades de 30 a 50 Ohm-m, se interpretan como una secuencia de materiales tobáceos riolíticos en una matriz vítrea con fragmentos de pómez con intercalaciones de toba brechoide riolítica y horizontes de arcilla.

Los tonos verdes con resistividad que van de 50 a 90 Ohm-m, geológicamente se asocia a toba vitrocristalina riolítica con intercalación de ignimbritas fracturadas y arcillas.

Finalmente, los tonos rojos con resistividades de 110 a 130 Ohm-m, en la parte superficial se relaciona con una brecha volcánica constituida por clastos de rocas ignimbriticas, con presencia de líticos de rocas basáltica, en una matriz compuesta por materiales areno arcillosos y como base de la sección se interpretan como una ignimbrita cristalina parcialmente fracturada a fracturada.

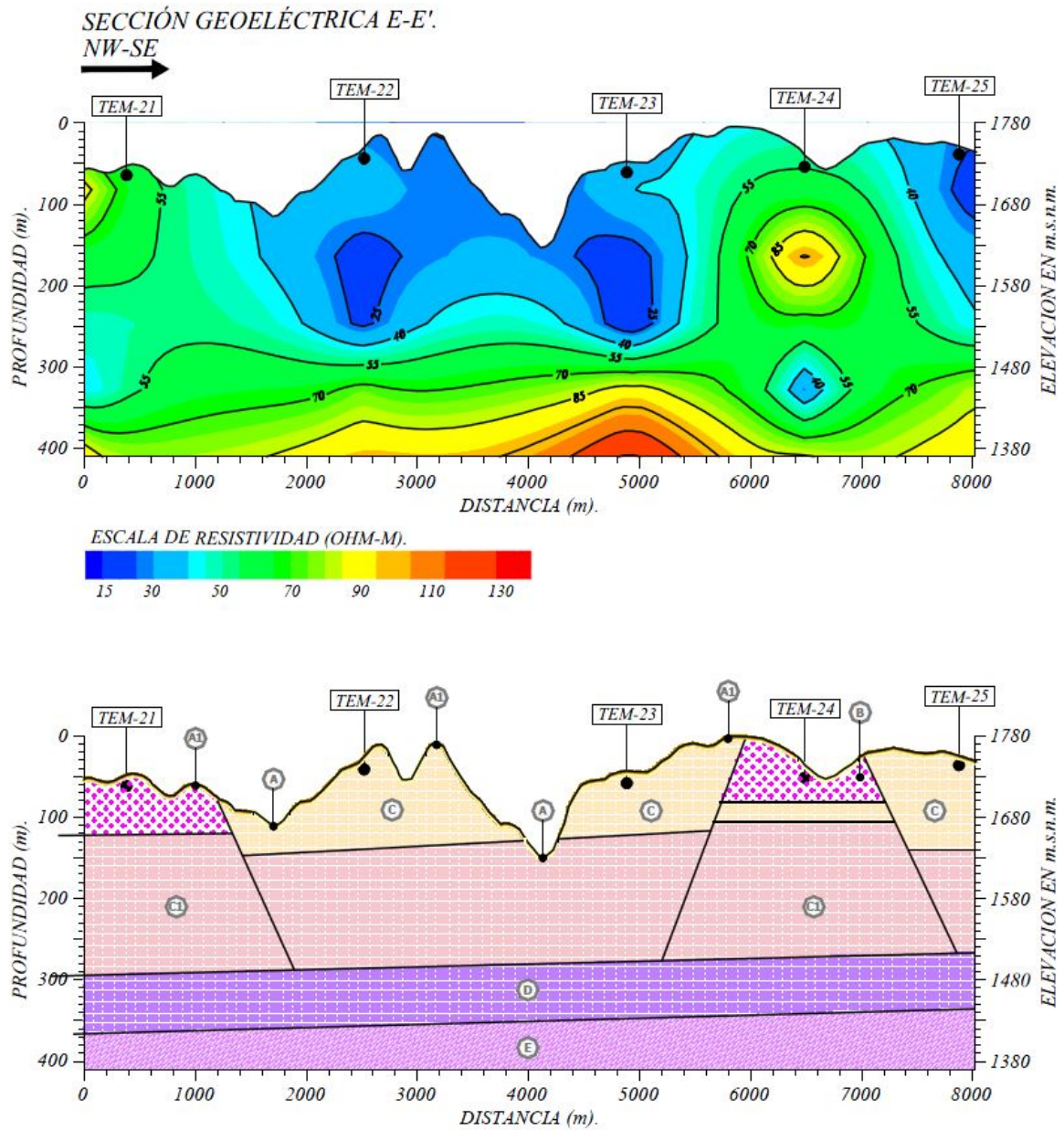


Figura 4.11 Sección geoelectrica E-E'

Sección geoelectrónica F-F'

El último perfil ubicado en la parte Noreste del área de estudio, cercano al poblado de San Gaspar de los Reyes, se encuentra constituido por los TEM's 25 a 30, presenta una longitud promedio de 6,700 metros, con una dirección preferencial NW-SE y una profundidad de investigación aproximada de 300 m.

En la parte superficial en tonos verdes con resistividades que van de 45 a 80 Ohm-m, se relaciona a basaltos escoriáceos y fragmentos de gran cantidad de rocas volcánicas con variedad de tamaños, con arcillas y arenas.

A partir de los 260 metros de profundidad se relaciona con una toba vitrocrística ríolítica con intercalaciones de ignimbritas fracturadas rellenas por cristales de calcita y finas películas de arcilla.

Los colores azules a cian con resistividades de 15 a 45 Ohm-m, se interpreta como una toba de textura piroclástica con una matriz arcillo arenosa, fragmentos de pómez y rocas volcánica de composición intermedia a ácida, alteradas por hidrotermalismo.

Los tonos rojos degradados como base de la sección con resistividades que oscilan de 105 a 135 Ohm-m, se relaciona geológicamente con ignimbritas cristalinas fracturadas.

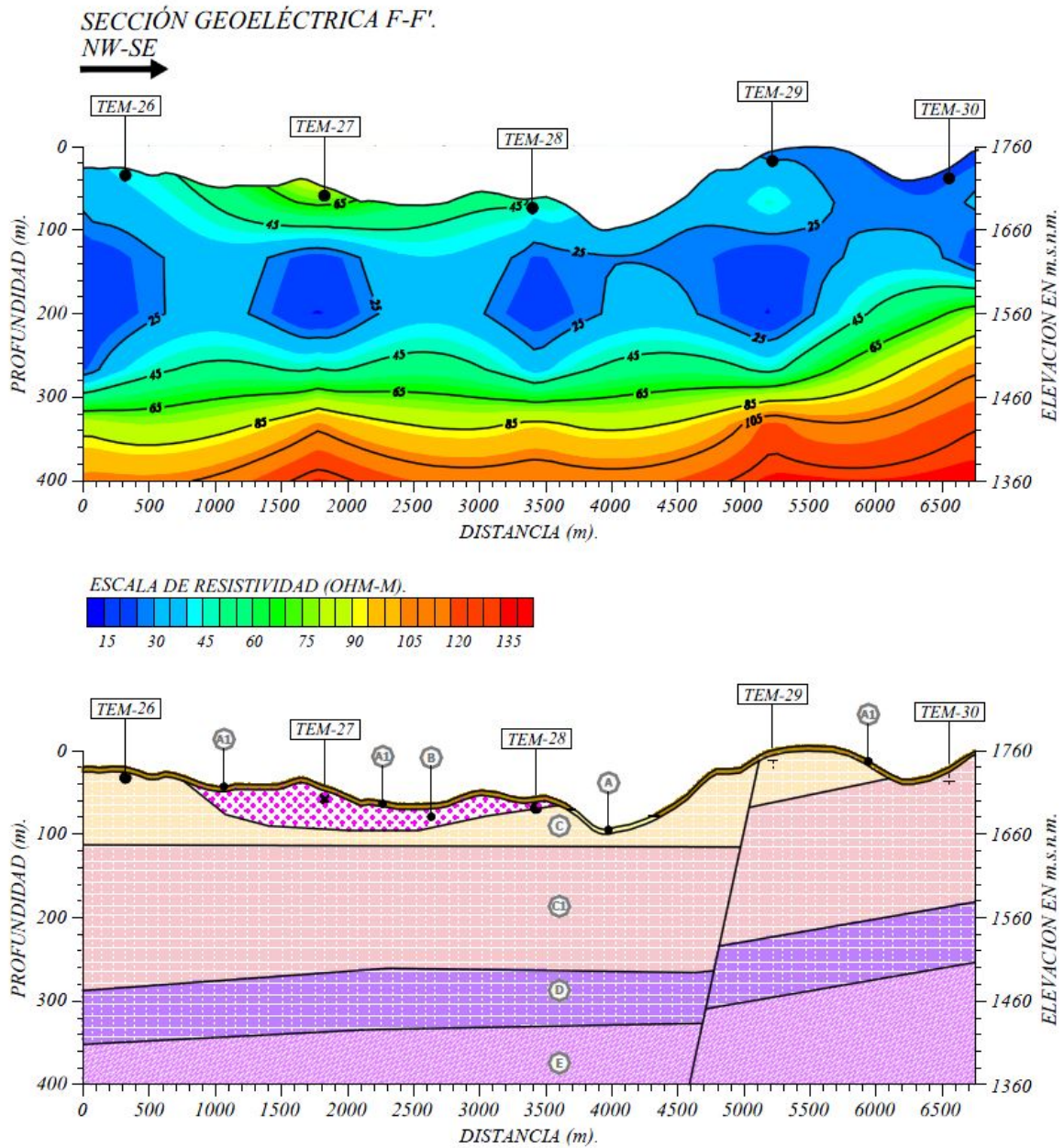


Figura 4.12 Sección geoelectrica F-F'

5. CENSO DE APROVECHAMIENTOS Y PIEZOMETRÍA

Se llevó a cabo el censo de 50 aprovechamientos de agua subterránea, dentro del área marcada por un buffer de 5 km a todo lo largo del área del embalse de la presa El Zapotillo. En las visitas de campo se obtuvo la mayor cantidad de información posible: nombre y datos específicos del concesionario/asignatario, localización y datos generales del aprovechamiento, características constructivas de la captación, régimen de operación.

La posición de los pozos censados se realizó mediante un GPS (Sistema de Posicionamiento Global). Las coordenadas se refirieron en coordenadas latitud y longitud (x, y), tanto en coordenadas geográficas expresadas en grados, minutos y segundos como en coordenadas Universal Transverse Mercator (UTM). La localización de los aprovechamientos se muestra en la Figura 5.1.

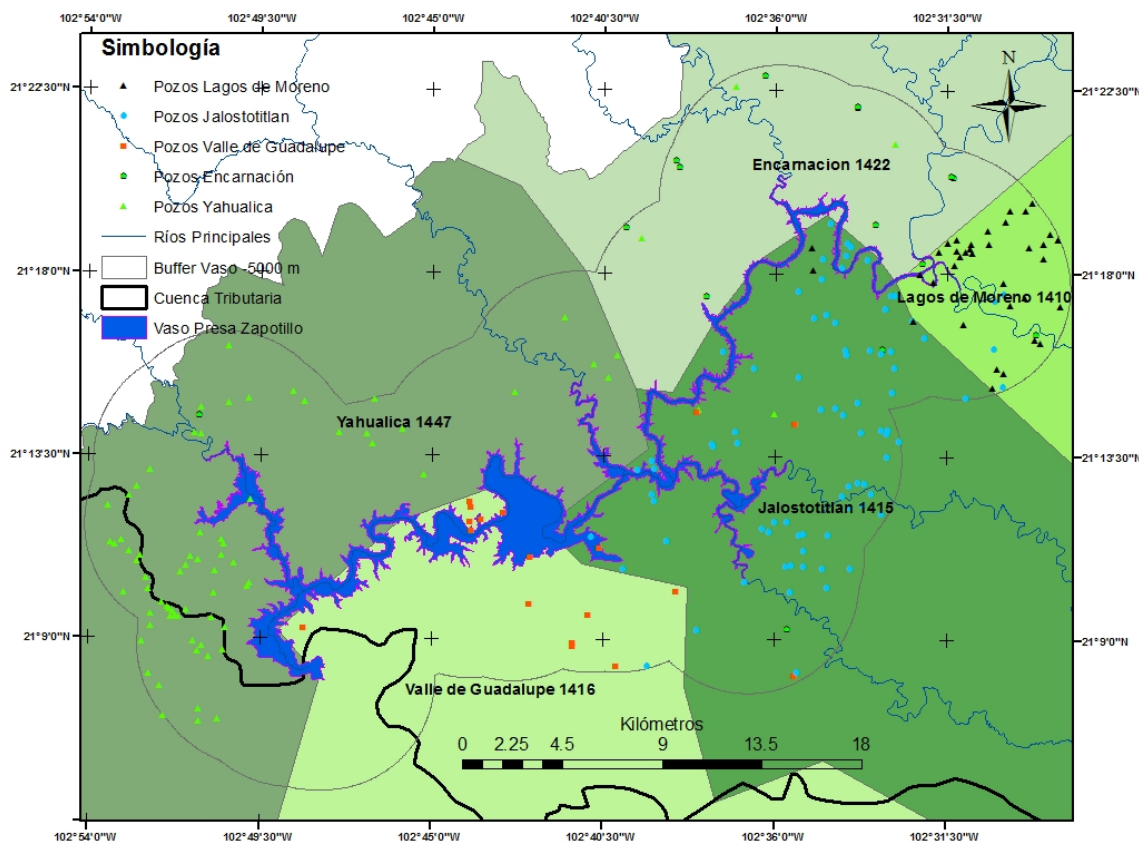


Figura 5.1 Localización de los aprovechamientos

Durante las visitas a los aprovechamientos de agua subterránea se realizaron mediciones piezométricas siempre y cuando las condiciones constructivas y de operación del aprovechamiento lo permitieron. Se utilizó una sonda de nivel para medir la profundidad del nivel estático y con la elevación del brocal se obtuvo la elevación del nivel estático. En el área de trabajo se censaron 55 aprovechamientos, de los cuales sólo se seleccionaron 50, distribuidos espacialmente en los cinco acuíferos y lo más cerca de la zona de embalse de la presa El Zapotillo. Además, se elaboró el formato de la Figura 5.2 para cada uno de los aprovechamientos censados y se tomó al menos una fotografía como evidencia.

CONTRATO "CEA" - "IMTA"
"EVALUACIÓN DEL POSIBLE IMPACTO EN LOS ACUÍFEROS ALEDAÑOS AL EMBALSE LA PRESA EL ZAPOTILLO"

CENSO DE APROVECHAMIENTOS DE AGUA SUBTERRANEA

LOCALIZACION DEL APROVECHAMIENTO

PROPIETARIO _____ MUNICIPIO _____ No. DE APROVECHAMIENTO _____ PZ01
 ACUIFERO _____ YAHUALICA _____
 ESTADO _____ JALISCO _____ COORDENADAS GEOGRAFICAS L.N. 21.266675 L.W. -102.77381
 MUNICIPIO _____ MEXTICACAN _____ ELEVACIÓN DEL BROCAL(msnm) _____
 LOCALIDAD _____ CABECERA MUNICIPAL _____ REGIMEN DE TENENCIA _____
 PREDIO _____ EJIDAL _____ COMUN _____ P.P. _____

DATOS DEL APROVECHAMIENTO

TPO DE APROVECHAMIENTO NORIA POZO MANANTIAL GAL. FLT. TAJO
 CALIDAD DEL AGUA STD (mg/l) _____ T (°C) _____ C.E. (µS/cm) _____ pH _____
 OPERACIÓN ACTIVO INACTIVO
 USO DEL AGUA DOMESTICO INDUSTRIAL AGRICOLA PUB-URB. PECUARIO SERV.
 CONCESIONADO SI NO
 NIVEL ESTATICO _____ NO BAJO LA SONDA _____ NIVEL DINAMICO _____

CARACTERISTICAS DEL EQUIPAMIENTO

TPO DE MOTOR: ELECTRICO AIRE (PAPALOTE) COMB. INT.
 MARCA DE MOTOR _____ ND _____ LUBRICADA CON AGUA LUBRICADA CON ACEITE SUMERGIBLE
 TPO DE BOMBA: CENTRIFUGA PISTON (GUMBALETE) BOMBA VERTICAL
 POTENCIA DE MOTOR _____ N/D _____ H.P. _____ A _____ N/D _____ R.P.M. _____
 TPO DE DESCARGA LIBRE TANQUE ELEVADO A LA RED MIXTO (RED Y TANQUE ELEV.)
 MEDIDOR TOT. DE FLUJO No. _____ MEDIDOR CFE No. _____ (SOLO SI EL MEDIDOR DE ENERGÍA ELÉCTRICA ES EXCLUSIVO PARA OPERAR LA BOMBA)
 LECTURA ACTUAL _____

CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS

FECHA DE PERFORACION: _____ DIAMETRO DE ADEME (cm) : 30.48 DIAMETRO DE DESCARGA (cm) : 10.16
 PROFUNDIDAD TOTAL (m) : _____ LONG. COLUMNA DE SUCCION (m) : _____ DIAMETRO DE PERFORACION (cm) : _____

H I D R O M E T R I A

PUBLICO URBANO Y DOMESTICO		USO AGRICOLA		
No. DE HABITANTES SERVIDOS		TIPOS DE CULTIVO	SUPERFICIE REGADA (ha)	TOTAL DE m ³
DEMANDA (l/hab/día)				
VOLUMEN ANUAL (m3)				
VOLUMEN ANUAL (m3)		VOLUMEN ANUAL (m3)		
USO PECUARIO		USO INDUSTRIAL Y/O SERVICIOS		TOTAL m ³
GANADO	No. DE CABEZAS	TIPO DE IND. O SERV.		
MAYOR				
MENOR				
VOLUMEN ANUAL (m3)				
VOLUMEN ANUAL (m3)				
VOLUMEN ANUAL (m3)		VOLUMEN ANUAL (m3)		

REGIMEN DE OPERACIÓN: _____ HRS/DIA _____ DIAS/SEM _____ SEM/AÑO _____ m³/ANUALES
 CAUDAL DE OPERACIÓN (l/s) _____ ¿SE PUEDE TOMAR MUESTRA DE AGUA? SI NO
 POSIBILIDADES DE USO PARA: POZO PILOTO SI NO PRUEBA DE BOMBEO SI NO
 FECHA DE CENSO: 25 DE JULIO 2018 CENSO: ING. JUAN NISINO CASTILLO

ELABORADO POR: _____ PARA LA: COMISION ESTATAL DEL AGUA, JALISCO 1 DE 2

Figura 5.2 Formato de censo de aprovechamientos (anverso)



Figura 5.3 Formato de censo de aprovechamientos (reverso)

En la Tabla 5.1 se muestran los datos de localización más relevantes de los pozos censados, como son coordenadas, municipio y acuífero al cual pertenece cada aprovechamiento.

Tabla 5.1 Censo de aprovechamientos dentro de un buffer de 5 km

No	FID pozo	Municipio	UTM_X	UTM_Y	Latitud	Longitud	Acuífero
1	PZ 01	Mexticacán	730995	2353290	21.27	-102.77	Yahualica
2	PZ 02	Mexticacán	741523	2352625	21.26	-102.67	Yahualica
3	PZ 03	Mexticacán	731314	2347867	21.22	-102.77	Yahualica
4	PZ 04	Yahualica	720646	2342883	21.17	-102.87	Yahualica
5	PZ 05	Yahualica	720612	2342395	21.17	-102.88	Yahualica
6	PZ 06	Yahualica	721761	2341536	21.16	-102.86	Yahualica
7	PZ 07	Yahualica	721135	2342107	21.17	-102.87	Yahualica
8	PZ 08	Yahualica	720931	2341882	21.16	-102.87	Yahualica
9	PZ 09	Yahualica	721982	2341180	21.16	-102.86	Yahualica
10	PZ 10	Yahualica	722184	2341422	21.16	-102.86	Yahualica
11	PZ 11	Yahualica	723493	2341090	21.16	-102.85	Yahualica
12	PZ 12	Jalostotitlán	752192	2351078	21.24	-102.57	Jalostotitlán
13	PZ 13	Cañadas de Obregón	749821	2350294	21.24	-102.59	Jalostotitlán
14	PZ 14	Cañadas de Obregón	745531	2351082	21.24	-102.63	Jalostotitlán
15	PZ 15	Jalostotitlán	752246	2344002	21.18	-102.57	Jalostotitlán
16	PZ 16	Jalostotitlán	749738	2344973	21.19	-102.59	Jalostotitlán
17	PZ 17	Jalostotitlán	750595	2345470	21.19	-102.59	Jalostotitlán
18	PZ 18	Jalostotitlán	750167	2345336	21.19	-102.59	Jalostotitlán
19	PZ 19	Jalostotitlán	750941	2344288	21.18	-102.58	Jalostotitlán
20	PZ 20	Jalostotitlán	751752	2343841	21.18	-102.58	Jalostotitlán
21	PZ 21	Jalostotitlán	755282	2350545	21.24	-102.54	Jalostotitlán
22	PZ 22	Jalostotitlán	755466	2349202	21.23	-102.54	Jalostotitlán
23	PZ 23	Jalostotitlán	754829	2349427	21.23	-102.54	Jalostotitlán
24	PZ 24	Jalostotitlán	756175	2351407	21.25	-102.53	Jalostotitlán
25	PZ 25	Jalostotitlán	762280	2353940	21.27	-102.47	Lagos de Moreno
26	PZ 26	Yahualica	720447	2344189	21.19	-102.88	Yahualica
27	PZ 27	Yahualica	719878	2344189	21.19	-102.88	Yahualica
28	PZ 28	Yahualica	719477	2344394	21.19	-102.89	Yahualica
29	PZ 29	Yahualica	720348	2347075	21.21	-102.88	Yahualica
30	PZ 30	Yahualica	722011	2349389	21.23	-102.86	Yahualica
31	PZ 31	Cañadas de Obregón	740318	2340315	21.15	-102.69	Valle de Guadalupe
32	PZ 32	Cañadas de Obregón	744179	2339157	21.14	-102.65	Valle de Guadalupe

No	FID pozo	Municipio	UTM_X	UTM_Y	Latitud	Longitud	Acuífero
33	PZ 33	Cañadas de Obregón	728087	2340537	21.15	-102.80	Valle de Guadalupe
34	PZ 34	Cañadas de Obregón	732238	2344185	21.18	-102.76	Valle de Guadalupe
35	PZ 35	Cañadas de Obregón	728503	2332941	21.08	-102.80	Valle de Guadalupe
36	PZ 36	Jalostotitlán	758222	2351827	21.25	-102.51	Jalostotitlán
37	PZ 37	Jalostotitlán	755731	2355237	21.28	-102.54	Lagos de Moreno
38	PZ 38	Jalostotitlán	754200	2356236	21.29	-102.55	Jalostotitlán
39	PZ 39	Jalostotitlán	759136	2356690	21.29	-102.50	Lagos de Moreno
40	PZ 40	Jalostotitlán	758719	2353748	21.27	-102.51	Lagos de Moreno
41	PZ 41	Jalostotitlán	761837	2352339	21.25	-102.48	Lagos de Moreno
42	PZ 42	Jalostotitlán	761809	2353097	21.26	-102.48	Lagos de Moreno
43	PZ 43	Jalostotitlán	761368	2352850	21.26	-102.48	Lagos de Moreno
44	PZ 44	Jalostotitlán	759196	2351223	21.24	-102.50	Jalostotitlán
45	PZ 45	Jalostotitlán	759061	2352920	21.26	-102.50	Lagos de Moreno
46	PZ 46	Jalostotitlán	761921	2356069	21.29	-102.48	Jalostotitlán
47	PZ 47	Jalostotitlán	763227	2355476	21.28	-102.46	Jalostotitlán
48	PZ 48	Jalostotitlán	760663	2355946	21.29	-102.49	Jalostotitlán
49	PZ 49	Jalostotitlán	760659	2357731	21.30	-102.49	Lagos de Moreno
50	PZ 50	Jalostotitlán	763092	2354822	21.28	-102.46	Lagos de Moreno
51	PZ 52	Teocaltiche	742055	2358449	21.31	-102.67	Encarnación
52	PZ 53	Teocaltiche	746961	2365073	21.37	-102.62	Encarnación
53	PZ 54	Teocaltiche	743720	2363896	21.36	-102.65	Encarnación
54	PZ 55	Teocaltiche	748632	2383588	21.54	-102.60	Encarnación
55	PZ 56	Teocaltiche	744827	2371072	21.43	-102.64	Encarnación

El formato de cada uno de los aprovechamientos se encuentra en un Anexo 1.

6. NIVELACIÓN TOPOGRÁFICA DE BROCALES CON GPS

Tomando como base de partida el censo de aprovechamientos realizado, se seleccionaron 50 pozos bien distribuidos para realizar el geoposicionamiento de los puntos seleccionados. El método de mayor precisión utiliza el sistema de geoposicionamiento (GPS) de tipo diferencial en modo estático con una estación base y otra móvil. Para ello se emplean tiempos de lectura suficientes (generalmente 30 minutos), para obtener la precisión deseada en la determinación de las elevaciones. El procesamiento de los datos y elevaciones de los brocales de los aprovechamientos nivelados quedaron referidos al nivel del mar, corroborando las altitudes con algunos bancos de elevaciones conocidas y establecidas por el INEGI, para lo cual se ligaron las bases del GPS a los bancos de referencia, así como entre ellas mismas. En la Figura 6.1 se aprecia la posición de los 50 pozos nivelados.

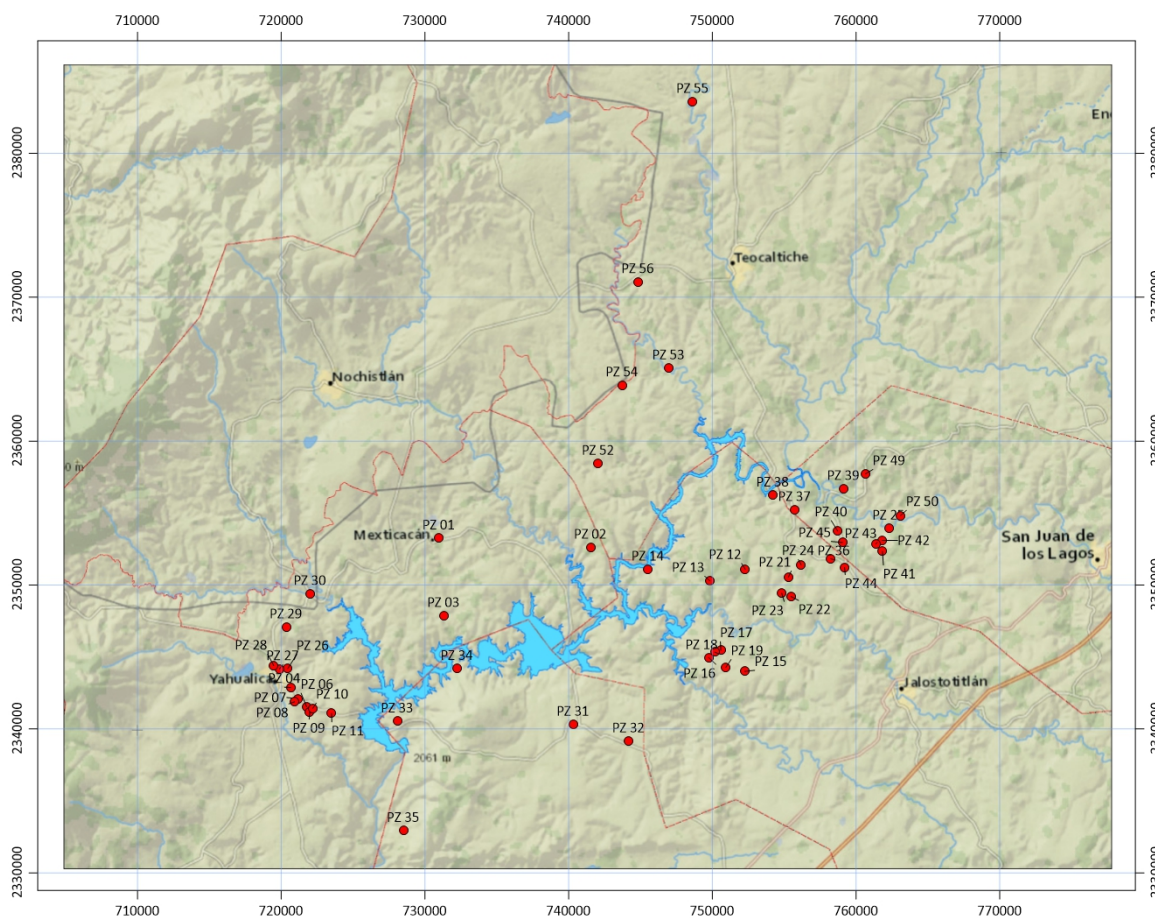


Figura 6.1 Localización de pozos nivelados

El proceso de nivelación de cada uno de los aprovechamientos generó un formato de registro con la ubicación del pozo y características del equipo, número de satélites enganchados y el tiempo total de observación. A continuación, se muestra el formato llenado de la nivelación de los pozos.


Nombre del Proyecto: ELABORACION DE PROYECTO EJECUTIVO ZAPOTILLO			
Población:		Municipio: JALOSTOTITLAN _____	
Foto Aérea: Línea _____ No. Foto _____ Nombre de la Estación GPS 1 Semana GPS 2017 Día Juliano 247 2			
Archivo de la Estación: Inscripción del Monumento Observado __ GPS 3			
Datos de la estación: 3		Altura de la antena: 4	
Tipo de estación: Liga estación activa. <input type="checkbox"/> OK Red Principal <input type="checkbox"/> Red secundaria _____		Almeada al norte. _____ 1.163 _____	
Línea azimutal. _____ Densificación de la red. _____ Clave del punto GPS3 _____		Medida vertical o inclinada. __INC.	
Institución. _____ Tipo de monumentación: _____		Operador - Institución.	
_ CLACONCRETO. _____		ING. ISAAC BAÑUELOS MARTINEZ	
Tipo. Modelo. No. de Serie. 5		Satélites rastreados 7	
Receptor GPS. ESTATICO GR-5 444-0548		(Encierre el número en un círculo)	
Rango de recolección. _____ 10 SEG __ Tipo de antena. TOPCON		Sv's 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12	
Tiempos: Tiempo local. Tiempo UTC Fecha local. 6		13 14 15 16 17 18 19 20 21 22	
Tiempo real de inicio. _____ 03:02:45 p. m. 09:02:45 p. m. 04-09-18		23 24 25 26 27 28 29 30 31 32	
Tiempo real de finalizar. _____ 03:23:23 p. m. 09:23:23 p. m. 04-09-18			
Tiempo total de la observación. 0:20:38 Falla de energía NO			
Coordenadas geográficas: Coordenadas UTM:		Coordenadas geográficas: Coordenadas UTM:	
(campo) (campo)		(gabinete) (gabinete)	
Latitud 21°14'19.33717N		Latitud. 21°14'19.18700N	
Longitud. 102°32'25.58332W		Longitud 102°32'24.97713W	
Altura Ortometrica. _ 1766.807		Altura Ortometrica. - 1725.977	
		8	
Datos generales: 9			
Acceso desde una localidad. _____		Persona de contacto. _____	
Estado de los caminos. Regular		Duración del recorrido. _____ Tipo de suelo. Asfalto Vehículo especial No	
Descripción de la estación 10		Croquis de localización. 11	
GPS			
POZO			
21 _____			

Figura 6.2 Formato de nivelación de pozos



Figura 6.3 Nivelación pozo 21



Figura 6.4 Detalle del punto de nivelación

La relación completa de la nivelación de los pozos se encuentra en el Anexo 2.

7. MUESTREO Y ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA

7.1. Colecta de muestras de agua subterránea

La toma de muestras de agua se realizó bajo condiciones de recolección, que permitieron asegurar la representatividad fisicoquímica y composición de la isotopía del agua (isótopos estables de H y O y contenido de tritio ambiental), bajo las condiciones a las que está sometida en el medio físico. Especialmente, evitando el contacto del agua con la atmósfera, lo cual ocasiona la recombinación de iones, precipitación de minerales, aumento del pH y cambios en el potencial redox, debido al escape hacia la fase gaseosa de componentes disueltos en el agua como dióxido de carbono y en algunos casos de ácido sulfhídrico (Hutton, 1983). Lo cual puede generar resultados analíticos alterados de las muestras analizadas y, por lo tanto, orientar la interpretación hidrogeoquímica de manera incorrecta (Claassen, 1982).

El muestreo comprendió la recolección de volúmenes convenientes de agua para análisis de metales y metaloides, aniones, isótopos estables de hidrógeno y oxígeno, contenido de tritio ambiental y alcalinidad total por la técnica de Gran. La localización de aprovechamientos muestreados con determinación de parámetros de campo se ilustra en la (Figura 7.1). Estos aprovechamientos se seleccionaron sobre la base del análisis conjunto de toda la información disponible y generada, así como considerando su proximidad al área que será inundada con el embalse de las aguas del río Verde, y, que eventualmente, son susceptibles de experimentar algún impacto derivado del proyecto.

La localización de los 40 aprovechamientos muestreados con medición de parámetros de campo (Figura 7.1), serán los más representativos del sistema en estudio y se seleccionarán sobre la base del análisis conjunto de toda la información disponible y generada. En el Anexo 3 se presenta el anexo fotográfico de calidad del agua. También se realizó análisis isotópico a los 40 aprovechamientos en el Anexo 4 se presentan los resultados de campo y laboratorio.

Como parte del proceso de toma de muestras, para eliminar las partículas de materiales en suspensión, que pudieran afectar la composición química de las especies disueltas en el agua por intercambio iónico, se realizó el filtrado del agua

mediante membranas de celulosa con tamaño de poro de 0.45 micrones, utilizando presión positiva (Figura 7.2).

Las muestras de agua subterránea para la determinación de los diferentes parámetros fueron recolectadas en el tren de descarga de los pozos. En los casos donde la instalación carecía de válvula de salida, se colectó en la tubería de descarga, asegurando que el agua no tuviera contacto con la atmósfera. Los volúmenes colectados se envasaron en botellas de polietileno de alta densidad, asegurando su hermeticidad. (Figura 7.3).

Las muestras se preservaron de acuerdo con las especificaciones dadas por los laboratorios especializados de análisis contratados. Para metales se acidificaron a $\text{pH} < 2$ con ácido nítrico de ultra alta pureza. Para análisis de isótopos estables de H y O, contenido de tritio ambiental y aniones se preservaron únicamente a 4°C .

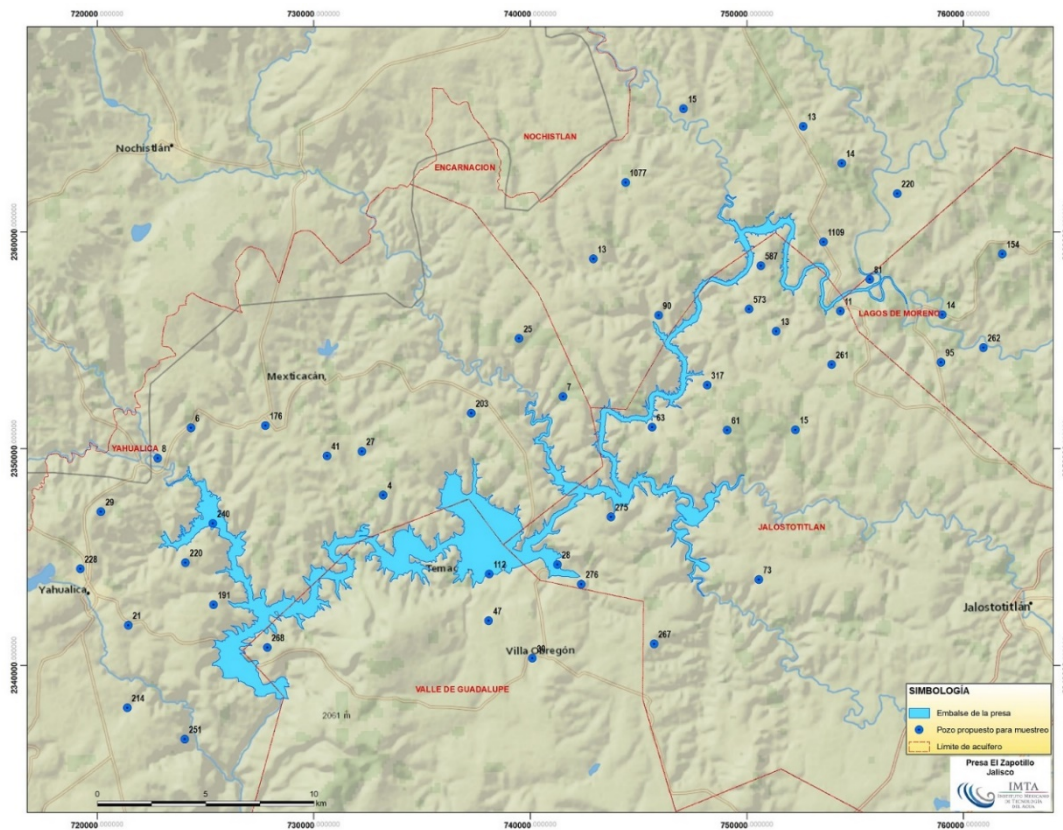


Figura 7.1 Localización de sitios para la colecta de muestras de agua



Figura 7.2 Filtrado de muestras de agua con membrana de celulosa de 0.45μ a presión positiva



Figura 7.3 Toma de muestras para medición de parámetros de laboratorio

Las muestras recolectadas para la determinación de los diferentes parámetros, se enviaron a laboratorios especializados para su análisis correspondiente, de acuerdo con la siguiente relación:

- a. Especies químicas (cationes y aniones): *Activation Laboratories LTD, Canadá*. En la medición de metales y metaloides se utilizó inducción de plasma acoplado a espectroscopía óptica (ICP/OES por sus siglas en inglés), así como espectrometría de masas (ICP/MS), los resultados de laboratorio incluyeron los siguientes parámetros: Ag, Al, As, Au, Br, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Dy, Er, Eu, Fe, Ga, Gd, Ge, Hf, Hg, Ho, I, In, K, La, Lu, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Nd, Ni, Os, P, Pb, Pd, Pr, Pt, Re, Ru, S, Sb, Se, Si, Sm, Sn, Sr, Ta, Tb, Te, Th, Ti, Tl, Tm, U, V, W, Y, Yb, Zn, Zr. La medición de aniones se determinó por cromatografía líquida de iones, de las siguientes especies: F, Cl, Br, NO₂, NO₃, PO₄, SO₄.
- b. Contenido de tritio ambiental: Laboratorio de Hidrología isotópica del IMTA, el análisis se determinó por enriquecimiento electrolítico de la muestra original y por centelleo líquido de la emisión beta del tritio, mediante un contador de alta sensibilidad y ultrabajo nivel de actividad Perkin Elmer Quantulus GCT6220. En el procedimiento se utilizan estándares certificados del National Institute of Standards and Technology (NIST).
- c. Composición de isótopos estables de H y O en las muestras de agua natural: Laboratorio de Hidrología Isotópica del IMTA, se realizó en un analizador láser Cavity Ringdown Spectrometer L2110-i Isotopic H₂O Picarro, con vaporizador de alta precisión A0211. El método es instrumental y permite determinar las abundancias relativas versus el estándar VSMOW.

7.2. Medición de parámetros de campo

En cada aprovechamiento subterráneo de los acuíferos aledaños a la presa El Zapotillo y el río Verde se realizó la determinación de los parámetros de campo: T, CE, OD, pH, Redox y Alcalinidad total. Los aprovechamientos medidos con sus valores de campo se muestran en la Tabla 7.1.

La medición de parámetros de campo se realizó mediante el empleo de una celda de aislamiento para controlar al máximo la modificación de las propiedades fisicoquímicas prevaletientes del agua subterránea (Figura 7.4). La celda se conecta por medio de una bomba sumergible provista de una manguera que se introduce en

el sitio de afloramiento del borbollón, permitiendo que el flujo de agua extraída se mantenga en forma controlada, continua e inalterada en el interior de la celda, ello permite la introducción de los electrodos de medición, para llevar a cabo las mediciones de campo en forma inalterada (T, pH, CE, OD y Eh). Particularmente, permite la estabilización de las lecturas de los transductores, especialmente de oxígeno disuelto, pH y potencial redox.



Figura 7.4 Medición de parámetros de campo con electrodos y equipos multiparamétricos, celda de aislamiento

Tabla 7.1 Resultados de campo y laboratorio de aprovechamientos subterráneos aledaños a la presa El Zapotillo

Núm.	Identificación	Coordenadas		Altitud (msnm)	Temperatura ambiente (°C)	Temperatura de la muestra (°C)	pH	CE (µS/cm)	OD (mg/L)	Redox muestra (mV)	Redox Zobell (mV)	Redox corregido (mV)	Redox calculado (mV)
		X	Y										
1	San Gaspar de los Reyes	102.5023	21.2936	1678	27.6	23.7	7.13	1790	2.91	198	231	430.9	397.86
2	Río San Gaspar de los Reyes	102.5095	21.2851	1669	27.4	26.4	7.82	366	4.67	208	225	424.9	407.92
3	Rancho Viejo	102.5727	21.2769	1785	22.0	31.0	7.89	345	1.04	183	223	414.8	374.80
4	San Nicolás de las Flores	102.5498	21.2902	1682	21.1	26.5	7.55	465	5.17	271	230	424.7	465.70
5	Rancho Cañadas de Coca	102.4899	21.2296	1801	26.9	37.6	7.51	598	1.03	141	215	400.3	326.28
6	Santa Bárbara (Mascua)	102.6496	21.3608	1749	30.3	22.7	7.26	429	5.66	190	235	443.1	388.06
7	Teocaltitán (infiltración de roca)	102.6323	21.2919	1673	25.9	18.5	8.44	353	7.00	257	244	432.3	455.30
8	Noria Teocaltitán	102.6337	21.2909	1663	23.6	21.2	7.44	809	0.82	190	238	436.4	388.36
9	Río Teocaltitán	102.6289	21.2823	1651	24.1	27.3	7.66	401	3.66	-160	235	422.9	27.94
10	Fraccionamiento Maravillas (Teocaltiche)	102.5734	21.4230	1727	29.0	36.6	8.66	656	0.19	101	211	402.5	292.48
11	Rancho Nuevo	102.5264	21.3384	1679	28.3	27.1	8.14	2620	0.03	-218	228	423.4	-22.62
12	Apulco (Aculco)	102.6938	21.3865	1845	30.2	29.2	7.01	300	4.20	177	226	418.8	369.76
13	Ostotán Abajo	102.6665	21.3117	1723	26.1	26.1	8.29	322	0.06	35	233	425.6	227.58
14	Loreto	102.6938	21.2838	1812	23.0	26.6	7.72	458	1.66	-42	234	424.5	148.48
15	Cañadas de Islas	102.8402	21.2471	1770	29.0	27.4	7.49	381	5.96	165	234	422.7	353.72
16	Balneario Llano Grande	102.8379	21.2818	1883	29.8	41.3	8.54	490	3.08	125	214	392.1	303.14
17	Llano Grande	102.8453	21.2968	1954	26.1	28.3	7.40	450	6.06	142	234	420.7	328.74
18	Labor de la Concepción	102.7815	21.2359	1754	27.0	35.9	8.71	609	3.42	160	227	404.0	337.02
19	Santuario de Jesús	102.7715	21.2177	1690	22.4	23.9	7.09	582	3.98	205	247	430.4	388.42
20	Mexicacán	102.7740	21.2664	1744	23.9	37.7	9.21	687	4.63	119	230	400.1	289.06
21	Ojuelos	102.6725	21.2592	1761	31.9	28.9	8.59	449	0.41	158	246	419.4	331.42
22	Acasico	102.8286	21.2113	1650	22.2	28.8	8.75	675	2.18	172	250	419.6	341.64
23	Presa El Zapotillo (Aguas Arriba)	102.8154	21.1439	1565	29.2	24.3	8.07	364	5.37	168	258	429.5	339.54
24	Cañadas de Obregón (Tacachime)	102.6488	21.1374	1815	28.1	41.7	7.91	605	3.56	150	202	391.3	339.26
25	Temacapulín (Balneario La Peñita)	102.7056	21.1841	1616	23.1	43.5	8.65	762	1.81	119	196	387.3	310.30
26	La Mesa (Granja de pollos)	102.6515	21.1926	1807	24.0	40.5	7.61	1841	0.18	-84	203	393.9	106.90
27	San José (Granja de pollos)	102.6429	21.1704	1823	27.0	27.4	7.11	725	4.72	185	223	422.7	384.72
28	Loma de Alba	102.5753	21.1787	1790	25.3	25.0	7.35	380	5.81	201	230	428.0	399.00
29	PROAN (Granja de pollos)	102.6088	21.1957	1764	32.8	28.1	7.40	385	3.60	159	226	421.2	354.18
30	La Esperanza	102.5055	21.1566	1849	15.9	24.3	7.28	620	6.92	215	233	429.5	411.54
31	Rancho La Jova	102.5482	21.2490	1791	26.0	28.9	7.34	407	3.75	109	227	419.4	301.42
32	Santa Isabel	102.5690	21.2441	1743	27.0	29.2	7.68	436	3.89	170	228	418.8	360.76
33	La Cueva (Santa Rosalía)	102.5929	21.2372	1728	36.1	53.7	7.79	1140	-	118	188	364.9	294.86
34	Rincón de Guzmán	102.6347	21.2405	1757	20.6	24.4	7.87	490	0.62	191	234	429.3	386.32
35	Rancho Jiménez	102.5268	21.2567	1795	28.9	27.0	7.48	385	5.41	198	233	423.6	388.60
36	El Jabali	102.5067	21.2672	1770	30.3	31.0	8.19	510	4.70	175	224	414.8	365.60
37	El Ipazote	102.5170	21.2407	1796	27.5	27.0	7.18	471	6.04	167	231	423.6	359.60
38	La Lagunita	102.4017	21.3304	1815	25.2	24.7	7.13	1440	6.40	171	232	428.7	367.66
39	El Salitre	102.6823	21.1912	1673	25.8	33.2	8.51	1614	0.32	119	217	410.0	311.96
40	La Salud	102.8860	21.2047	1909	24.5	22.8	7.29	480	5.29	165	233	432.8	364.84
41	Fraccionamiento El Mirador	102.8722	21.1650	1850	24.5	24.4	7.34	394	6.09	163	229	429.3	363.32
42	La Soledad de Arriba	102.8476	21.1575	1814	23.8	24.0	7.37	433	6.84	154	234	430.2	350.20
43	Rincón de San Lorenzo	102.8380	21.1706	1834	28.7	24.0	7.20	524	7.28	176	231	430.2	375.20
44	Salto Verde	102.8685	21.1171	1826	30.5	25.0	7.31	470	6.83	168	229	428.0	367.00
45	Asilo Presbítero Demetrio Mora	102.8814	21.1928	1889	30.5	23.7	7.19	433	6.63	179	232	430.9	377.86

La importancia y descripción de cada parámetro de campo medido se anotan a continuación:

- La temperatura es un factor abiótico que puede afectar las propiedades físicas y químicas en un ecosistema e impactar en otros factores como la solubilidad de gases, pH, potencial redox. Por otro lado y de acuerdo a la Norma Mexicana NMX-AA-007-SCFI-2013 que hace referencia al análisis de agua, medición de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas; la medición de la temperatura es útil como indicador en la determinación o no, de la presencia de compuestos y/o contaminantes en el agua. La temperatura elevada en el agua puede indicar diversas situaciones, ya sea actividad biológica, química o física, además de tiempos de residencia de la misma. Además, tiene un rol muy importante en los ecosistemas al regular o no aspectos como la solubilidad de nutrientes, solubilidad de gases,

pH, Eh, entre otros. Por otro lado, es un criterio de calidad para las fuentes de abastecimiento de agua potable, es un parámetro que ha sido establecido como límite permisible en las descargas de aguas residuales (SSA, 2000).

- b. El potencial de hidrógeno (pH) constituye un parámetro importante de medición, permite observar la tendencia a lo básico o ácido de la muestra en cuestión. El pH de una solución acuosa es una medida del número de iones hidrógeno o protones presentes. Por definición el pH es el logaritmo negativo de la actividad del ion hidrógeno. Va de un rango de 0 (más ácido) a 14 (más básico) a una temperatura de 25°C, un pH de 7 significa que la muestra de agua es neutra. Los valores encontrados mayores a 7 muestran una tendencia básica y tendrá una cantidad más grande de iones OH⁻, por el contrario aquellos con valores inferiores muestran una tendencia ácida, con predominio de iones H⁺. Valores extremos pudieran ser indicadores de la existencia de contaminación debido a distintos factores, ya sea antropogénicos o naturales. Además, existen distintos factores que hacen variar los valores de pH en los cuerpos de agua, como la temperatura, presión parcial del CO₂, precipitación ácida, entre otros. El pH de una solución es especialmente sensible a la cantidad de CO₂ disuelto, y muestra un efecto sobre las proporciones de las especies iónicas en el agua formadas a partir de CO₂, en valores de pH menores a 6 prevalece el CO₂, la aparición de HCO₃ se hace evidente entre 7 y 9, finalmente para valores superiores a 9 la especie iónica dominante es el CO₃.
- c. La conductividad eléctrica (CE) es la capacidad que tienen las sales inorgánicas en solución para conducir electricidad, a medida que la concentración iónica aumenta, aumenta también la conductividad. Generalmente cuanto mayor sea la cantidad de sólidos disueltos, mayor será la conductividad eléctrica. La medición de este parámetro será un indicativo de la concentración del ion que varía de acuerdo a su carga, tamaño y en la manera en la que interactúe con el solvente, se mide en (µS/cm). La CE y la temperatura están relacionadas ya que, un aumento en la temperatura hace que la viscosidad disminuya, por lo que los iones se mueven más rápido y conducen más electricidad. El agua pura tiene un valor bajo de conductividad eléctrica de pocos micro Siemens por centímetro a 25°C, aunque este valor es únicamente teórico, ya que el agua pura es difícil de producir. La presencia de especies iónicas cargadas en solución hace la solución conductiva. A medida que la concentración del ion aumente, la conductancia de la solución aumenta; por lo tanto la medición de la conductividad indica la concentración del ion.

- d. El oxígeno se disuelve en el agua hasta que su presión parcial iguala a la existente en la atmósfera, es decir hasta que las presiones en la fases gaseosa y líquida alcanzan el equilibrio. El agua disuelve aproximadamente 9 mg/L de oxígeno a una temperatura de 20 °C y una presión atmosférica de 1,013 milibares en estado saturado. La concentración de oxígeno depende de varios factores; tales como: temperatura, altitud (presión atmosférica), consumo de oxígeno por biodegradación por microorganismos, reacciones químicas en el medio subterráneo, etc. Además, su importancia radica en la capacidad que tiene de oxidar diferentes especies que se encuentran en su forma reducida y alterar su solubilidad. El oxígeno presente en la atmósfera se disuelve fácilmente en el agua y tiende a difundirse lentamente. Además de provenir de la atmósfera, el OD puede producirse durante la fotosíntesis de las plantas acuáticas donde éstas eliminan el CO₂ y lo reemplazan por oxígeno. Por otro lado el oxígeno es consumido por las bacterias que degradan materia orgánica. Durante el proceso de descomposición, las bacterias hacen uso del oxígeno para oxidar y alterar el material. En cuanto los organismos comienzan a multiplicarse, la velocidad con la que utilizan el oxígeno puede superar la velocidad con la que éste es incorporado de la atmósfera. De esta manera la concentración de OD disminuye desencadenando un incremento en el bicarbonato generado. El agua fría puede contener más OD que el agua caliente, así como el agua dulce respecto de la salobre. El potencial redox es afectado por la concentración de oxígeno disuelto. A medida que baja el potencial redox en aguas y sedimentos, se observa una disminución en la concentración de OD y la reducción de iones y moléculas importantes para la nutrición de microorganismos y formas de vida superior.
- e. El potencial redox (Eh) es una característica fisicoquímica de aquellos solutos que tienen la facilidad de intercambiar electrones, es decir oxidar o reducir ciertas sustancias. Finalmente es una medida de la actividad de ellos y que está relacionado con el pH y la cantidad de oxígeno presente en el medio. Las actividades de ciertos elementos se ven afectadas por la variación del Eh en el medio, así como la distribución y actividad microbiana. A falta de oxígeno, la materia orgánica se oxida a costa de la reducción de otros compuestos, por ejemplo pasa de sulfato a sulfito o de nitrato a nitrito. Un valor alto y positivo de este parámetro es indicativo de un medio favorecedor para reacciones de oxidación; por otro lado, un valor pequeño o negativo indica un medio reductor. Diversas actividades de algunos elementos son sensibles a las variaciones de Eh, ya que influye en el orden de reducción de algunos compuestos de la siguiente manera: O₂, NO₃⁻, Mn⁴⁺, Fe³⁺, SO₄²⁻, CO₂ y H⁺ a las formas reducidas: H₂O, NH₄⁺, Mn²⁺, Fe²⁺, S₂⁻, CH₄ y H₂. Para la verificación del funcionamiento del equipo de medición y para referenciar la lectura de campo al electrodo de hidrógeno, se utiliza una solución Zobell's estándar

(mezcla de reactivos de ferrocianuro y ferricianuro de potasio) de 428 mV, se mide bajo las mismas condiciones de temperatura del agua de cada aprovechamiento.

- f. La alcalinidad total es la capacidad del agua para neutralizar ácidos y representa la suma de las bases que pueden ser tituladas. Dado que la alcalinidad del agua está determinada por el contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, ésta se toma como un indicador de dichas especies iónicas y se determina por titulación con una solución estándar de un ácido mineral fuerte a los puntos sucesivos de equivalencia del bicarbonato y el ácido carbónico ($\text{pH} \approx 4.5 - 4.3$). Una vez tomada la muestra de agua, es factible que la alcalinidad se modifique al paso del tiempo; por lo cual, se recomienda que este parámetro sea medido directamente en campo. Para ello, se utiliza la técnica estándar de titulación con ácido sulfúrico en alícuotas de agua del pozo de 50 ml, aplicando el método potenciométrico de Gran. Este método consiste en agregar a la alícuota, un volumen determinado de ácido mediante un titulador digital, y medir inmediatamente el pH de la muestra con un potenciómetro calibrado, repitiendo este proceso de manera sucesiva hasta lograr un pH menor del valor 4.3.

7.3. Medición de parámetros en laboratorio

Los parámetros fisicoquímicos de laboratorio se determinarán mediante técnicas analíticas instrumentales que reporten datos cuantitativos en todos los casos, independientemente de la concentración que presenten las especies disueltas en el agua subterránea.

El análisis de metales y metaloides, dependiendo de su concentración se analizaron por inducción de plasma acoplado a espectrometría de masas (ICP/MS) y por inducción de plasma acoplado a espectroscopía óptica (ICP/OES).

Las especies químicas y parámetros medidos se indican a continuación:

- Metales y metaloides (ICP/MS e ICP/OES): Ag, Al, As, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Dy, Er, Eu, Fe, Ga, Gd, Ge, Hf, Hg, Ho, In, K, La, Lu, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Nd, Ni, Pb, Pr, Rb, Sb, Sc, Se, Si, Sm, Sn, Sr, Ta, Tb, Te, Th, Ti, Tl, Tm, U, V, W, Y, Yb, Zn, Zr.
- Aniones (Cromatografía de líquidos): F^- , Cl^- , Br^- , NO_2^- , NO_3^- , $\text{PO}_4^{=}$, $\text{SO}_4^{=}$.
- coliformes fecales y coliformes totales.
- Oxígeno 18 (^{18}O), Deuterio (^2H), Tritio ambiental (^3H).

La composición de isótopos estables y contenido de tritio ambiental se determinaron en el laboratorio de hidrología isotópica del IMTA como ya se mencionó, reconocido por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) a través de ejercicios de intercomparación organizados por dicho organismo internacional.

El análisis de la composición de isótopos estables de H y O en muestras de agua natural se realiza en un analizador láser *Cavity Ringdown Spectrometer L2110-i Isotopic H₂O Picarro*, con vaporizador de alta precisión A0211. El método es instrumental y permite determinar las abundancias relativas versus el estándar VSMOW.

El análisis del contenido ambiental de tritio se determina por enriquecimiento electrolítico de la muestra original y, posteriormente, se mide por centelleo líquido de la emisión beta del tritio, mediante un contador de alta sensibilidad y ultrabajo nivel de actividad *Quantulus GCT 6220*. En el procedimiento se utilizan estándares certificados del *National Institute of Standards and Technology (NIST)*.

Los análisis fisicoquímicos se realizaron en el laboratorio Activation Laboratories Ltd. de Canadá (<http://www.actlabs.com>). Los análisis bacteriológicos de coliformes fecales y totales se analizaron en los laboratorios ABC, certificados ante la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA). Los resultados de campo y laboratorio se incluyen en los Anexos 4 y 5 del presente informe. En el caso de los resultados químicos se agregan los certificados de los controles de calidad de las mediciones realizadas por el laboratorio.

7.4. Interpretaciones hidrogeoquímica e isotópica

La interpretación conjunta de resultados hidrogeoquímicos, isotópicos, parámetros de campo e información hidrogeológica consultada, permitió establecer la calidad, evolución y posible impacto de la Presa El Zapotillo en los acuíferos aledaños al proyecto. En el análisis se emplearon los programas WATEQ y PHREEQC para analizar gráfica y numéricamente los datos hidrogeoquímicos del agua.

La composición fisicoquímica e isotópica de las muestras de agua subterránea y superficial, permiten definir la forma como ha evolucionado el sistema de flujo subterráneo (Figura 7.5). La isotopía de las aguas indica sí existen mezclas entre diferentes tipos de agua en el acuífero; así como, componentes con sello distinto al subterráneo. Ayuda a dilucidar los mecanismos de recarga e identificar las zonas donde ésta se efectúa de manera efectiva, los tiempos de residencia y la interacción agua-roca. Las concentraciones de iones disueltos, la composición de isótopos

estables y el contenido de tritio ambiental de las muestras analizadas identifican el sello distintivo y las composiciones características naturales prevalecientes del río y de los acuíferos aledaños a la presa El Zapotillo, antes de embalsar las aguas del río Verde.

Los isótopos estables del hidrógeno y del oxígeno, intrínsecos de la molécula de agua, son trazadores gratuitos que permiten estudiar el origen y evolución de las aguas atmosféricas, superficiales y subterráneas. Existen de manera natural, razón por la cual se denominan isótopos ambientales.

En la naturaleza se conocen tres isótopos del hidrógeno: dos estables y uno radioactivo:

- ^1H o H: 99.98 % del hidrógeno total, denominado mayoritario (estable)
- ^2H o D (Deuterio): 0.016 % (estable)
- ^3H o T (Tritio): $5 \cdot 10^{-6}$ % (inestable o radioactivo)

De los diferentes isótopos de oxígeno, solo tres de ellos son de interés en hidrogeología:

- ^{16}O : constituye el 99.76 % del oxígeno total (estable)
- ^{17}O : el 0.04 % (estable)
- ^{18}O : el 0.20 % (estable)

El ^{17}O es el isótopo menos abundante de los tres, por ello se mide con más incertidumbre que el ^{16}O y el ^{18}O . Por esta razón generalmente se usa la relación $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, que ofrece mayores contraste y facilidad de medición.

La combinación de los diferentes isótopos existentes de hidrógeno y de oxígeno permite formar hasta 18 moléculas de agua diferentes. De ellas, las más usuales en hidrología isotópica, desde un punto de vista probabilístico, son: H_2^{16}O , HD^{16}O y H_2^{18}O .

Las propiedades de los diferentes isótopos de un mismo elemento son muy similares, pero las pequeñas diferencias de movilidad iónica, tensión de vapor, difusividad, etc., hacen que el agua natural tenga ligeras diferencias de composición isotópica según su origen en el ciclo hidrológico. Así, el agua de mar es más pesada o enriquecida en HD^{16}O y HD^{18}O que el agua dulce, mientras que el vapor de agua de mar es más ligero o enriquecido en H_2^{16}O respecto al agua de mar de la que es originario. El vapor de agua de lago o embalse es más pesado o enriquecido en HD^{16}O y HD^{18}O que el agua de la que procede. Es decir, existe un fraccionamiento isotópico al pasar de un estado a otro, lo cual resulta útil para estudiar procesos ocurridos en el ciclo hidrológico.

El agua de lluvia constituye una de las principales fuentes de las aguas subterráneas y del agua de la zona de poro de la zona no saturada. La variación espacial y temporal del contenido isotópico de la lluvia puede usarse para estudiar tanto la zona de la recarga en los acuíferos, como la época en que tiene lugar ésta.

La aplicación de isótopos en hidrología es complementaria de los resultados derivados de otras metodologías, tales como geología, geofísica, geoquímica, hidrogeología, etc. Permiten precisar el comportamiento del agua en la naturaleza, particularmente, el funcionamiento de los acuíferos y obtener conclusiones más confiables. En casos especiales aportan información única sobre la naturaleza de las aguas subterráneas (IAEA, 2005).

La manera precisa de expresar la composición isotópica de cualquier muestra de agua, se hace mediante un patrón de agua que sirve de referencia a los distintos laboratorios dedicados a la medición del contenido isotópico de muestras de agua. Para ello, se preparó el “Patrón Medio de Agua de Mar” conocido como *SMOW* (por sus siglas en inglés) (Craig, 1961). En la actualidad este patrón ha sido sustituido por el *VSMOW* (por sus siglas en inglés de *Vienna Standard Mean Ocean Water*), y es reproducido de manera regular por el Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA).

Las variaciones isotópicas para oxígeno-18 o deuterio, con respecto al patrón *VSMOW*, se expresan como desviaciones delta por mil (δ ‰), mediante la expresión:

$$\delta(\text{‰}) = \frac{R_{\text{muestra}} - R_{\text{VSMOW}}}{R_{\text{VSMOW}}} \times 10^3$$

En donde *R* está definida por la expresión

$$R = \frac{\text{Núm. de moléculas del tipo } ^1\text{H } ^2\text{H } ^{16}\text{O} \text{ (ó } ^1\text{H}_2^{18}\text{O})}{\text{Núm. de moléculas del tipo } ^1\text{H}_2^{16}\text{O}}$$

El valor de la δ puede ser positivo o negativo, dependiendo de que la muestra esté más enriquecida o empobrecida que el *VSMOW*. Una δ positiva indica mayor concentración en el isótopo pesado que el *VSMOW*, según corresponda (^{18}O o ^2H).

La desviación δ en las aguas meteóricas varía entre límites amplios debido a diferentes causas. Una es el fraccionamiento producido durante los cambios de fase, el cual es motivado por la diferencia de presión de vapor de las tres especies moleculares. Si designamos por *P* a esta presión de vapor, se cumple:

$$P (^1\text{H}_2^{16}\text{O}) > P (^1\text{H}_2^{18}\text{O}) > P (^1\text{H}^2\text{H}^{16}\text{O})$$

La presión de vapor determina la velocidad de evaporación o de condensación del agua. Por tanto las moléculas ligeras ($^1\text{H}_2^{16}\text{O}$) que tienen mayor presión de vapor, se evaporan más rápido y se condensan más lentamente que las moléculas pesadas, es decir, presentan una tendencia mayor a permanecer en la fase de vapor durante el cambio de fase (Clark y Fritz, 1997).

La lluvia a nivel global presenta una composición isotópica lineal que se ajusta a la ecuación:

$$\delta^2\text{H} = 8 \delta^{18}\text{O} + 10$$

Esta ecuación es válida para todas las aguas meteóricas que se precipitan sobre la superficie de la tierra y describe a la denominada Línea Meteórica Global (GMWL por sus siglas en inglés). La ordenada al origen de valor 10 se denomina exceso de deuterio. La pendiente y el exceso de deuterio pueden variar ligeramente para cada región debido a las condiciones climatológicas locales. En algunos casos se cuenta con líneas meteóricas locales que permiten la interpretación de los resultados isotópicos estables (Figura 7.5).

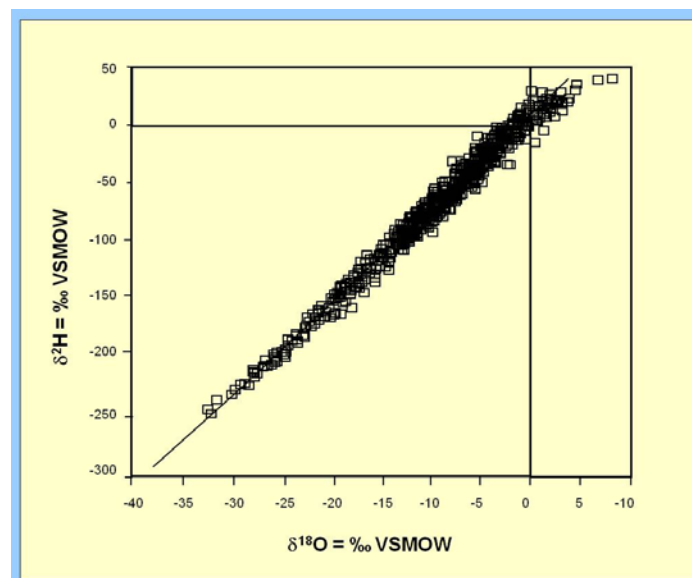


Figura 7.5 Distribución de la composición isotópica estable de las aguas meteóricas a nivel global. Los valores δD y $\delta^{18}\text{O}$ se ajustan a una recta de pendiente ocho y ordenada al origen 10 denominada Línea Meteórica Global

La composición isotópica de la lluvia depende de la génesis que experimenta, desde el momento de salir del mar en forma de vapor hasta que se incorpora en forma líquida en cualquiera de los componentes del ciclo hidrológico. A medida que la nube avanza, va perdiendo agua por condensaciones sucesivas hasta que el frente nuboso pierde su actividad. Debido a que las moléculas pesadas $^1\text{H}^2\text{H}^{16}\text{O}$ y $^1\text{H}_2^{18}\text{O}$ condensan de forma preferente, la nube se va empobreciendo en estas dos especies moleculares (Clark, y Fritz, 1997). Esto hace que las precipitaciones tengan valores más negativos a medida que se alejan de la fuente de producción de vapor, se denomina efecto continental; es decir, se produce un empobrecimiento de isótopos pesados de la lluvia en función de la distancia (Figura 7.6).

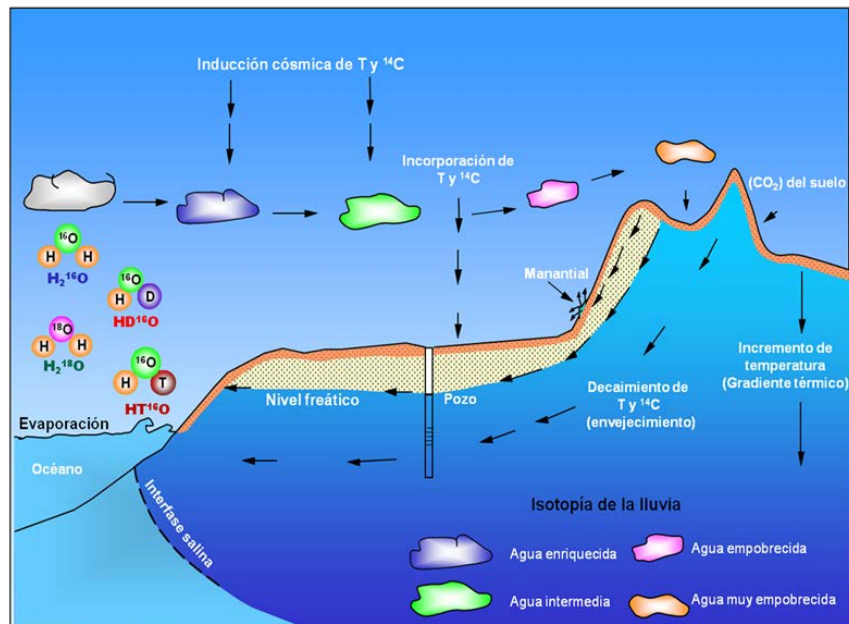


Figura 7.6 Evolución isotópica de las aguas superficiales y subterráneas en el ciclo hidrológico

Otro factor muy importante que influye en la composición isotópica de las precipitaciones pluviales de zonas montañosas, es el llamado efecto de altitud, derivado de la mayor velocidad de difusión de las moléculas ligeras en la atmósfera. Durante el desarrollo vertical de las nubes, hay un aumento de la condensación del vapor de agua a medida que disminuye la temperatura. Debido a que las moléculas pesadas condensan de manera preferencial con respecto a las ligeras, se tiene como resultado que las precipitaciones de cotas más elevadas sean más negativas o estén más empobrecidas en isótopos pesados (Figura 7.6). Por este efecto, la $\delta^{18}\text{O}$ varía entre -0.15 y -0.5‰ y la $\delta^2\text{H}$ entre -1 y -4‰ por cada 100 metros de diferencia de altitud.

Otro fenómeno que cambia la composición isotópica original de un tipo de agua, es el denominado efecto de evaporación. Cuando el agua experimenta procesos de evaporación intensa sus deltas de deuterio y oxígeno-18 evolucionan a lo largo de una línea de evaporación de coeficiente angular menor al de la línea meteórica mundial (GMWL por sus siglas en inglés), coeficiente que depende fuertemente de la humedad relativa. Típicamente, esta situación se presenta cuando el agua es almacenada en una presa, cuando fluye a través de un canal o cauce natural, o cuando se aplica mediante riego en agricultura. Al estar sometida a evaporación intensa, el agua registra un fraccionamiento isotópico de su composición original. Al haber recarga proveniente de un embalse, de un río, o por infiltración de retornos de riego, en el acuífero se genera una mezcla de agua con un sello característico de este proceso (Mazor, 1991).

Existen otros procesos que causan fraccionamiento isotópico del tipo de agua original, entre los cuales destaca la reducción del sulfato. En condiciones anaeróbicas del agua subterránea y alta concentración de sulfato, la acción bacteriana es la responsable de la oxidación de la materia orgánica. Durante este proceso, las bacterias transforman el sulfato (SO_4^{2-}) en sulfito (SO_3^{2-}) y posteriormente en sulfuro de hidrógeno (H_2S). Las bacterias preferentemente utilizan el ^{16}O durante la reducción del (SO_4^{2-}) a (SO_3^{2-}), por lo cual el sulfito se enriquece en ^{18}O . Diversos estudios (Fritz et al., 1989) han mostrado que cuando el sulfito es creado, rápidamente intercambia ^{18}O con el agua subterránea buscando un equilibrio isotópico. Debido a este intercambio, el agua subterránea se enriquece en ^{18}O . Como resultado de este proceso, el agua subterránea original evoluciona isotópicamente a lo largo de una recta de pendiente con coeficiente angular menor al de la GMWL (Figura 7.7) (Horita, 2005).

El registro de los efectos antes mencionados permiten establecer el origen y la dinámica del agua subterránea, particularmente identificar las zonas de recarga efectiva y los procesos de mezcla de los flujos subterráneos.

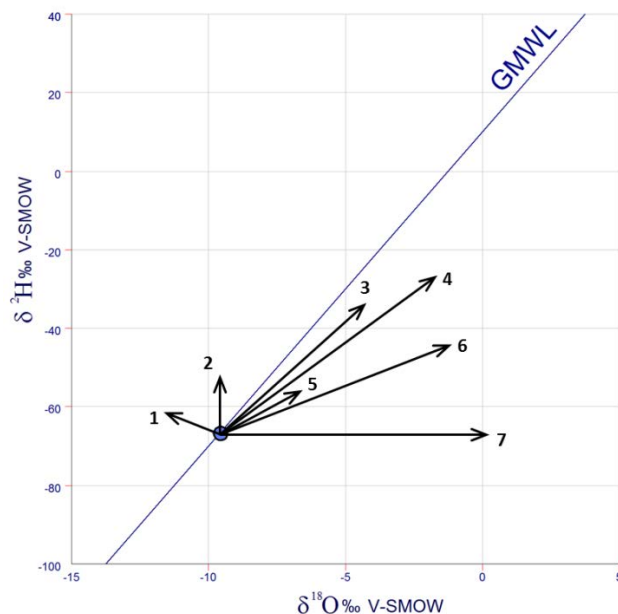


Figura 7.7 Evolución isotópica del agua subterránea en cuencas sedimentarias: 1. Hidratación de silicatos, 2. Intercambio con H₂S, H₂ e hidrocarburos, 3. Reducción de sulfatos, oxidación de compuestos orgánicos e hidrógeno molecular, 4. Evaporación de agua dulce.

7.5. Discusión de resultados

La caracterización isotópica estable y geoquímica de las aguas superficiales y subterráneas de la zona de estudio, se realizó mediante el análisis conjunto de los resultados de campo y laboratorio. Los resultados analíticos de cada laboratorio aparecen en los Anexos 4 y 5.

7.5.1. Isotopía estable y tritio ambiental

Los resultados de isótopos estables de H y O, especies químicas disueltas, mediciones de campo y contenido de tritio ambiental graficados en diagramas de dispersión x versus y , así como en diagramas químicos, permiten simplificar y explicar el funcionamiento de los flujos subterráneos que alimentan a los aprovechamientos subterráneos existentes en la zona de estudio. Los resultados de campo y laboratorio considerados en el análisis aparecen en la Tabla 7.1 y los resultados de los parámetros medidos en campo y laboratorio, aparecen en su totalidad en el Anexo 4.

Para definir la fuente de recarga de los flujos subterráneos que alimentan a los aprovechamientos subterráneos de la zona estudiada, se consideró la información generada por la red nacional de monitoreo de la composición isotópica de la precipitación pluvial (RENIP) operada por el IMTA, para establecer la Línea Meteorológica Local (LML). La cual es característica de las condiciones climatológicas, orográficas y ambientales de la zona. Los datos que mejor ajustan a la isotopía de las aguas subterráneas y superficiales de los acuíferos aledaños a la presa Zapotillo, son los obtenidos en la provincia de lluvia Meseta del Centro.

Los contenidos isotópicos de la lluvia que precipita y recarga los acuíferos de la zona, quedan definidos por una línea meteórica local (LML) que se ajusta a la ecuación siguiente:

$$\delta^2\text{H} = 8.01 * \delta^{18}\text{O} + 9.75$$

La Figura 7.8 muestra la distribución de los datos isotópicos de los aprovechamientos subterráneos y de las aguas superficiales junto con la LML de la zona estudiada. La distribución de los datos indica claramente que el agua de los acuíferos está formada por una mezcla de aguas de dos componentes extremas que han evolucionado en el sistema. Un grupo está constituido por agua expuesta a evaporación intensa, correspondiente a las muestras de los ríos denominados río San Gaspar de los Reyes (2) y presa El Zapotillo aguas arriba (23). El otro grupo extremo está integrado por muestras muy cercanas a la LML, correspondientes a los pozos Mexicacán (20), Ojuelos (22), Balneario Llano Grande (16), Llano grande (17) y Rancho Nuevo (11). Este segundo grupo identifica la composición isotópica del agua de lluvia precipitada localmente e infiltrada directamente en el suelo.

Las composiciones isotópicas del resto de los pozos caen sobre una línea de mezcla formada por los dos grupos extremos definidos en el párrafo precedente. En consecuencia, el agua subterránea los aprovechamientos aledaños al proyecto Zapotillo, ubicados en los acuíferos Yahualica, Jalostotitlán, Encarnación, Lagos de Moreno y Valle de Guadalupe, son recargados de manera efectiva por infiltración del agua de lluvia de la zona y agua proveniente de la red arroyos y ríos tributarios del río Verde, que drenan la cuenca de captación de dicho río.

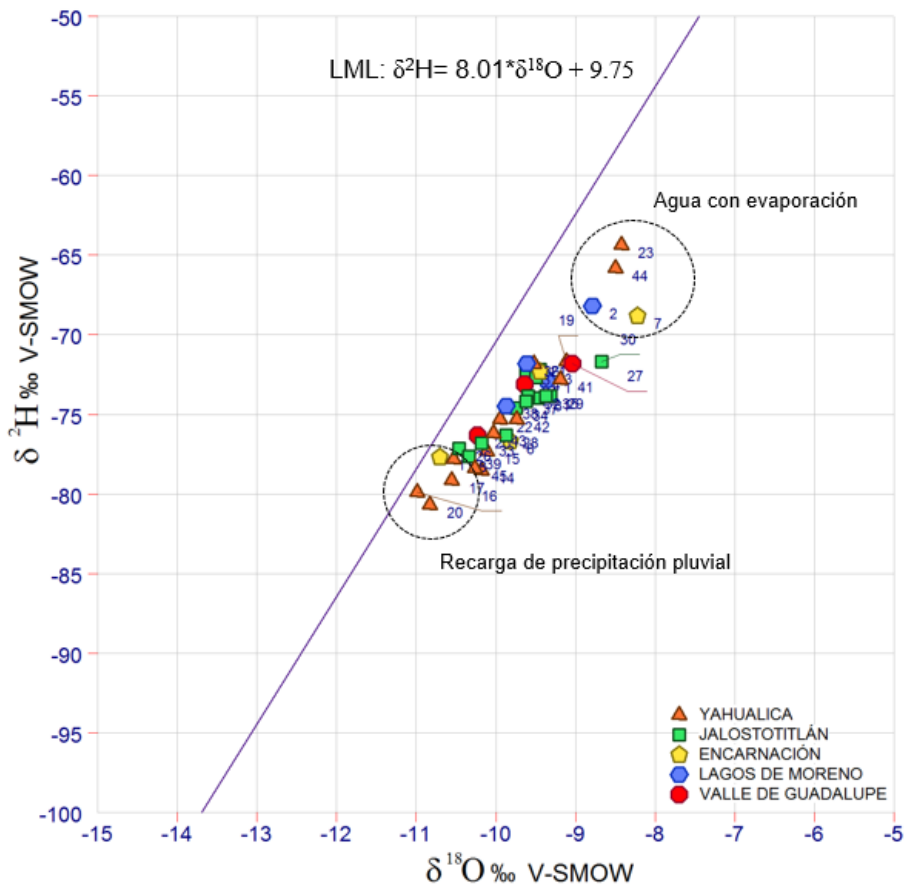


Figura 7.8 Composición isotópica estable de los aprovechamientos subterráneos

La temperatura del agua también es un trazador físico natural que permite conocer el comportamiento del agua subterránea. La gráfica de la Figura 7.9 es consistente con la información de las composiciones isotópicas de los pozos, e indica que las temperaturas menos altas con contenidos isotópicos más enriquecidos, corresponden al río Verde (23) y al influente río San Gaspar de los Reyes (2), así como a los pozos Salto Verde (44), La Esperanza (30) y a las filtraciones Teocaltitán (7). Estos últimos dos pozos reciben recarga de retornos de riego, aplicados en las inmediaciones donde están construidos (Anexo 3). Las filtraciones Teocaltitán se producen en un acantilado de roca, en la que se filtra el agua y por goteo se capta en una canaleta por la que escurre hacia un tinaco donde es almacenada para abastecimiento de los habitantes de la localidad.

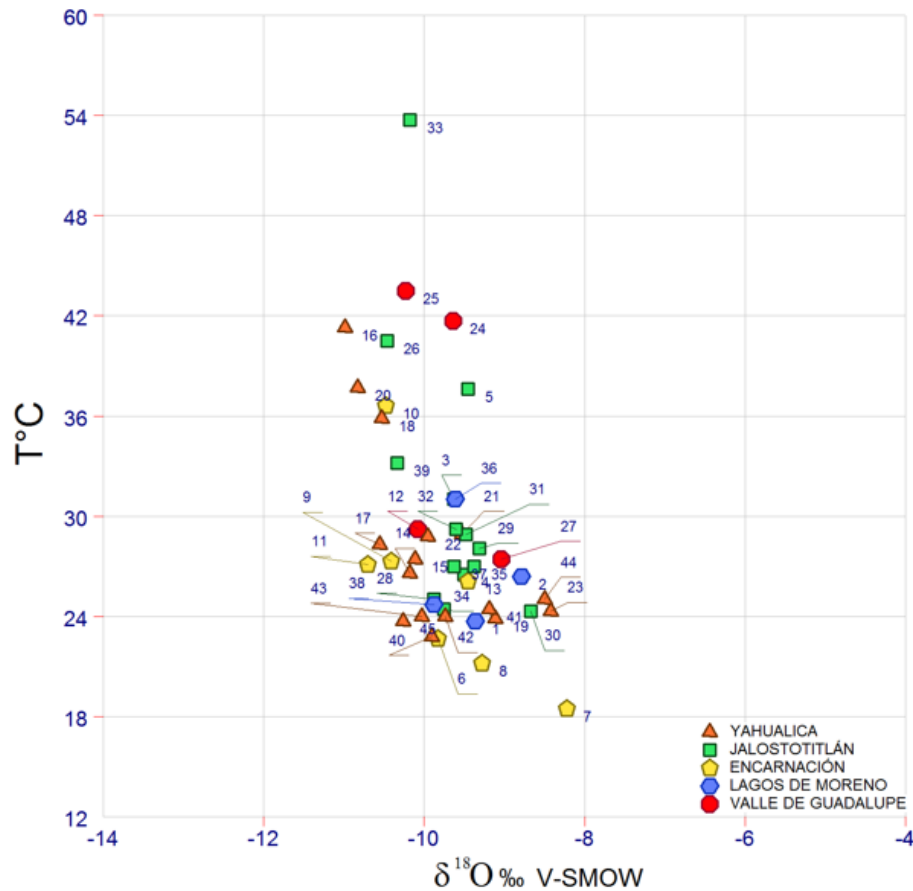


Figura 7.9 La gráfica de dispersión de datos de temperatura y $\delta^{18}\text{O}$ muestran que el agua subterránea recibe recarga proveniente de arroyos y ríos tributarios de la zona estudiada

Las conductividades eléctricas (CE) más bajas de los aprovechamientos presentan contenidos isotópicos más enriquecidos por efecto de evaporación, y corresponden a los arroyos y ríos de la zona, los cuales contribuyen en la recarga de los acuíferos aledaños a la presa, en porcentajes que dependen de las condiciones hidrogeológicas del medio físico y de las características constructivas de los pozos (Figura 7.10, Tabla 7.2).

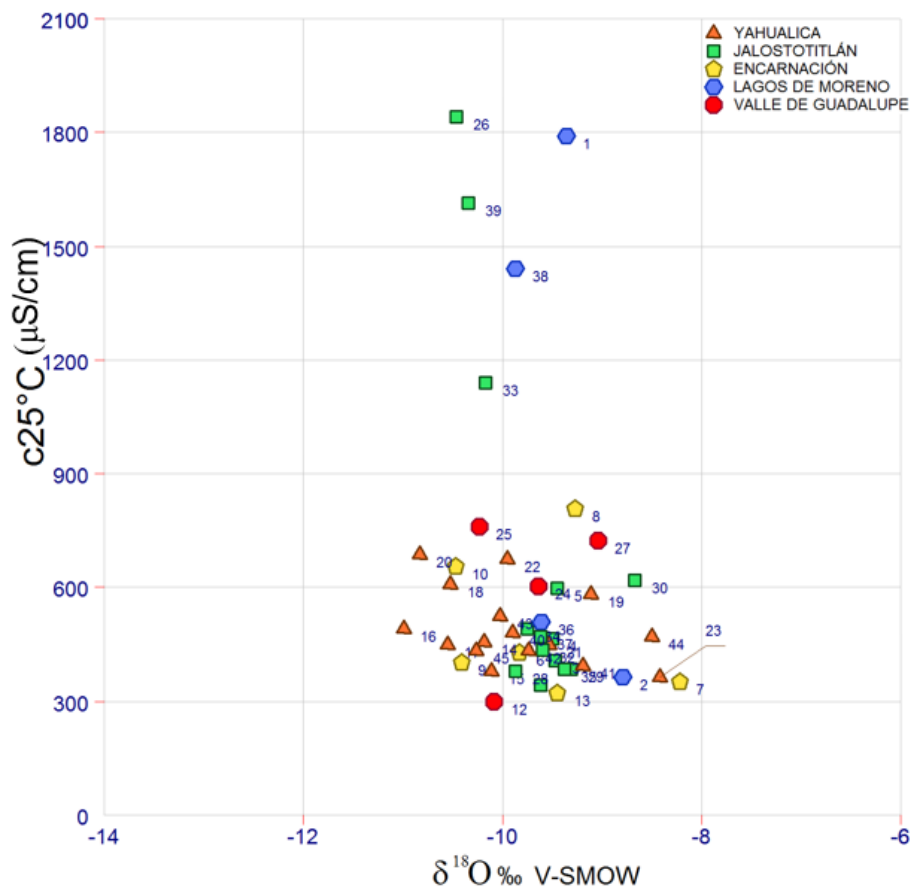


Figura 7.10 La gráfica de dispersión de datos de CE y $\delta^{18}\text{O}$, CE más bajas corresponde a agua de arroyos y ríos (estos contribuyen en la recarga de los acuíferos)

Tabla 7.2 Resultados de deuterio y oxígeno-18 de aprovechamientos subterráneos

Núm.	#Lab/IMTA	Identificación	Fecha de muestreo	Coordenadas		Altitud (msnm)	CE (µs/cm)	δ ¹⁸ O (‰)	1 δ (±‰)	δ ² H (‰)	1 δ (±‰)
				X	Y						
1	W-1671	San Gaspar de los Reyes	25/08/2018	102.5023	21.2936	1678	1790	-9.36	0.14	-72.9	0.14
2	W-1672	Río San Gaspar de los Reyes	25/08/2018	102.5095	21.2851	1669	366	-8.79	0.02	-68.2	0.05
3	W-1673	Rancho Viejo	25/08/2018	102.5727	21.2769	1785	345	-9.62	0.08	-72.4	0.03
4	W-1674	San Nicolás de las Flores	25/08/2018	102.5498	21.2902	1682	465	-9.5	0.1	-72.7	0.33
5	W-1675	Rancho Cañadas de Coca	26/08/2018	102.4899	21.2296	1801	598	-9.45	0.01	-72.2	0.18
6	W-1676	Santa Bárbara (Mascua)	26/08/2018	102.6496	21.3608	1749	429	-9.83	0.04	-76.7	0.16
7	W-1677	Teocaltitán (infiltración de roca)	26/08/2018	102.6323	21.2919	1673	353	-8.22	0.07	-68.8	0.25
8	W-1678	Noria Teocaltitán	26/08/2018	102.6337	21.2909	1663	809	-9.27	0.15	-70.2	0.4
9	W-1679	Río Teocaltitán	26/08/2018	102.6289	21.2823	1651	401	-10.41	0.06	-75.7	0.22
10	W-1680	Fraccionamiento Maravillas (Teocaltiche)	27/08/2018	102.5734	21.423	1727	656	-10.47	0.01	-78.3	0.51
11	W-1681	Rancho Nuevo	27/08/2018	102.5264	21.3384	1679	2620	-10.7	0.02	-77.7	0.44
12	W-1682	Apulco (Aculco)	27/08/2018	102.6938	21.3865	1845	300	-10.08	0.15	-76.5	0.1
13	W-1683	Ostotán Abajo	27/08/2018	102.6665	21.3117	1723	322	-9.45	0.13	-72.3	0.35
14	W-1684	Loreto	27/08/2018	102.6938	21.2838	1812	458	-10.18	0.1	-78.5	0.06
15	W-1685	Cañadas de Islas	28/08/2018	102.8402	21.2471	1770	381	-10.11	0.14	-77.3	0.33
16	W-1686	Balneario Llano Grande	28/08/2018	102.8379	21.2818	1883	490	-10.99	0.1	-79.9	0.38
17	W-1687	Llano Grande	28/08/2018	102.8453	21.2968	1954	450	-10.55	0.13	-79.1	0.46
18	W-1688	Labor de la Concepción	28/08/2018	102.7815	21.2359	1754	609	-10.52	0.14	-77.8	0.27
19	W-1689	Santuario de Jesús	28/08/2018	102.7715	21.2177	1690	582	-9.11	0.01	-71.7	0.1
20	W-1690	Mexicacán	29/08/2018	102.774	21.2664	1744	687	-10.83	0.08	-80.7	0.05
21	W-1691	Ojuelos	29/08/2018	102.6725	21.2592	1761	449	-9.53	0.08	-71.8	0.29
22	W-1692	Acasico	29/08/2018	102.8286	21.2113	1650	675	-9.95	0.05	-75.3	0.03
23	W-1693	Presa El Zapotillo (Aguas Arriba)	30/08/2018	102.8154	21.1439	1565	364	-8.42	0.05	-64.4	0.14
24	W-1694	Cañadas de Obregón (Tacachime)	31/08/2018	102.6488	21.1374	1815	605	-9.64	0.14	-73.1	0.45
25	W-1695	Temacapulín (Balneario La Peñita)	31/08/2018	102.7056	21.1841	1616	762	-10.23	0.05	-76.3	0.22
26	W-1696	La Mesa (Granja de pollos)	01/09/2018	102.6515	21.1926	1807	1841	-10.46	0.07	-77.1	0.36
27	W-1697	San José (Granja de pollos)	01/09/2018	102.6429	21.1704	1823	725	-9.04	0.07	-71.8	0.03
28	W-1698	Loma de Alba	01/09/2018	102.5753	21.1787	1790	380	-9.87	0.1	-76.3	0.33
29	W-1699	PROAN (Granja de pollos)	02/09/2018	102.6088	21.1957	1764	385	-9.31	0.12	-73.9	0.31
30	W-1700	La Esperanza	02/09/2018	102.5055	21.1566	1849	620	-8.67	0.02	-71.7	0.4
31	W-1701	Rancho La Joya	03/09/2018	102.5482	21.249	1791	407	-9.47	0.05	-74	0.13
32	W-1702	Santa Isabel	03/09/2018	102.569	21.2441	1743	436	-9.6	0.1	-73.9	0.33
33	W-1703	La Cueva (Santa Rosalía)	03/09/2018	102.5929	21.2372	1728	1140	-10.17	0.15	-76.8	0.56
34	W-1704	Rincón de Guzmán	03/09/2018	102.6347	21.2405	1757	490	-9.75	0.07	-74.6	0.11
35	W-1705	Rancho Jiménez	04/09/2018	102.5268	21.2567	1795	385	-9.38	0.14	-73.9	0.01
36	W-1706	El Jabalí	05/09/2018	102.5067	21.2672	1770	510	-9.61	0.05	-71.8	0.06
37	W-1707	El Ipazote	05/09/2018	102.517	21.2407	1796	471	-9.62	0.11	-74.2	0.18
38	W-1708	La Lagunita	05/09/2018	102.4017	21.3304	1815	1440	-9.87	0.13	-74.5	0.81
39	W-1709	El Salitre	06/09/2018	102.6823	21.1912	1673	1614	-10.34	0.1	-77.6	0.07
40	W-1710	La Salud	07/09/2018	102.886	21.2047	1909	480	-9.9	0.01	-77.2	0.13
41	W-1711	Fraccionamiento El Mirador	07/09/2018	102.8722	21.165	1850	394	-9.19	0.14	-72.8	0.42
42	W-1712	La Soledad de Arriba	07/09/2018	102.8476	21.1575	1814	433	-9.74	0.05	-75.3	0.49
43	W-1713	Rincón de San Lorenzo	08/09/2018	102.838	21.1706	1834	524	-10.02	0.14	-76.2	0.08
44	W-1714	Salto Verde	08/09/2018	102.8685	21.1171	1826	470	-8.5	0.12	-65.8	0.78
45	W-1715	Asilo Presbítero Demetrio Mora	08/09/2018	102.8814	21.1928	1889	433	-10.26	0.1	-78.4	0.35

La presencia de litio en el agua subterránea es un indicador de la profundidad o regionalidad de los flujos que alimentan a los aprovechamientos de agua subterránea. A medida que se incrementa el contenido de esta especie química, indica el grado de mineralización que ha experimentado el flujo y el mayor tiempo de residencia en el medio físico. Estos pozos tienen valores $\delta^{18}\text{O}$ comprendidos entre -9.3 y -10.7‰ (Vs. VSMOW), indicando que son flujos profundos recargados exclusivamente por agua de lluvia y que no reciben recarga proveniente de los cauces naturales que conducen los escurrimientos de la cuenca (Figura 7.11).

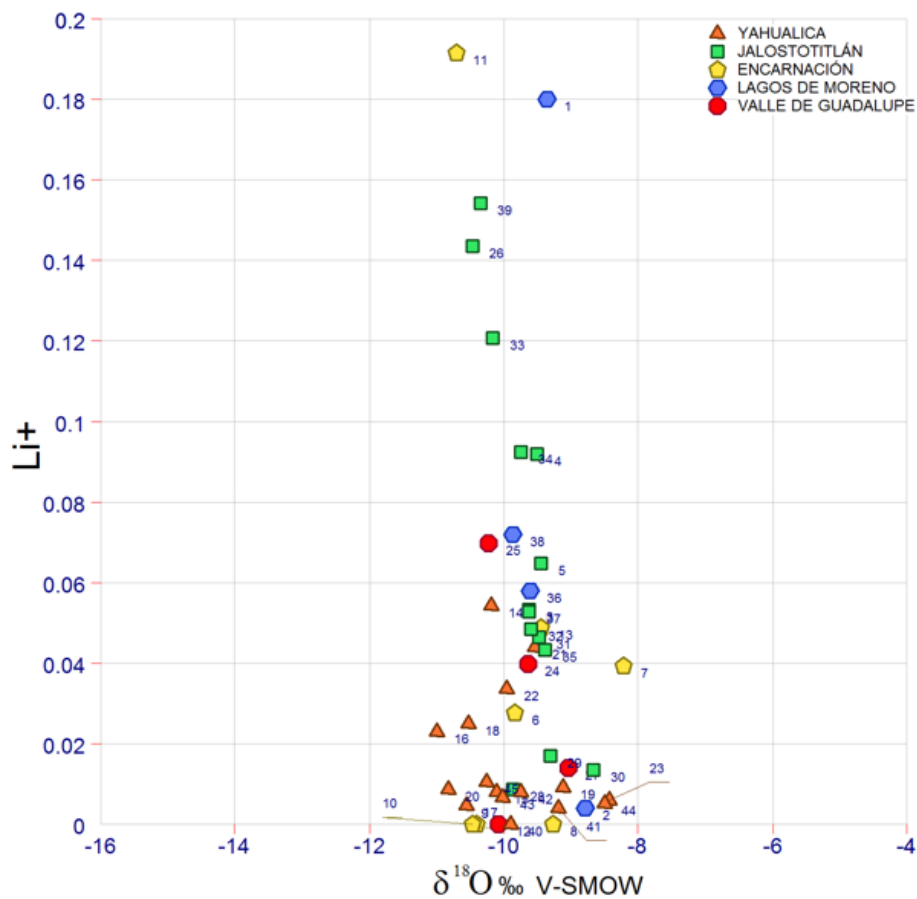


Figura 7.11 La gráfica de dispersión de datos de Li^+ y $\delta^{18}\text{O}$, el contenido de litio indica que los aprovechamientos son recargados por flujos regionales y que la recarga efectiva es por infiltración de lluvia

7.5.2. Hidroquímica

Los diagramas hidroquímicos son representaciones gráficas que facilitan la visualización de las características químicas del agua para su clasificación en tipos y familias de agua. El tipo de agua se define por los constituyentes químicos disueltos que contribuyen desde el punto de vista aniónico y catiónico, que permiten establecer las principales familias de agua presentes en la zona de estudio, y comprender su contexto hidrogeoquímico.

Con el diagrama de Piper, se obtiene el tipo o familia de agua a la que pertenecen las muestras de agua analizadas. Los cationes y aniones se representan en un gráfico compuesto por tres partes, dos triángulos y un rombo (Figura 7.12). El diagrama se construye expresando las concentraciones de los parámetros químicos mayoritarios en miliequivalentes por litro (meq/l) y posteriormente se convierten en porcentajes. Los triángulos únicamente indican las proporciones de los cationes y aniones presentes en la muestra de agua, no su concentración.

En los vértices del triángulo izquierdo del diagrama se grafican los cationes principales, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+ , y en los vértices del triángulo de la derecha, los aniones HCO_3^- , SO_4^- y $\text{Cl}^- + \text{NO}_3^-$, a cada vértice le corresponde el 100% de un anión o catión. Los valores de los cationes y aniones graficados en cada triángulo, son proyectados en el rombo de la parte central del diagrama para obtener la clasificación de la familia o tipo de agua. Se define al agua mixta como aquella que se grafica al centro de cada triángulo por no haber ion predominante.

Adicionalmente, se utilizó el diagrama de Stiff, que es otro tipo de representación gráfica para los datos químicos, donde la proporción de concentraciones de los cationes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+) y los aniones (HCO_3^- , SO_4^- , Cl^-) de la muestra de agua, se presentan mediante vértices que se extienden horizontalmente indicando la cantidad existente de cada uno de los iones expresados, de la misma manera que en el diagrama de Piper, en meq/l. Hacia el lado izquierdo de la figura se presentan los cationes y hacia el derecho los aniones. La forma del polígono resultante permite visualizar diferentes tipos de agua o la mineralización de la misma. Este diagrama fue elaborado también para todas las muestras analizadas.

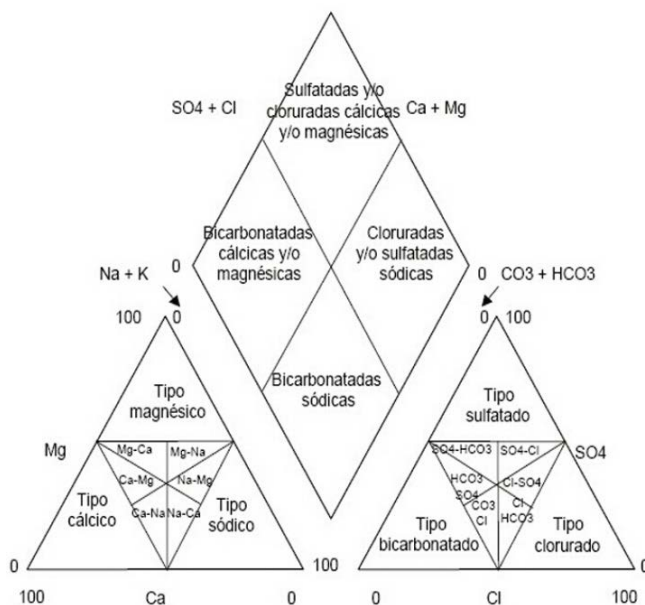


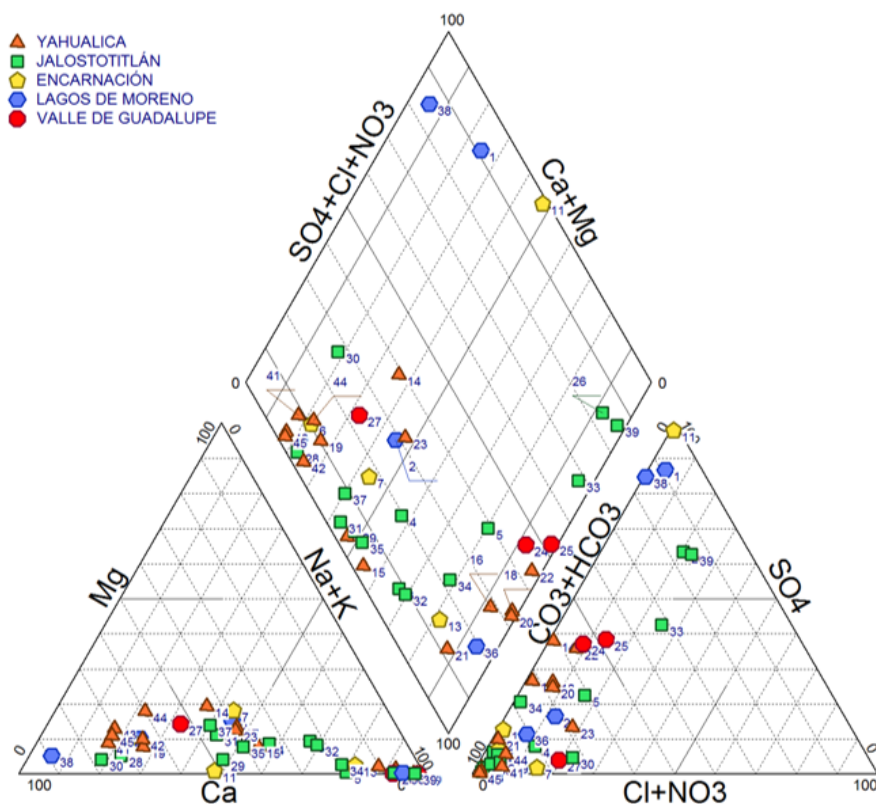
Figura 7.12 Diagrama de Piper con la clasificación de las familias o tipos de agua

De acuerdo con el diagrama de Piper la clasificación de las familias o tipos de agua son: Bicarbonatada-Cálcica y Bicarbonatada-Sódica predominantemente (Figura 7.13). En la primera familia se ubican los escurrimientos superficiales que drenan la cuenca a través de los ríos Verde (23) y San Gaspar de los Reyes (2) y que contribuyen en la recarga subterránea de los pozos La Esperanza (30), el agua que se filtra a través de los intersticios del banco de roca de Teocaltitán (7), Santuario de Jesús (19), San José (27), El Mirador (41), Rancho La Joya (31), El Ipazote (37), La Soledad de Arriba (42), Loma de Alba (28) y Santa Bárbara (6). Adicionalmente en la misma familia de agua Bicarbonatada-Cálcica se ubican pozos que reciben recarga efectiva por infiltración directa de la lluvia como son los pozos Loreto (14) y Asilo Presbítero Demetrio Mora (45).

Otra familia geoquímica de agua predominante en la zona estudiada, lo conforma el agua Bicarbonatada-Sódica que presentan los pozos: Rancho Viejo (3), San Nicolás de las Flores (4), Rancho Cañadas de Coca (5), Ostotán Abajo (13), Balneario Llano Grande (16), Llano Grande (17), Labor de la Concepción (18), Mexxicacán (20), Ojuelos (21), Acasico (22), Cañadas de Obregón (24), Temacapulín (25), Santa Isabel (32), Rincón de Guzmán (34) y Rancho Jiménez (35).

Las familias geoquímicas que han evolucionado por mayores recorridos en el medio físico y tiempos de residencia son las Sulfatadas Sódicas que presentan los pozos: La Mesa (26), La Cueva (33) y El Salitre (39).

Finalmente la familia de agua que se clasifica como Sulfatada-Cálcica la integran los pozos: San Gaspar de los Reyes (1), Rancho Nuevo (11) y La Lagunita (38). Los cuales están en contacto con formaciones con depósitos de yeso.



No.	Aprovechamiento
1	San Gaspar de los Reyes
2	Río San Gaspar de los Reyes
36	El Jabalí
38	La Lagunita
3	Rancho Viejo
4	San Nicolás de las Flores
5	Rancho Cañadas de Coca
26	La Mesa (Granja de Pollos)
28	Loma de Alba
29	PROAN (Granja de Pollos)
30	La Esperanza
31	Rancho La Joya
32	Santa Isabel
33	La Cueva (Santa Rosalía)

No.	Aprovechamiento
34	Rincón de Guzmán
35	Rancho Jiménez
37	El Ipazote
39	El Salitre
6	Santa Bárbara (Mascua)
7	Teocaltitán (Infiltración de roca)
11	Rancho Nuevo
13	Ostotán Abajo
14	Loreto
15	Cañadas de Islas
16	Balneario Llano Grande
17	Llano Grande
18	Labor de la Concepción
19	Santuario de Jesús

No.	Aprovechamiento
20	Mexicacán
21	Ojuelos
22	Acasico
23	Presa El Zapotillo (Aguas Arriba)
41	Fraccionamiento El Mirador
42	La Soledad de Arriba
43	Rincón de San Lorenzo
44	Salto Verde
45	Asilo Presbítero Demetrio Mora
24	Cañadas de Obregón (Tacachime)
25	Temacapulín (Balneario La Peñita)
27	San José (Granja de Pollos)

Figura 7.13 Diagrama de Piper con la clasificación geoquímica de las familias de agua de los acuíferos aledaños a la presa El Zapotillo

En la clasificación de las aguas ayuda mucho la representación geoquímica mediante los diagramas de Stiff, con los cuales se visualizan claramente los iones predominantes, mismos que están representados en miliequivalentes por litro

(Meq/L). Adicionalmente se han incluido diagramas de Stabler, los cuales representan las concentraciones relativas de los aniones y cationes mayoritarios mediante barras horizontales, permitiendo observar los iones predominantes en la muestra de agua. Ambos diagramas de Stiff y Stabler se presentan para los aprovechamientos de los cinco acuíferos estudiados: acuífero Lagos de Moreno (Figura 7.14 y Figura 7.15), acuífero Jalostotitlán (Figura 7.16 y Figura 7.17), acuífero Encarnación (Figura 7.18 y Figura 7.19), acuífero Yahualica (Figura 7.20 y Figura 7.21) y acuífero Valle de Guadalupe (Figura 7.22 y Figura 7.23).

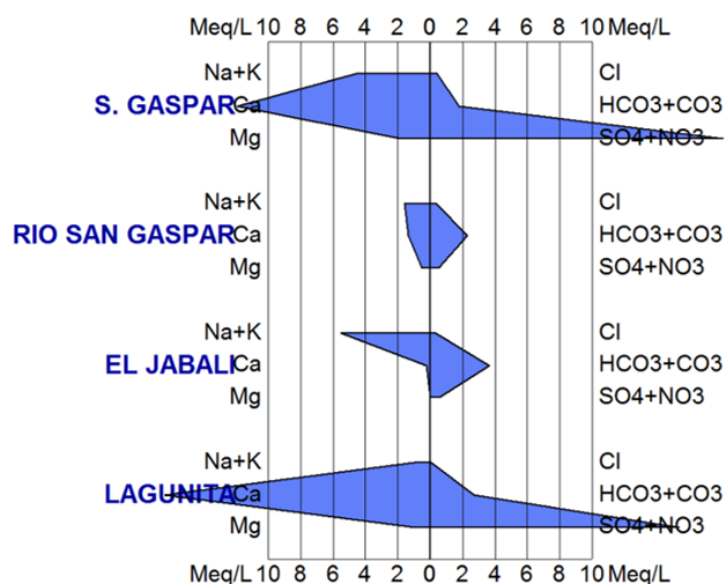


Figura 7.14 Diagrama de Stiff, acuífero Lagos de Moreno

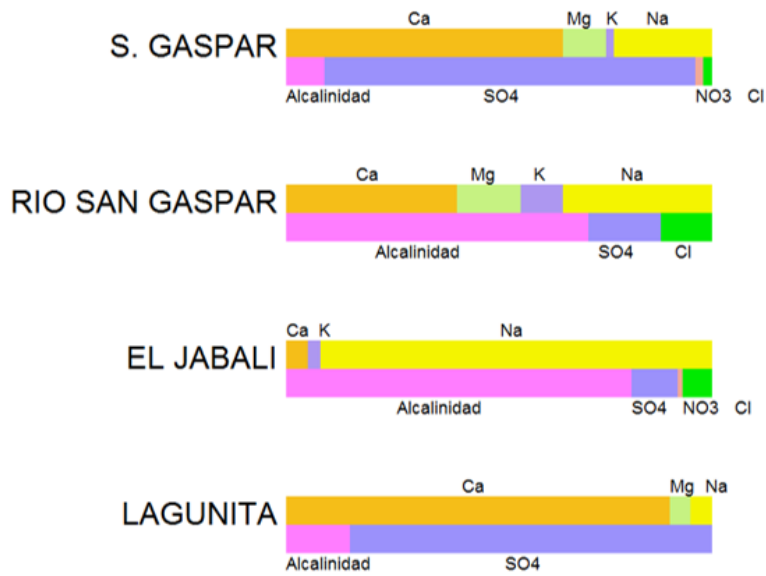


Figura 7.15 Diagrama de Stabler, acuífero Lagos de Moreno

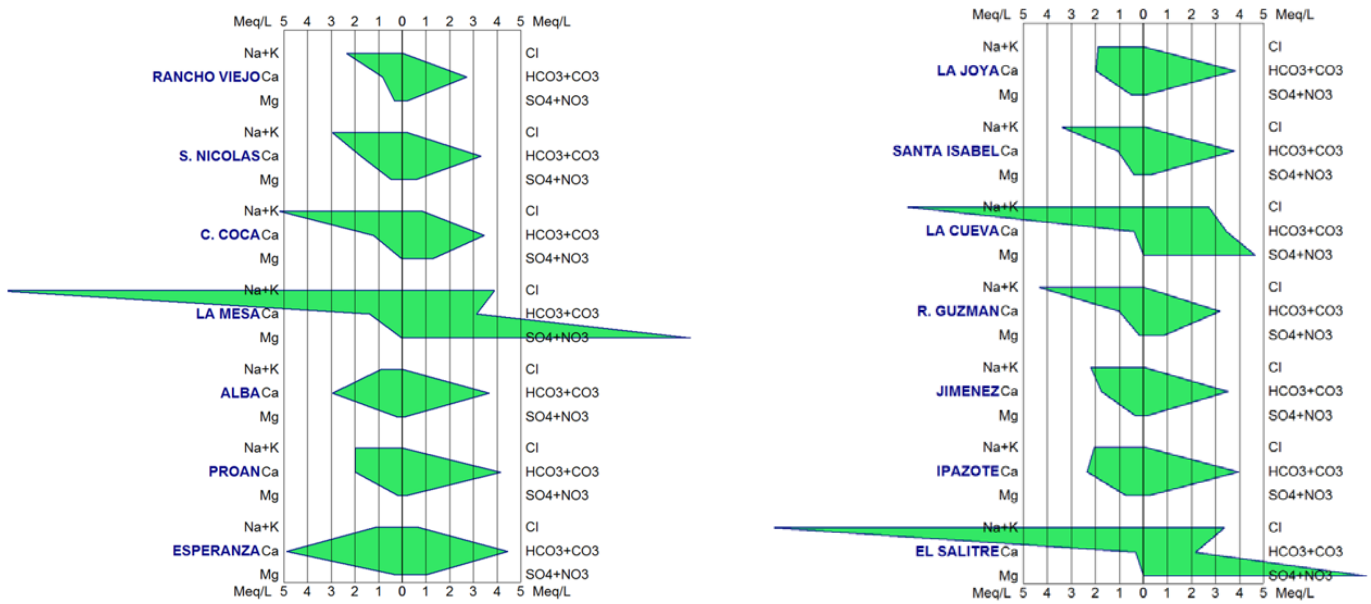


Figura 7.16 Diagrama de Stiff, acuífero Jalostotitlán

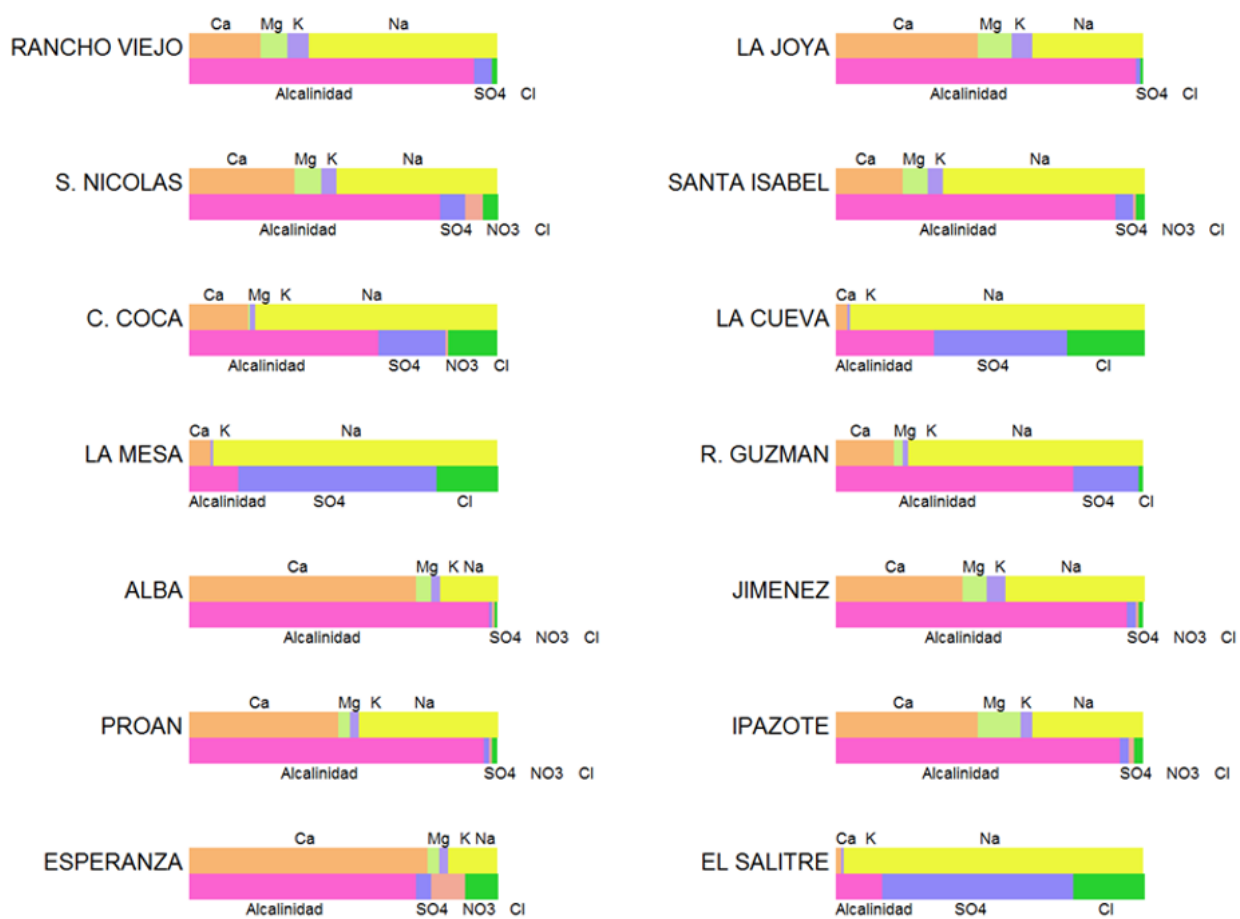


Figura 7.17 Diagrama de Stabler, acuífero Jalostotitlán

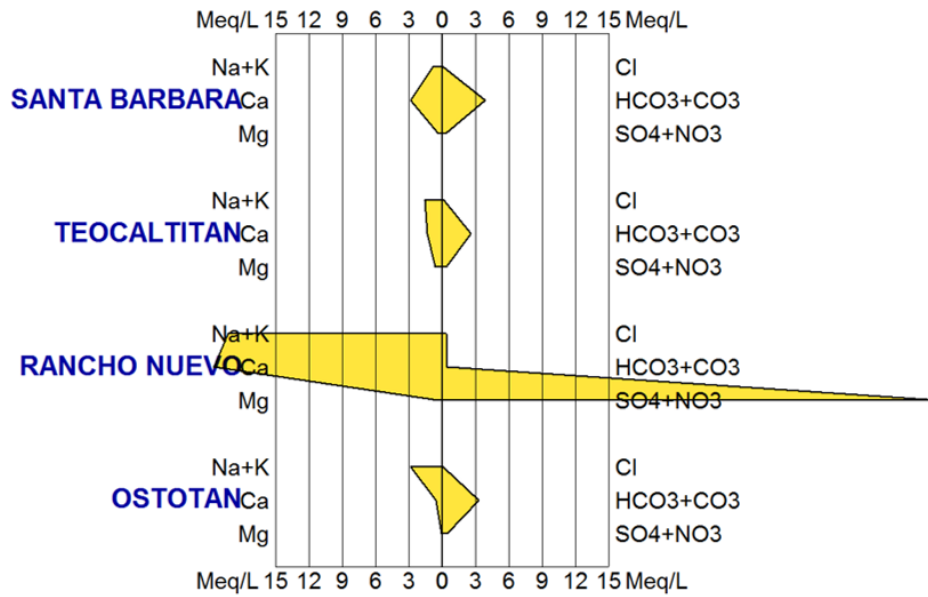


Figura 7.18 Diagrama de Stiff, acuífero Encarnación

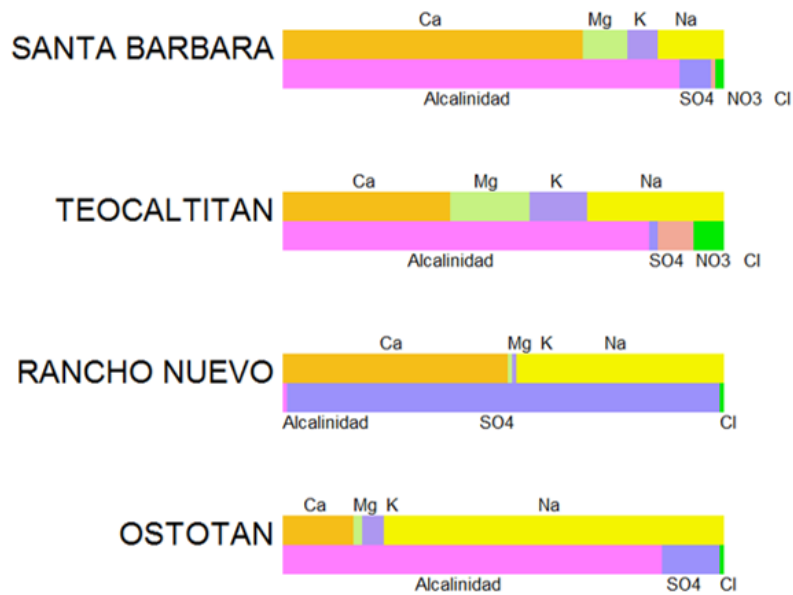


Figura 7.19 Diagrama de Stabler, acuífero Encarnación

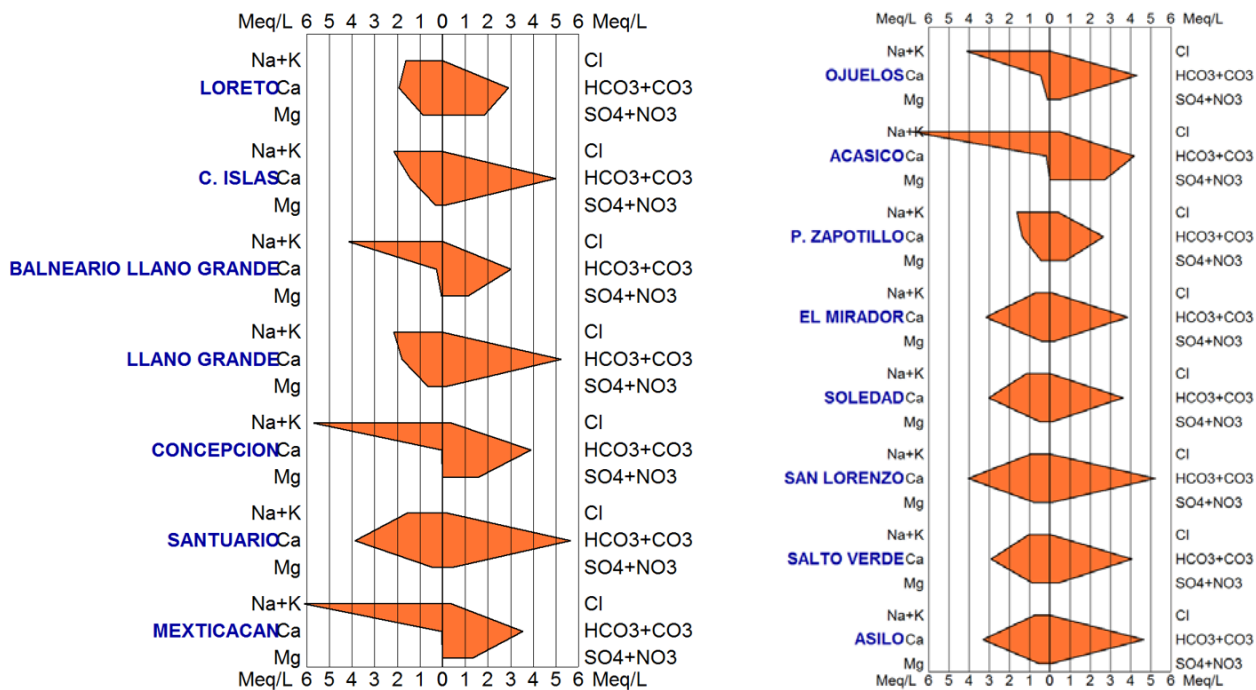


Figura 7.20 Diagrama de Stiff, acuífero Yahualica

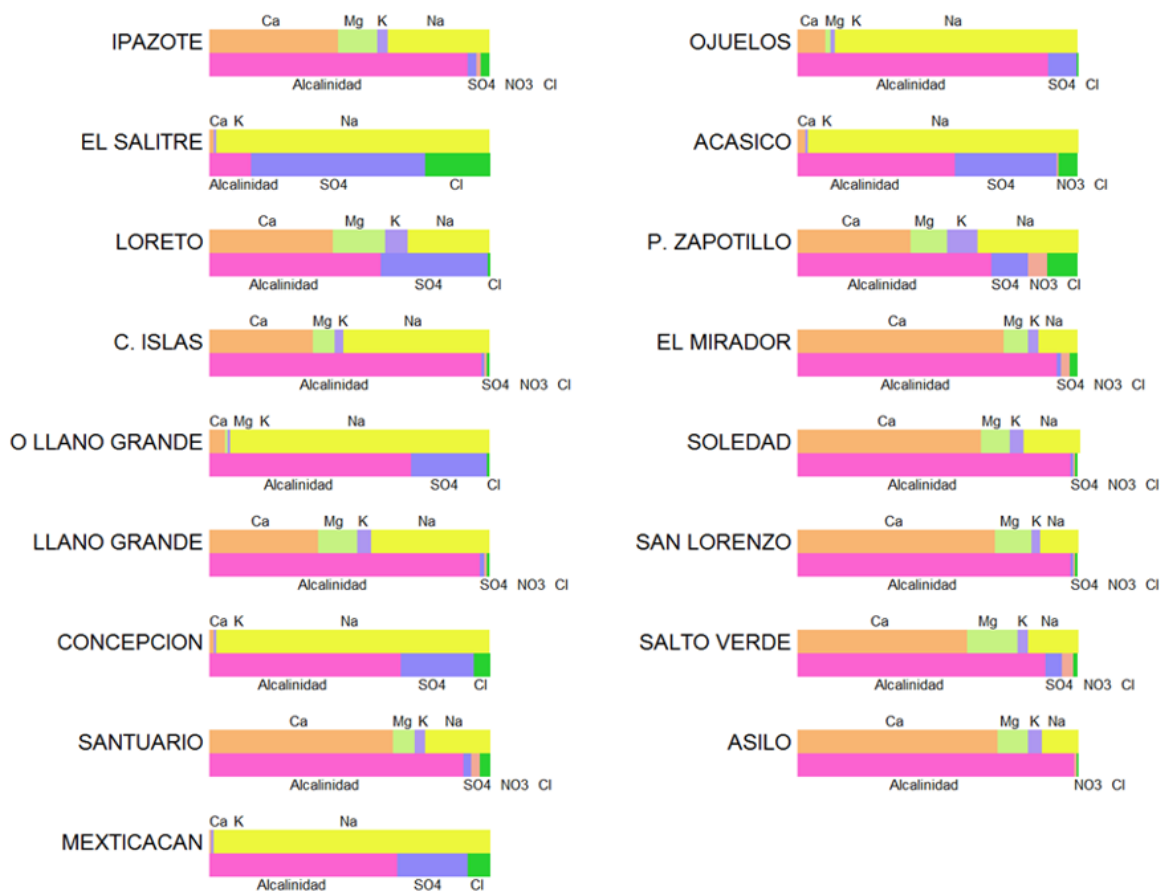


Figura 7.21 Diagrama de Stabler, acuífero Yahualica

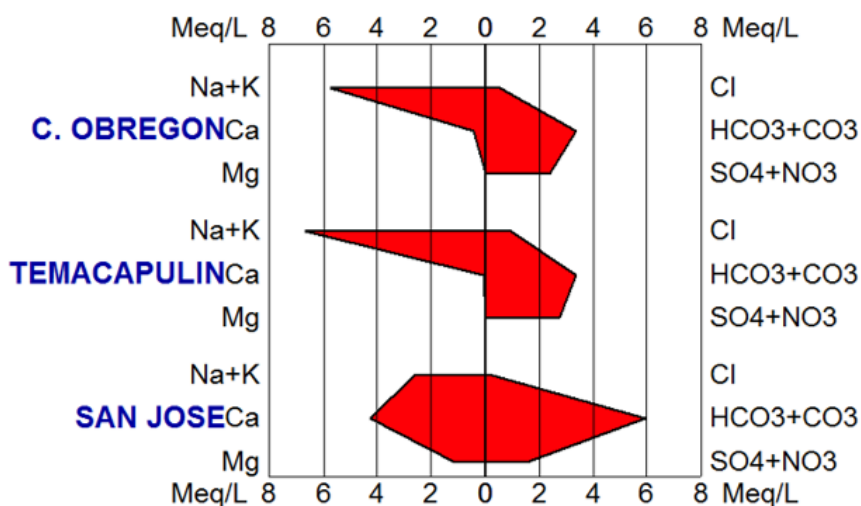


Figura 7.22 Diagrama de Stiff, acuífero Valle de Guadalupe



Figura 7.23 Diagrama de Stabler, acuífero Valle de Guadalupe

El bicarbonato correlaciona con el calcio para la mayoría de los aprovechamientos, asociado a otras especies químicas como sodio, magnesio y otros cationes. En el caso de los pozos San Gaspar de los Reyes (11), La Lagunita (38) y Rancho Nuevo (11) el calcio predomina asociado al sulfato como sulfato de calcio (Figura 7.24 y Figura 7.29).

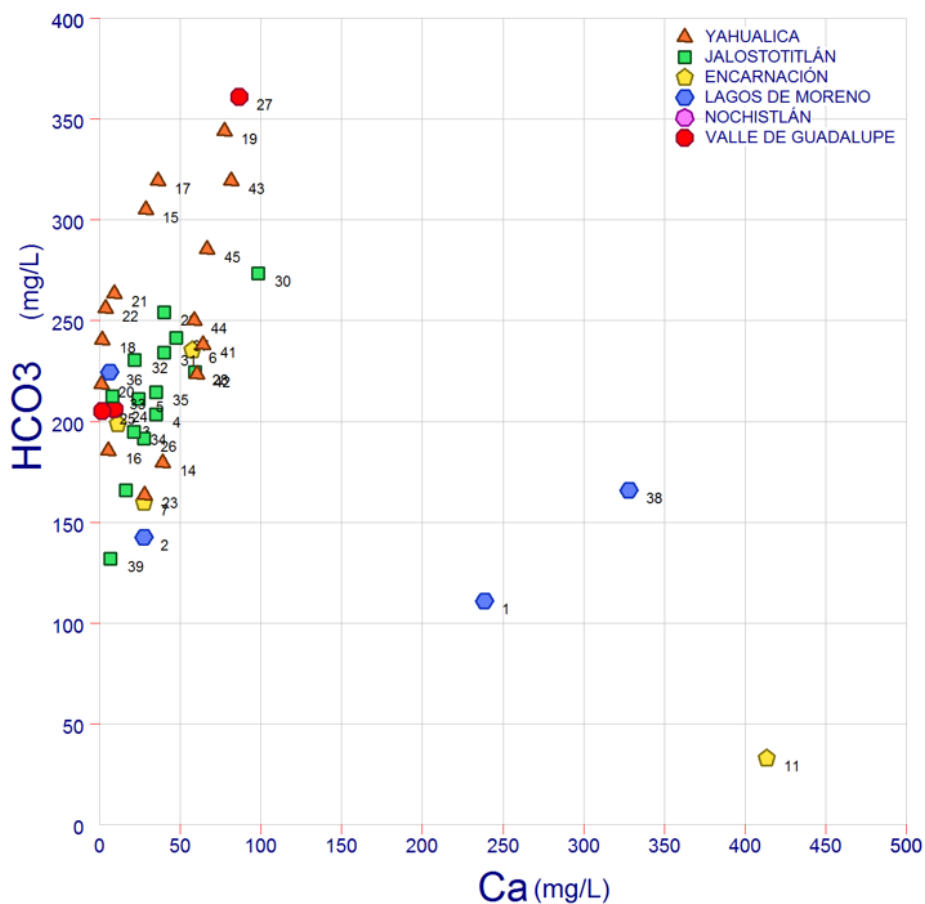


Figura 7.24 Diagrama de dispersión del bicarbonato versus calcio de los acuíferos estudiados

En los acuíferos aledaños a la presa Zapotillo, predominan las familias Bicarbonatada-Cálcica y Bicarbonatada-Sódica. El primer tipo está caracterizado por las aguas superficiales que drenan la cuenca a través de los ríos de la zona y por el agua de lluvia infiltrada directamente en el subsuelo.

El diagrama triangular para los cationes muestra una evolución de agua cálcica hacia agua sódica (Figura 7.25). Este proceso se conoce como intercambio catiónico, donde el calcio del agua subterránea se intercambia con el sodio de arcillas y materiales detríticos del acuífero.

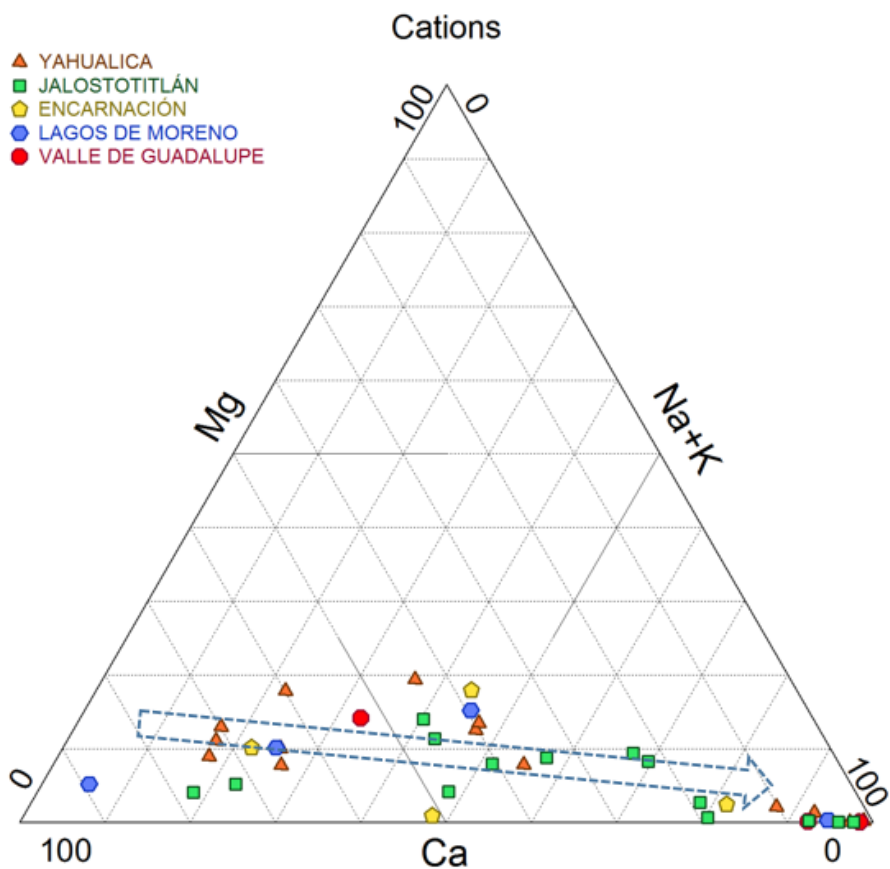


Figura 7.25 Diagrama de Piper de los acuíferos estudiados

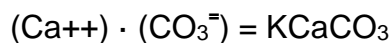
La superficie de las arcillas presenta cargas negativas predominantes, las cuales atraen cationes en una capa exterior difusa, en equilibrio dinámico con la solución. Los cationes adsorbidos están débilmente unidos y pueden llegar a intercambiarse con otros cationes de la solución. El cambio se producirá cuando un catión en el agua tenga más fuerza de adsorción y desplace a otros adheridos a las arcillas. Los divalentes son adsorbidos más fuertemente que los monovalentes y, dentro de cada grupo, tienen mayor fuerza los de menor radio iónico hidratado (Figura 7.26). La secuencia de mayor a menor fuerza es:



En consecuencia se puede concluir que las arcillas aportan parte del sodio existente en las aguas subterráneas de los acuíferos aledaños al proyecto Zapotillo (Figura 7.26). El origen del Na⁺ en los pozos La Cueva (33), El Salitre (39) y La Mesa (26)

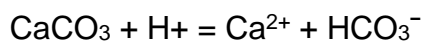
es aportado por contacto del agua con la roca, probablemente con formaciones que contienen halita.

Un agua en equilibrio con calcita cumple el siguiente producto



Al disminuir el calcio, el producto de la actividad de la ecuación es menor que el de la constante, lo cual promueve la disolución de la calcita.

La disolución se lleva a cabo por medio de la siguiente reacción:



Lo cual consume iones de hidrógeno, produciendo un aumento del pH, dado que son inversamente proporcionales. En la Tabla 7.1 se aprecia que al disminuir el calcio de las muestras aumenta el pH.

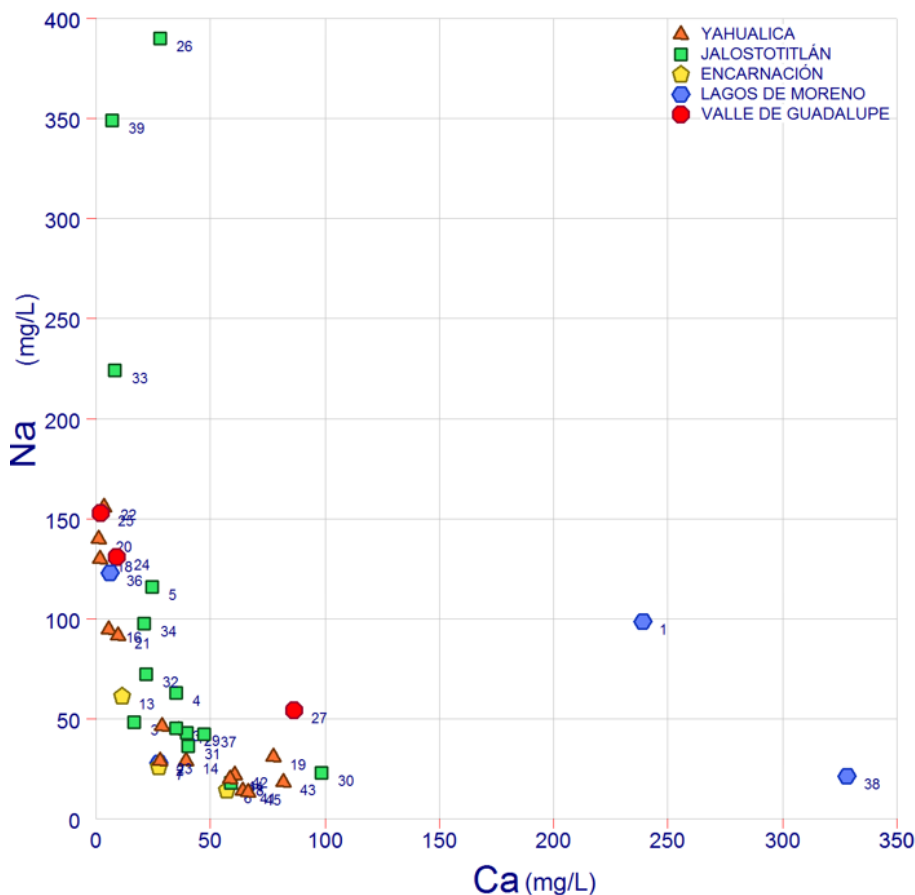


Figura 7.26 Diagrama de dispersión del sodio versus calcio de los acuíferos estudiados

El incremento del Ca^{++} coincide con la reducción del cloruro, excepto en los pozos La Cueva (33), El Salitre (39) y La Mesa (26), confirmando que el sodio proviene por intercambio catiónico con arcillas (Figura 7.27).

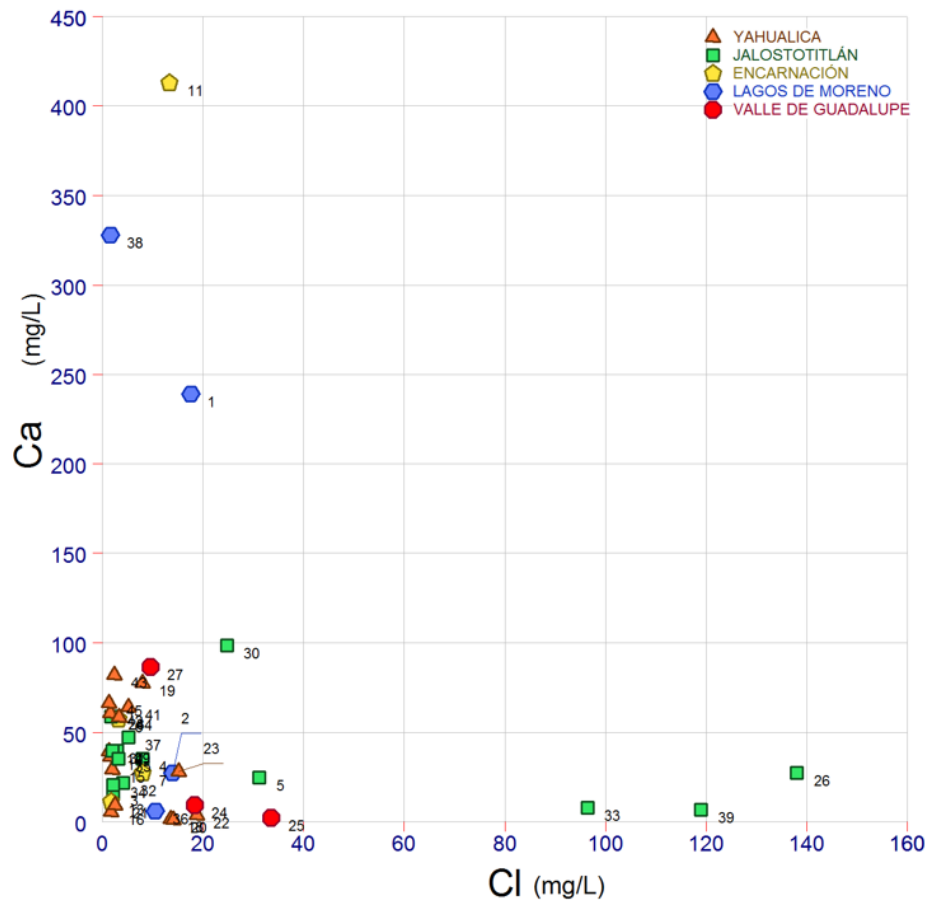


Figura 7.27 Diagrama de dispersión de calcio versus cloro de los acuíferos estudiados

El SO_4^- es la forma más oxidada y estable del azufre en las aguas subterráneas bajo condiciones aeróbicas. Por lo general es el anión mayoritario presente en las aguas naturales y geoquímicamente ejerce un control primario sobre las reacciones de óxido reducción en los sistemas naturales.

La reducción del sulfato ocurre ampliamente en las aguas subterráneas, es una especie química que define el redox de la secuencia terminal de los procesos de aceptación de electrones, ocurre después de la reducción del hierro y antes de la reducción del metano.

La concentración del anión sulfato se incrementa de manera relativamente baja a medida que se incrementa el sodio en la mayoría de los pozos. Los pozos con anomalías termales y químicas: 33, 39, 26 y 11 incrementan las concentraciones de ambas especies, debido a que los flujos que los recargan son profundos y están en contacto con formaciones que contienen yeso, anhidrita y halita (Figura 7.28).

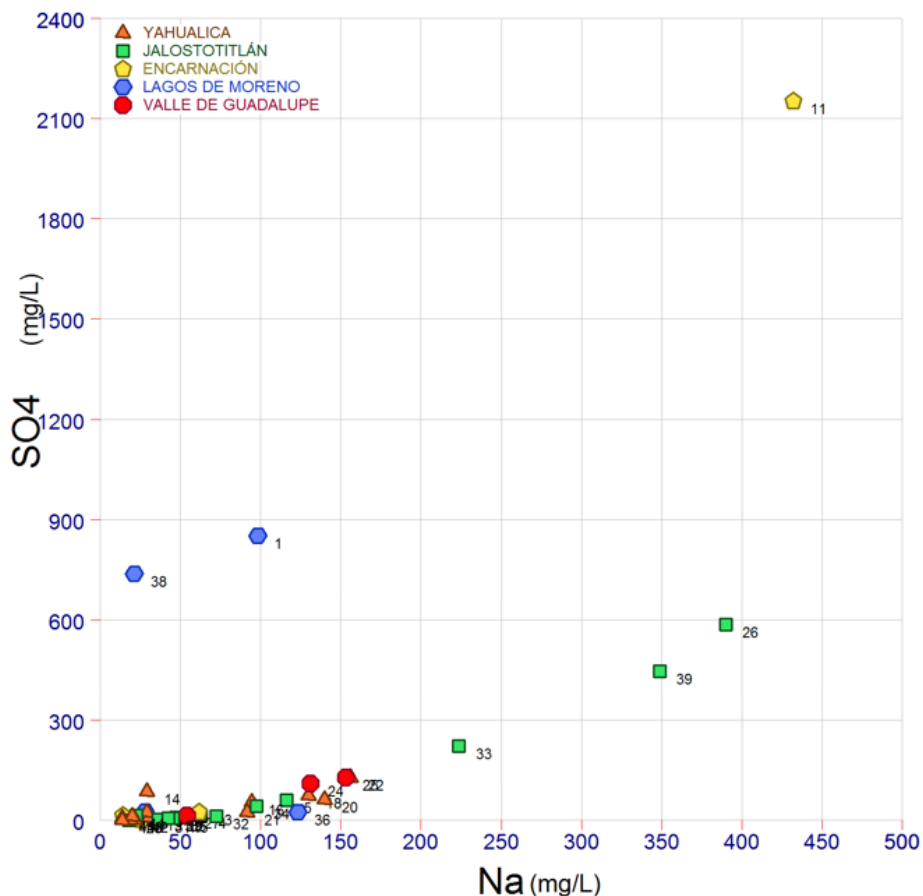


Figura 7.28 Diagrama de dispersión del anión sulfato versus sodio de los acuíferos estudiados

La presencia en las aguas de los pozos de concentraciones elevadas de sulfato se debe al contacto del flujo con rocas evaporitas, las cuales contienen materiales detríticos formados principalmente por calcita, dolomita, halita y yesos, pozos: La Cueva (33), El Salitre (39) y La Mesa (26). Estos minerales se forman en condiciones de evaporación intensa en donde existieron lagos en condiciones de cuencas endorreicas (Figura 7.28).

El agua subterránea que alimenta a los pozos La Lagunita (38), San Gaspar de los Reyes (1) y Rancho Nuevo (11) están en contacto con formaciones donde predominan rocas sedimentarias con contenidos elevados de evaporitas, como son yesos y anhidritas (Figura 7.29).

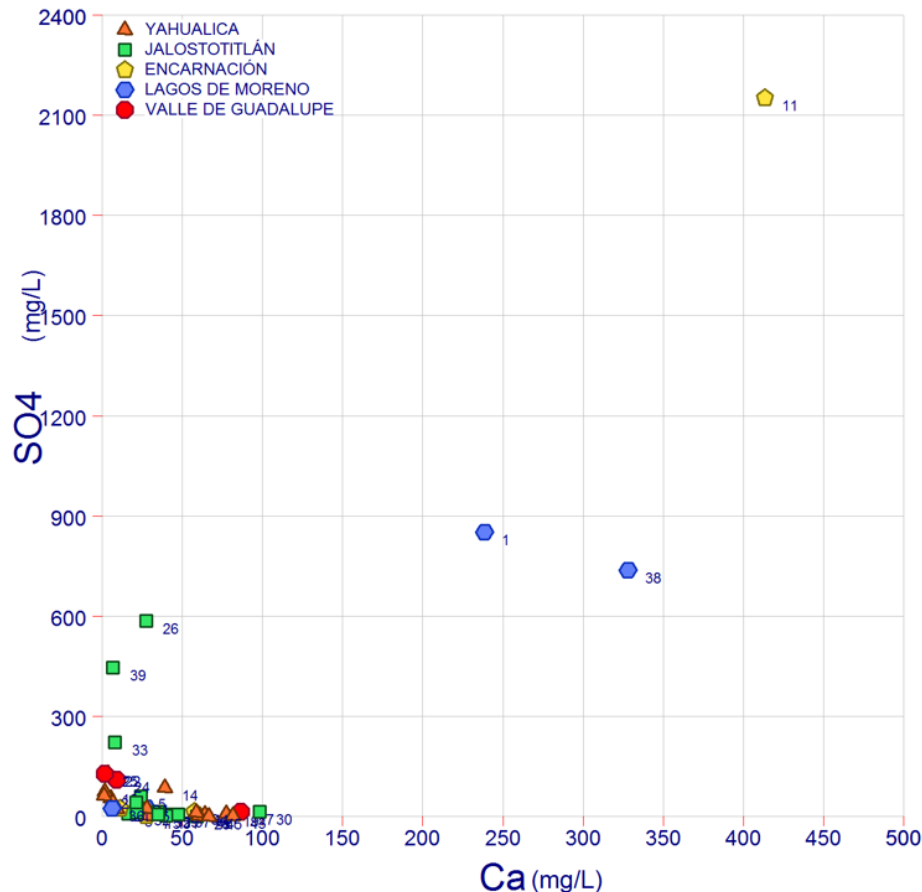


Figura 7.29 Diagrama de dispersión del ión sulfato con el catión calcio de los acuíferos estudiados

Es importante destacar que el coeficiente de actividad depende de la temperatura y la salinidad, entre otros factores, e influye en la actividad de los iones presentes y determina si en el agua subterránea se disolvería o precipitaría determinado mineral. El incremento de temperatura promueve la mineralización del agua subterránea cuando interacciona con la roca. En los acuíferos estudiados se distingue que al incrementarse la temperatura hay mayor concentración de sales disueltas, como es el caso de los pozos cuya temperatura está por arriba de los 36 grados centígrados. A temperatura de 25 °C el incremento de sales es por disolución en los pozos San Gaspar de los Reyes (1), La Lagunita (38) y Rancho Nuevo (11), ver Figura 7.30.

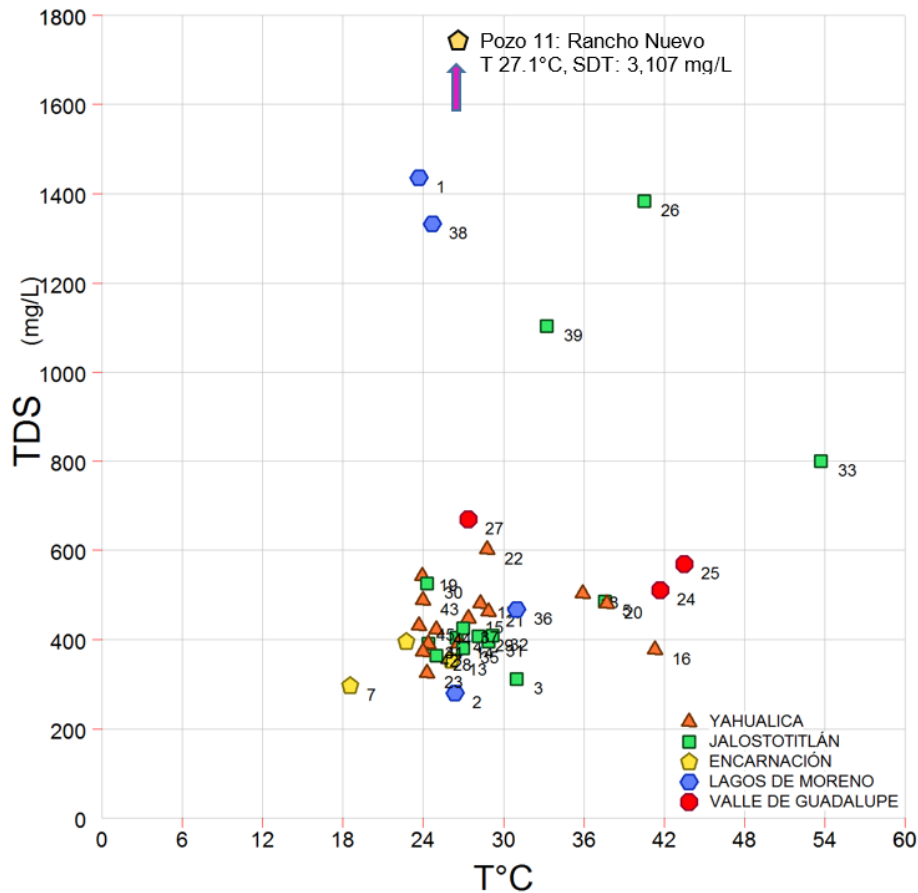


Figura 7.30 Diagrama de dispersión de los sólidos disueltos totales versus temperatura

El comportamiento de los iones minoritarios como el Li, B y Sr en las aguas subterráneas ayudan a concretar los diferentes procesos fisicoquímicos derivados del análisis de los iones mayoritarios. Aun cuando, por sí mismos no aportan información suficiente, su comportamiento es de utilidad en el diagnóstico de los procesos en los que están involucrados.

Su origen puede estar involucrado con procesos de interacción agua roca, reacciones que causan enriquecimiento significativo al estar el agua mucho tiempo en contacto con la roca. El estroncio como impureza en la matriz de las rocas que están en contacto con el agua, hace que estas se enriquezcan en dicha especie química. Estos elementos están presentes en el agua de mar en concentraciones muy superiores a las que se observan en las aguas dulces subterráneas.

La presencia de estroncio puede deberse a impurezas asociadas a algunos minerales como la aragonita, yeso, calcita y anhidrita, las cuales mediante la

interacción agua-roca se agregan al agua subterránea. Entre los constituyentes minoritarios, el estroncio es el que está más ligado a los procesos de disolución de rocas carbonatadas (Renau, 2010).

La concentración media de litio en las aguas subterráneas propuesto por Heider y Billing (1970) es de 50 $\mu\text{g/L}$. Las concentraciones más elevadas en los acuíferos de Lagos de Moreno y Jalostotitlán van de 1,330 a 300 $\mu\text{g/L}$, y sugieren que su aporte en está relacionado con flujos de circulación profunda enriquecidos en este elemento. Uno de los principales procesos que puede explicar las elevadas concentraciones de litio en las aguas, es la interacción entre fluidos calientes y rocas ricas en litio (Giménez, 1994).

Por tanto, la posible evidencia de recarga proveniente de flujos subterráneos de circulación profunda son la presencia de Li^+ , B y, en algunos casos, temperaturas elevadas en el agua subterránea. Los pozos que muestran esta característica son: San Gaspar de los Reyes (1), Rancho Nuevo (11), El Salitre (39), La Mesa (26) y La Cueva (33). La presencia de estroncio y litio puede deberse a impurezas asociadas a minerales como aragonita, yeso, calcita y anhidrita (Figura 7.31 y Figura 7.32).

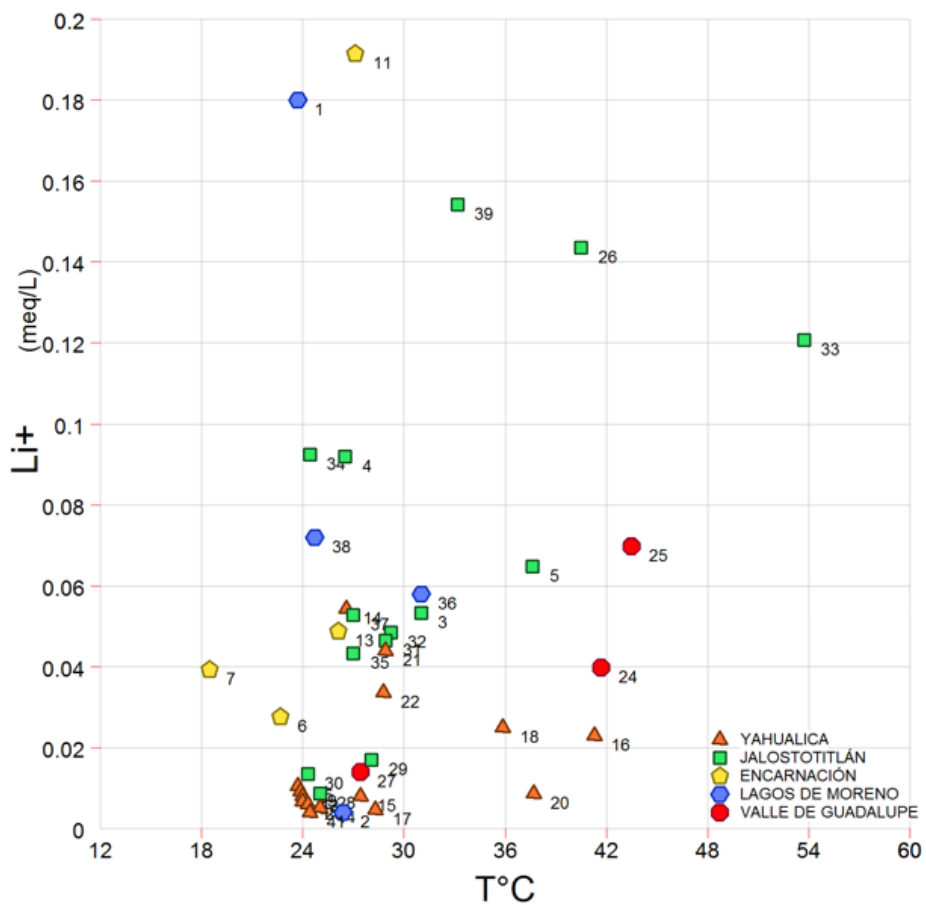


Figura 7.31 En el gráfico de dispersión del litio versus la temperatura se aprecia una gran variabilidad espacial

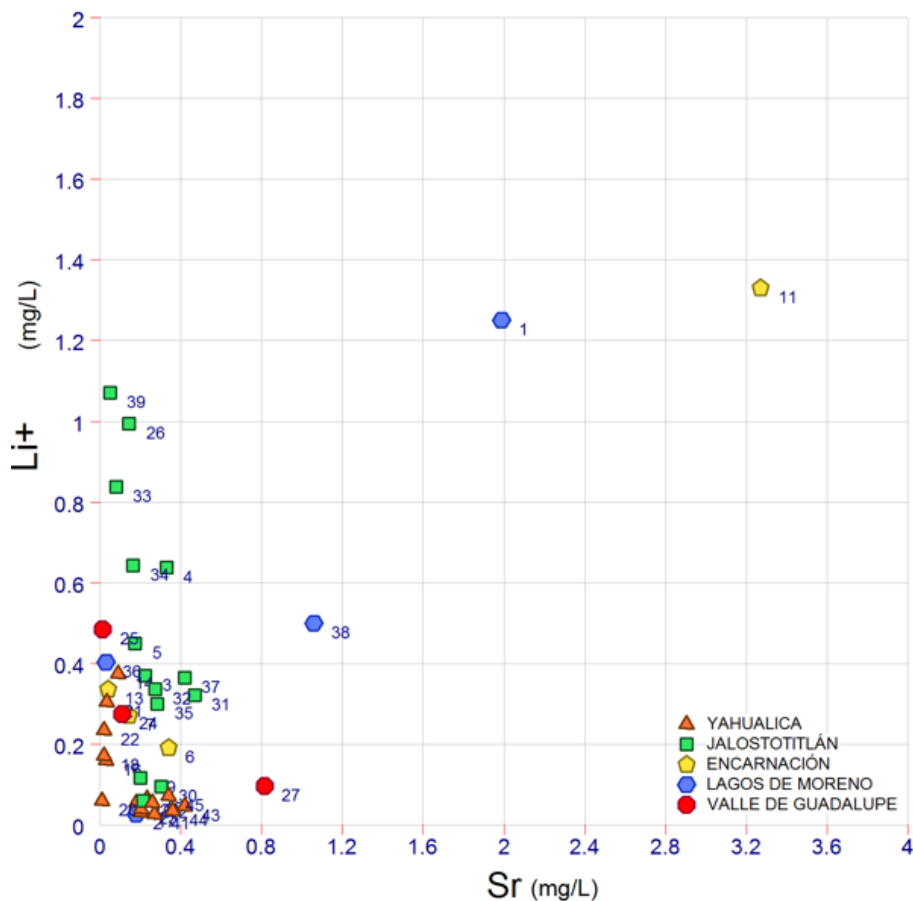


Figura 7.32 En el gráfico de dispersión del litio versus estroncio se aprecia concentraciones en valores bajos

Como parte de la información generada, mediante la aplicación de WATEQ Debye Hückel, se calcularon los coeficientes de actividad y las actividades químicas para aniones y cationes mayoritarios, así como los índices de saturación para los minerales: calcita, aragonita, dolomita, yeso y anhidrita. Los cuales permitirán su comparación con los que se obtengan cuando el proyecto de la presa El Zapotillo embalse las aguas del Río Verde (Tabla 7.3 a la Tabla 7.7).

En la Tabla 7.3 y Tabla 7.4 se presentan los coeficientes de actividad de cationes y aniones de los aprovechamientos muestreados y analizados.

Tabla 7.3 Condensado de los coeficientes de actividad de cationes

No.	Aprovechamiento	Ca	Mg	Na	K	Mn	Sr	Al
1	San Gaspar de los Reyes	0.52124	0.53094	0.84506	0.83703	0.10686	0.41754	0.14014
2	Río San Gaspar de los Reyes	0.74773	0.75034	0.92881	0.92738	0.33971	0.72086	0.47881
3	Rancho Viejo	0.75017	0.75278	0.92959	0.92814	0.34387	0.72333	0.48251
4	San Nicolás de las Flores	0.71616	0.71948	0.91852	0.9166	0.29313	0.68169	0.42225
5	Rancho Cañadas de Coca	0.71604	0.71953	0.91847	0.91638	0.29378	0.67987	0.41972
6	Santa Bárbara (Mascua)	0.70939	0.71281	0.91626	0.91428	0.28357	0.67374	0.41125
7	Teocaltitán (infiltración de roca)	0.73967	0.74236	0.92623	0.92477	0.32669	0.71191	0.46555
8	Noria Teocaltitán	0.7851	0.78695	0.94055	0.9396	0.40251	0.76631	0.54943
9	Río Teocaltitán	0.86148	0.86226	0.96311	0.96274	0.56356	0.85373	0.7006
10	Fraccionamiento Maravillas (Teocaltiche)	0.85121	0.85215	0.96017	0.95972	0.53953	0.8419	0.67894
11	Rancho Nuevo	0.43689	0.4511	0.80638	0.79163	0.06408	0.28859	0.06104
12	Apulco (Aculco)	0.8622	0.86298	0.96331	0.96295	0.56537	0.85447	0.70197
13	Ostotán Abajo	0.74358	0.74628	0.92748	0.92599	0.33323	0.71581	0.4713
14	Loreto	0.70977	0.71325	0.91639	0.91435	0.28438	0.67362	0.41108
15	Cañadas de Islas	0.72462	0.72776	0.92131	0.91952	0.30511	0.69216	0.43698
16	Balneario Llano Grande	0.75099	0.7537	0.92985	0.9283	0.34586	0.72319	0.48229
17	Llano Grande	0.71185	0.71531	0.91708	0.91506	0.28734	0.67599	0.41435
18	Labor de la Concepción	0.72041	0.72377	0.91992	0.91794	0.29976	0.68566	0.42781
19	Santuario de Jesús	0.68384	0.68793	0.90758	0.9051	0.25089	0.641	0.36765
20	Mexicacán	0.72447	0.72776	0.92126	0.91932	0.30565	0.69053	0.43467
21	Ojuelos	0.72186	0.72508	0.9204	0.91854	0.30129	0.6885	0.4318
22	Acasico	0.68888	0.69293	0.90931	0.90684	0.25748	0.64658	0.37489
23	Presa El Zapotillo (Aguas Arriba)	0.73522	0.73808	0.92478	0.92319	0.3204	0.70573	0.4565
24	Cañadas de Obregón (Tacachime)	0.71844	0.72194	0.91926	0.91716	0.29742	0.6823	0.42311
25	Temacapulín (Balneario La Peñita)	0.70837	0.71215	0.9159	0.91358	0.28377	0.66913	0.40494
26	La Mesa (Granja de pollos)	0.58535	0.59312	0.87139	0.86545	0.15353	0.5028	0.21289
27	San José (Granja de pollos)	0.66346	0.66819	0.90045	0.89746	0.22735	0.61377	0.33344
28	Loma de Alba	0.7208	0.72399	0.92006	0.91823	0.2995	0.68772	0.43071
29	PROAN (Granja de pollos)	0.72507	0.7282	0.92146	0.91966	0.30581	0.69262	0.43764
30	La Esperanza	0.67852	0.68276	0.90574	0.90314	0.24451	0.63406	0.35875
31	Rancho La Joya	0.72181	0.72504	0.92039	0.91853	0.30122	0.68844	0.43171
32	Santa Isabel	0.72579	0.72893	0.9217	0.9199	0.30693	0.69338	0.43871
33	La Cueva (Santa Rosalía)	0.67794	0.6828	0.90552	0.90228	0.24609	0.62727	0.35016
34	Rincón de Guzmán	0.7228	0.72594	0.92072	0.91893	0.30229	0.69031	0.43436
35	Rancho Jiménez	0.72456	0.72769	0.92129	0.9195	0.30499	0.69214	0.43695
36	El Jabalí	0.71874	0.72207	0.91937	0.91743	0.29705	0.68427	0.42586
37	El Ipazote	0.70772	0.71125	0.9157	0.91362	0.28165	0.67096	0.40744
38	La Lagunita	0.52459	0.5342	0.8465	0.83857	0.109	0.42192	0.14347
39	El Salitre	0.60325	0.61008	0.87831	0.87338	0.16804	0.53069	0.24037
40	La Salud	0.8203	0.8216	0.95117	0.95053	0.47098	0.80727	0.61771
41	Fraccionamiento El Mirador	0.71214	0.71553	0.91718	0.91522	0.28743	0.67695	0.41567
42	La Soledad de Arriba	0.71354	0.71688	0.91765	0.91572	0.28931	0.67876	0.41818
43	Rincón de San Lorenzo	0.68781	0.6918	0.90895	0.90655	0.25577	0.64608	0.37424
44	Salto Verde	0.7034	0.70701	0.91425	0.91213	0.27576	0.66581	0.40043
45	Asilo Presbítero Demetrio Mora	0.70428	0.70784	0.91455	0.91246	0.27682	0.66713	0.40223

Tabla 7.4 Condensado de los coeficientes de actividad de aniones

No.	Aprovechamiento	HCO3	Cl	SO4	PO4	NO3	NO2	F
1	San Gaspar de los Reyes	0.84936	0.85032	0.64392	0.22371	0.82791	0.82791	0.83596
2	Río San Gaspar de los Reyes	0.93	0.93	0.78819	0.51755	0.92565	0.92565	0.92721
3	Rancho Viejo	0.93074	0.93076	0.79038	0.5213	0.92641	0.92641	0.92797
4	San Nicolás de las Flores	0.92004	0.92006	0.76623	0.46889	0.9143	0.9143	0.91637
5	Rancho Cañadas de Coca	0.91994	0.92004	0.76749	0.46833	0.91396	0.91396	0.91612
6	Santa Bárbara (Mascua)	0.91787	0.91788	0.76113	0.45891	0.91189	0.91189	0.91405
7	Teocaltitán (infiltración de roca)	0.92751	0.92748	0.78165	0.5051	0.92297	0.92297	0.9246
8	Noría Teocaltitán	0.9414	0.94137	0.81487	0.57856	0.93843	0.93843	0.93949
9	Río Teocaltitán	0.96345	0.96343	0.87479	0.71422	0.96229	0.96229	0.9627
10	Fraccionamiento Maravillas (Teocaltiche)	0.96056	0.96056	0.86683	0.69499	0.95917	0.95917	0.95966
11	Rancho Nuevo	0.81128	0.81427	0.59647	0.14529	0.77595	0.77595	0.78953
12	Apulco (Aculco)	0.96365	0.96364	0.87544	0.71556	0.9625	0.9625	0.9629
13	Ostotán Abajo	0.92871	0.92871	0.78523	0.51103	0.92419	0.92419	0.92582
14	Loreto	0.91797	0.91801	0.76188	0.45934	0.91193	0.91193	0.91411
15	Cañadas de Islas	0.92273	0.92276	0.77214	0.48165	0.91737	0.91737	0.9193
16	Balneario Llano Grande	0.93096	0.93102	0.79197	0.52233	0.9265	0.9265	0.92811
17	Llano Grande	0.91864	0.91868	0.76351	0.46239	0.91266	0.91266	0.91482
18	Labor de la Concepción	0.92135	0.92143	0.77025	0.47498	0.91562	0.91562	0.91769
19	Santuario de Jesús	0.90949	0.90954	0.74413	0.4218	0.90214	0.90214	0.90481
20	Mexicacán	0.92264	0.92272	0.77323	0.48109	0.91707	0.91707	0.91908
21	Ojuelos	0.92185	0.92188	0.77042	0.47741	0.91633	0.91633	0.91832
22	Acasico	0.91113	0.91121	0.74817	0.42879	0.90393	0.90393	0.90654
23	Presa El Zapotillo (Aguas Arriba)	0.9261	0.9261	0.77916	0.49803	0.92126	0.92126	0.923
24	Cañadas de Obregón (Tacachime)	0.92069	0.92081	0.7696	0.4718	0.91475	0.91475	0.91689
25	Temacapulín (Balneario La Peñita)	0.91743	0.91759	0.76305	0.45664	0.91092	0.91092	0.91328
26	La Mesa (Granja de pollos)	0.87439	0.87516	0.6853	0.29289	0.85888	0.85888	0.86464
27	San José (Granja de pollos)	0.9026	0.90273	0.73133	0.39324	0.89393	0.89393	0.89709
28	Loma de Alba	0.92153	0.92154	0.76923	0.47593	0.91604	0.91604	0.91802
29	PROAN (Granja de pollos)	0.92287	0.9229	0.77254	0.48232	0.91752	0.91752	0.91945
30	La Esperanza	0.90771	0.90778	0.74068	0.41426	0.90005	0.90005	0.90283
31	Rancho La Joya	0.92183	0.92187	0.77039	0.47734	0.91631	0.91631	0.9183
32	Santa Isabel	0.9231	0.92313	0.77316	0.48338	0.91776	0.91776	0.91968
33	La Cueva (Santa Rosalía)	0.90729	0.90765	0.7445	0.41208	0.89872	0.89872	0.90184
34	Rincón de Guzmán	0.92217	0.92217	0.77054	0.47898	0.91678	0.91678	0.91872
35	Rancho Jiménez	0.92272	0.92274	0.77205	0.48157	0.91736	0.91736	0.91929
36	El Jabalí	0.92084	0.92089	0.76853	0.47262	0.91513	0.91513	0.91719
37	El Ipazote	0.91731	0.91735	0.76054	0.45629	0.91115	0.91115	0.91337
38	La Lagunita	0.85072	0.85167	0.64611	0.22706	0.8296	0.8296	0.83753
39	El Salitre	0.88121	0.88168	0.69464	0.31494	0.86778	0.86778	0.87274
40	La Salud	0.95175	0.95173	0.84175	0.63918	0.94975	0.94975	0.95046
41	Fraccionamiento El Mirador	0.91875	0.91877	0.76322	0.46294	0.91287	0.91287	0.91499
42	La Soledad de Arriba	0.9192	0.91922	0.76412	0.46504	0.91339	0.91339	0.91549
43	Rincón de San Lorenzo	0.9108	0.91085	0.74678	0.42744	0.90367	0.90367	0.90626
44	Salto Verde	0.91592	0.91595	0.75736	0.44999	0.90959	0.90959	0.91187
45	Asilo Presbítero Demetrio Mora	0.91621	0.91623	0.75779	0.45133	0.90995	0.90995	0.91221

En la Tabla 7.5 y Tabla 7.6 se presentan las actividades de cationes y aniones de los aprovechamientos muestreados y analizados.

Tabla 7.5 Condensado de las actividades de cationes

No.	Aprovechamiento	Ca (mmol/L)	Mg (mmol/L)	Na (mmol/L)	K (mmol/L)	Mn (mmol/L)	Sr (mmol/L)	Al (mmol/L)
1	San Gaspar de los Reyes	3.1082	0.49588	3.617	0.26332	0	0.00948	0.00107
2	Río San Gaspar de los Reyes	0.5149	0.19943	1.1272	0.33444	0.00013	0.00148	0.00779
3	Rancho Viejo	0.30883	0.12451	1.9651	0.22599	0.00001	0.00186	0.00009
4	San Nicolás de las Flores	0.62897	0.16489	2.5131	0.21568	0	0.00258	0.00005
5	Rancho Cañadas de Coca	0.43948	0.01513	4.6343	0.1275	0.00002	0.00134	0.00079
6	Santa Bárbara (Mascua)	1.0177	0.1528	0.5779	0.28061	0	0.00263	0.00006
7	Teocaltitán (infiltración de roca)	0.5112	0.2416	1.0435	0.43047	0	0.00116	0.00005
8	Noria Teocaltitán	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
9	Río Teocaltitán	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
10	Fraccionamiento Maravillas (Teocaltiche)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
11	Rancho Nuevo	4.5019	0.09002	15.153	0.40089	0.00005	0.01077	0.00001
12	Apulco (Aculco)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
13	Ostotán Abajo	0.20779	0.03193	2.4852	0.16792	0.00004	0.00032	0.00037
14	Loreto	0.69418	0.30813	1.1639	0.32974	0.00007	0.00071	0.00003
15	Cañadas de Islas	0.5243	0.11109	1.8715	0.11383	0	0.00141	0.00042
16	Balneario Llano Grande	0.10493	0.02329	3.8222	0.03276	0.00002	0.00027	0.00072
17	Llano Grande	0.64472	0.22249	1.7791	0.20034	0	0.00154	0.00015
18	Labor de la Concepción	0.03415	0.00366	5.2018	0.04766	0	0.00014	0.00016
19	Santuario de Jesús	1.3223	0.15794	1.2199	0.21598	0	0.0017	0.0001
20	Mexticacán	0.0235	0.00554	5.6101	0.03127	0	0.00009	0.00024
21	Ojuelos	0.1729	0.03669	3.6712	0.10454	0.00003	0.00029	0.00022
22	Acasico	0.06359	0.00271	6.1702	0.06332	0.00019	0.00015	0.00031
23	Presa El Zapotillo (Aguas Arriba)	0.5173	0.16247	1.1746	0.34946	0.00052	0.00164	0.01595
24	Cañadas de Obregón (Tacachime)	0.1685	0.00291	5.2381	0.04316	0	0.00086	0.00008
25	Temacapulín (Balneario La Peñita)	0.03711	0.00091	6.0955	0.05047	0	0.00012	0.00021
26	La Mesa (Granja de pollos)	0.406	0.01345	14.782	0.23242	0.00011	0.00082	0.00101
27	San José (Granja de pollos)	1.4335	0.38763	2.1268	0.28463	0	0.00572	0.00007
28	Loma de Alba	1.0647	0.07775	0.72437	0.13011	0	0.00168	0.00005
29	PROAN (Granja de pollos)	0.72	0.06382	1.7195	0.13313	0.00002	0.00157	0.00028
30	La Esperanza	1.6641	0.08793	0.89826	0.14945	0	0.0022	0.00004
31	Rancho La Joya	0.72397	0.17988	1.4573	0.28191	0.00001	0.00371	0.00014
32	Santa Isabel	0.39296	0.14695	2.9107	0.20775	0	0.00218	0.00007
33	La Cueva (Santa Rosalía)	0.13701	0.00323	8.8229	0.07731	0.00002	0.00056	0.00047
34	Rincón de Guzmán	0.37871	0.05496	3.9048	0.09801	0.00001	0.00132	0.0009
35	Rancho Jiménez	0.63634	0.12395	1.8194	0.21919	0	0.00226	0.00013
36	El Jabalí	0.1076	0.00793	4.9188	0.14994	0	0.00024	0.00011
37	El Ipazote	0.83344	0.25635	1.6968	0.20587	0.00022	0.00321	0.0006
38	La Lagunita	4.2931	0.25276	0.79165	0.07292	0.00001	0.0051	0.00011
39	El Salitre	0.10536	0.00439	13.333	0.15257	0	0.0003	0.00005
40	La Salud	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
41	Fraccionamiento El Mirador	1.1407	0.14043	0.55853	0.15309	0	0.00209	0.00009
42	La Soledad de Arriba	1.0806	0.1693	0.87814	0.2225	0.00003	0.00201	0.00098
43	Rincón de San Lorenzo	1.4072	0.26271	0.73143	0.17529	0.00001	0.0031	0.00007
44	Salto Verde	1.0284	0.30834	0.79535	0.19923	0	0.00272	0.00001
45	Asilo Presbítero Demetrio Mora	1.1703	0.18319	0.54102	0.20094	0	0.0026	0.00004

Tabla 7.6 Condensado de las actividades de aniones

No.	Aprovechamiento	HCO3 (mmol/L)	Cl (mmol/L)	SO4 (mmol/L)	PO4 (mmol/L)	NO3 (mmol/L)	NO2 (mmol/L)	F (mmol/L)
1	San Gaspar de los Reyes	1.5454	0.41973	5.7181	0.00042	0.33935	0.00148	0.11308
2	Río San Gaspar de los Reyes	2.1756	0.36725	0.21416	0.00687	0.00905	0.0008	0.03221
3	Rancho Viejo	2.5309	0.05592	0.0734	0.00022	0.00033	0.00101	0.28134
4	San Nicolás de las Flores	3.0721	0.20917	0.12683	0.00036	0.22551	0.00065	0.28892
5	Rancho Cañadas de Coca	3.1821	0.81226	0.48818	0.00036	0.04105	0.00065	0.28113
6	Santa Bárbara (Mascua)	3.542	0.08311	0.11569	0.00035	0.039	0.00065	0.11499
7	Teocaltitán (infiltración de roca)	2.4294	0.21033	0.02311	0.00019	0.23093	0.00033	0.12702
8	Noria Teocaltitán	6.268	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
9	Río Teocaltitán	2.408	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
10	Fraccionamiento Maravillas (Teocaltiche)	3.1114	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
11	Rancho Nuevo	0.43797	0.30776	13.35	0.00055	0.00277	0.00277	0.12426
12	Apulco (Aculco)	2.4277	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
13	Ostotán Abajo	3.0268	0.04951	0.18883	0.00019	0.00132	0.00033	0.16715
14	Loreto	2.6981	0.03651	0.69797	0.00035	0.0026	0.00065	0.12269
15	Cañadas de Islas	4.6124	0.05284	0.01873	0.00037	0.04185	0.00065	0.045
16	Balneario Llano Grande	2.8293	0.04648	0.44852	0.0004	0.01783	0.00066	0.68392
17	Llano Grande	4.8123	0.04042	0.03545	0.00035	0.03253	0.00065	0.02552
18	Labor de la Concepción	3.6291	0.35087	0.59819	0.00036	0.01762	0.00065	0.42411
19	Santuario de Jesús	5.1281	0.20319	0.08057	0.00032	0.17749	0.00064	0.10287
20	Mexitacacán	3.3021	0.36698	0.50471	0.00036	0.00065	0.00065	0.80305
21	Ojuelos	3.9813	0.06631	0.18928	0.00145	0.00065	0.00065	0.77339
22	Acasico	3.8257	0.4832	1.0048	0.00033	0.05155	0.00064	0.20136
23	Presa El Zapotillo (Aguas Arriba)	2.4813	0.39966	0.20359	0.02001	0.25809	0.00033	0.03838
24	Cañadas de Obregón (Tacachime)	3.1111	0.4805	0.89732	0.00036	0.03652	0.00065	0.18726
25	Temacapulín (Balneario La Peñita)	3.0817	0.87222	1.0327	0.00035	0.02468	0.00065	0.54801
26	La Mesa (Granja de pollos)	2.7448	3.4066	4.1664	0.00056	0.00612	0.00153	0.26715
27	San José (Granja de pollos)	5.3419	0.24521	0.11268	0.0003	1.1088	0.00064	0.05619
28	Loma de Alba	3.3903	0.04835	0.01041	0.00018	0.0222	0.00033	0.14786
29	PROAN (Granja de pollos)	3.8381	0.07653	0.03828	0.00018	0.05821	0.00033	0.1539
30	La Esperanza	4.0654	0.63244	0.10718	0.00031	0.61722	0.00064	0.12926
31	Rancho La Joya	3.5388	0.05227	0.02566	0.00036	0.01437	0.00065	0.18561
32	Santa Isabel	3.4883	0.1091	0.09015	0.00037	0.02355	0.00065	0.34806
33	La Cueva (Santa Rosalía)	3.1565	2.4706	1.7206	0.00047	0.0378	0.00096	0.48419
34	Rincón de Guzmán	2.9501	0.05774	0.32648	0.00036	0.00065	0.00065	0.18183
35	Rancho Jiménez	3.247	0.08172	0.0426	0.00018	0.02093	0.00033	0.24049
36	El Jabalí	3.3877	0.27793	0.20082	0.00036	0.04827	0.00065	0.63243
37	El Ipazote	3.6315	0.13688	0.05764	0.00035	0.0656	0.00065	0.20336
38	La Lagunita	2.3133	0.0394	4.9573	0.00034	0.02957	0.00118	0.15385
39	El Salitre	1.9029	2.9594	3.2325	0.00048	0.0068	0.00124	0.44376
40	La Salud	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
41	Fraccionamiento El Mirador	3.5821	0.13269	0.03671	0.00035	0.10997	0.00065	0.01975
42	La Soledad de Arriba	3.3633	0.03941	0.01217	0.00035	0.0319	0.00065	0.04144
43	Rincón de San Lorenzo	4.7713	0.06423	0.0171	0.00032	0.03865	0.00064	0.02051
44	Salto Verde	3.7542	0.08629	0.1025	0.00034	0.14848	0.00065	0.02544
45	Asilo Presbítero Demetrio Mora	4.2867	0.03825	0.00702	0.00034	0.03697	0.00065	0.03361

En la Tabla 7.7 se presentan los índices de saturación para diferentes minerales de los aprovechamientos muestreados y analizados.

Tabla 7.7 Condensado de índices de saturación para diferentes minerales

No.	Aprovechamiento	IsCalcite	IsAragonite	IsDolomite	IsGypse	IsAnhydrite
1	San Gaspar de los Reyes	-0.06	-0.2	-1.35	-0.17	-0.39
2	Río San Gaspar de los Reyes	0.04	-0.1	-0.73	-2.38	-2.59
3	Rancho Viejo	0.02	-0.12	-0.69	-3.06	-3.25
4	San Nicolás de las Flores	0.01	-0.13	-0.96	-2.52	-2.73
5	Rancho Cañadas de Coca	-0.02	-0.15	-1.75	-2.08	-2.23
6	Santa Bárbara (Mascua)	-0.07	-0.21	-1.41	-2.35	-2.58
7	Teocaltitán (infiltración de roca)	0.59	0.44	0.32	-3.35	-3.59
8	Noria Teocaltitán	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
9	Río Teocaltitán	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
10	Fraccionamiento Maravillas (Teocaltiche)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
11	Rancho Nuevo	0.62	0.47	-0.85	0.36	0.15
12	Apulco (Aculco)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
13	Ostotán Abajo	0.26	0.11	-0.71	-2.83	-3.04
14	Loreto	0.17	0.02	-0.41	-1.73	-1.95
15	Cañadas de Islas	0.06	-0.08	-0.94	-3.43	-3.64
16	Balneario Llano Grande	0.39	0.26	-0.1	-2.73	-2.86
17	Llano Grande	0.09	-0.05	-0.65	-3.06	-3.26
18	Labor de la Concepción	0.11	-0.03	-1.03	-3.1	-3.27
19	Santuario de Jesús	0.06	-0.09	-1.25	-2.39	-2.62
20	Mexicacán	0.43	0.29	-0.03	-3.33	-3.49
21	Ojuelos	0.63	0.49	0.23	-2.9	-3.11
22	Acasico	0.34	0.2	-1.05	-2.61	-2.82
23	Presa El Zapotillo (Aguas Arriba)	0.32	0.18	-0.3	-2.4	-2.62
24	Cañadas de Obregón (Tacachime)	0.01	-0.12	-1.96	-2.22	-2.35
25	Temacapulín (Balneario La Peñita)	0.11	-0.02	-1.59	-2.81	-2.93
26	La Mesa (Granja de pollos)	0.02	-0.11	-1.66	-1.17	-1.31
27	San José (Granja de pollos)	0.18	0.04	-0.59	-2.21	-2.42
28	Loma de Alba	0.06	-0.09	-1.44	-3.37	-3.59
29	PROAN (Granja de pollos)	0.04	-0.1	-1.35	-2.98	-3.18
30	La Esperanza	0.25	0.11	-1.21	-2.17	-2.39
31	Rancho La Joya	-0.04	-0.19	-1.06	-3.15	-3.35
32	Santa Isabel	0.03	-0.11	-0.73	-2.87	-3.07
33	La Cueva (Santa Rosalía)	-0.04	-0.16	-1.84	-2	-2.03
34	Rincón de Guzmán	0.06	-0.08	-1.15	-2.33	-2.55
35	Rancho Jiménez	-0.03	-0.17	-1.15	-2.99	-3.2
36	El Jabalí	-0.01	-0.15	-1.49	-3.08	-3.27
37	El Ipazote	-0.16	-0.3	-1.22	-2.74	-2.95
38	La Lagunita	0.27	0.13	-1.11	-0.09	-0.31
39	El Salitre	0.08	-0.06	-1.53	-1.88	-2.06
40	La Salud	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
41	Fraccionamiento El Mirador	0.09	-0.05	-1.15	-2.8	-3.02
42	La Soledad de Arriba	0.07	-0.08	-1.11	-3.3	-3.52
43	Rincón de San Lorenzo	0.16	0.02	-0.84	-3.04	-3.26
44	Salto Verde	0.05	-0.1	-0.85	-2.4	-2.62
45	Asilo Presbítero Demetrio Mora	0.02	-0.12	-1.2	-3.5	-3.73

7.5.3. Tiempo de residencia del agua subterránea

Los contenidos de tritio ambiental (^3H) de los aprovechamientos incluidos en el presente estudio (Tabla 7.8), están comprendidos en el rango de 2.96 a 0.6 unidades de tritio (UT). Es importante destacar que el límite de medición en el método utilizado por enriquecimiento electrolítico de la muestra es de 0.5 UT.

El contenido de tritio del agua de lluvia que recarga los flujos subterráneos determina la cantidad inicial de tritio que se incorpora en el ambiente subterráneo y, a partir de este momento, se inicia el decaimiento de la cantidad inicial del tritio, determinando el tiempo de residencia del flujo subterráneo, desde el momento que se infiltra hasta que es captado en algún pozo o descarga en algún punto de la superficie del terreno.

El contenido inicial de tritio de la lluvia lo determinan las muestras de los escurrimientos de los ríos, San Gaspar de los Reyes (2) y Presa el Zapotillo (aguas arriba), contienen 1.72. Y 2.96 UT respectivamente.

Los datos indican que hay tres grupos de aprovechamientos con tiempos de residencia característicos en los acuíferos estudiados (Figura 7.33). El primero de ellos, son los aprovechamientos que determinan la cantidad inicial de tritio, tal como se explica en el párrafo precedente, determinado por las muestras 2 y 23. En el mismo grupo están aprovechamientos que presentan altos contenidos de tritio: Noria Teocaltitán (8), Temacapulín (25) y Salto Verde (44). El primero de ellos por agua sub-superficial y los dos restantes por retornos de riego (ver Anexo 3: Fotografía de aprovechamientos).

El segundo grupo son aprovechamientos con contenidos de tritio (^3H) comprendidos entre 0.9 y 0.6 UT, indicando que los flujos subterráneos que los recargan tienen de tiempos de residencia entre 10 y 20 años. Finalmente el tercer grupo son aprovechamientos que no contienen tritio, indicando que los flujos son de circulación profunda con tiempos de residencia de más de 30 años, es importante notar que también son flujos con la isotopía estable más empobrecida. Lo cual es consistente con los resultados hidroquímicos e isotópicos de pozos que no reciben recarga de agua de río.

Es importante resaltar que las muestras recolectadas se obtuvieron del 25 de agosto al 8 de septiembre del 2018, y corresponden a la temporada franca de lluvias en la zona; por tanto, el agua de las corrientes fluviales son la mezcla de una componente predominante del drenaje superficial de la cuenca y de una componente minoritaria proveniente de las descargas de los acuíferos aledaños al río Verde y sus influentes. Ello implica que los contenidos de tritio ambiental en las corrientes superficiales corresponden al contenido de tritio en la lluvia.

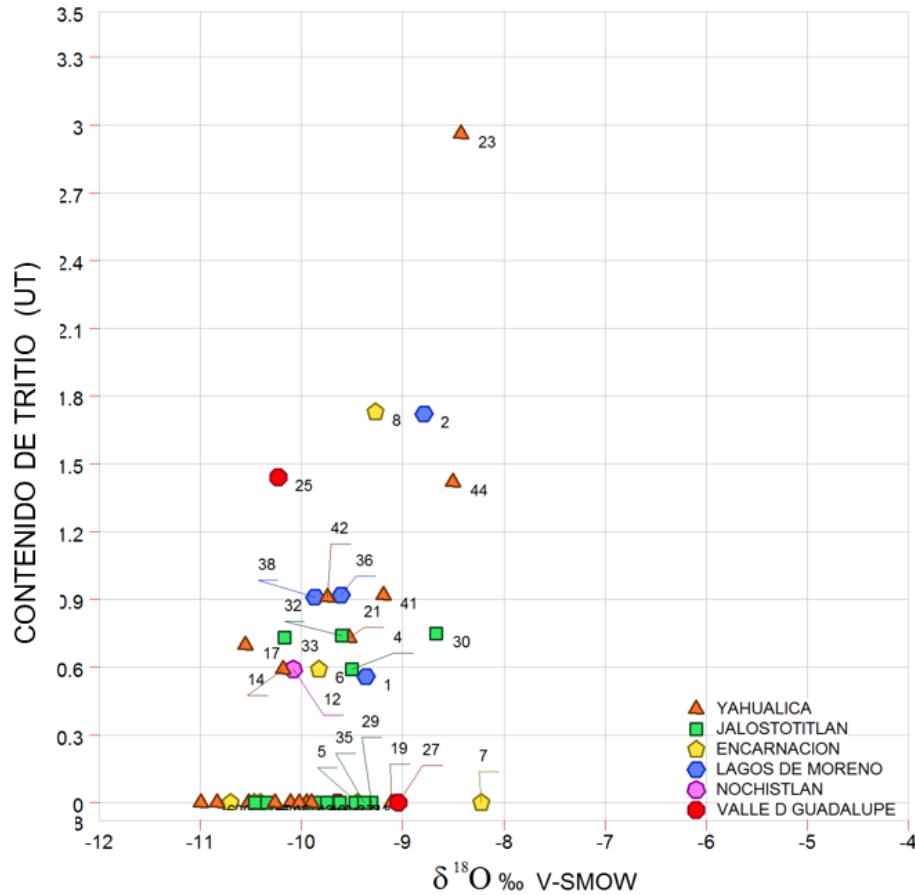


Figura 7.33 Diagrama de dispersión del contenido de tritio ambiental versus oxígeno-18

A partir de los resultados obtenidos, se propone un modelo conceptual de funcionamiento hidrogeológico de los acuíferos aledaños a la presa El Zapotillo, caracterizado por tener recarga de agua de lluvia con composiciones isotópicas definidas por la intersección de la línea de mezcla con la línea meteórica local (LML), con valores promedio $\delta^{18}\text{O} = -11.0\text{‰}$ y $\delta^2\text{H} = -80\text{‰}$ 8.01 (Figura 7.8). Adicionalmente los arroyos y ríos de la zona contribuyen a la recarga con agua sometida a procesos de evaporación intensa con valores $\delta^{18}\text{O} = -8.6\text{‰}$ y $\delta^2\text{H} = -66\text{‰}$. Existen también flujos de circulación profunda que recargan a varios de los aprovechamientos, con énfasis en los acuíferos Lagos de Moreno y Jalostotitlán que muestran temperaturas elevadas y altas concentraciones de litio y estroncio. Los porcentaje aportados por las fuentes efectivas de recarga dependen de las propiedades del medio y de las características constructivas de los pozos (Figura 7.34).

Tabla 7.8 Contenido de tritio ambiental en las muestras de la zona de estudio

No.	Aprovechamiento	Tritio (UT)
1	San Gaspar de los Reyes	0.56 ± 0.41
2	Río San Gaspar de los Reyes	1.72 ± 0.44
3	Rancho Viejo	0.00 ± 0.40
4	San Nicolás de las Flores	0.58 ± 0.42
5	Rancho Cañadas de Coca	0.00 ± 0.40
6	Santa Bárbara (Mascua)	0.59 ± 0.43
7	Teocaltitán (infiltración de roca)	0.00 ± 0.41
8	Noria Teocaltitán	1.73 ± 0.45
9	Río Teocaltitán	0.00 ± 0.41
10	Fraccionamiento Maravillas (Teocaltiche)	0.00 ± 0.40
11	Rancho Nuevo	0.00 ± 0.41
12	Apulco (Aculco)	0.59 ± 0.43
13	Ostotán Abajo	0.00 ± 0.38
14	Loreto	0.59 ± 0.43
15	Cañadas de Islas	0.00 ± 0.42
16	Balneario Llano Grande	0.00 ± 0.39
17	Llano Grande	0.70 ± 0.68
18	Labor de la Concepción	0.00 ± 0.34
19	Santuario de Jesús	0.00 ± 0.33
20	Mexicacán	0.00 ± 0.34
21	Ojuelos	0.73 ± 0.69
22	Acasico	0.00 ± 0.33
23	Presa El Zapotillo (Aguas Arriba)	2.96 ± 0.75
24	Cañadas de Obregón (Tacachime)	0.00 ± 0.35
25	Temacapulín (Balneario La Peñita)	1.44 ± 0.71
26	La Mesa (Granja de pollos)	0.00 ± 0.33
27	San José (Granja de pollos)	0.00 ± 0.36
28	Loma de Alba	0.00 ± 0.35
29	PROAN (Granja de pollos)	0.00 ± 0.37
30	La Esperanza	0.75 ± 0.71
31	Rancho La Joya	0.00 ± 0.35
32	Santa Isabel	0.74 ± 0.70
33	La Cueva (Santa Rosalía)	0.61 ± 0.70
34	Rincón de Guzmán	0.00 ± 0.48
35	Rancho Jiménez	0.00 ± 0.50
36	El Jabalí	0.92 ± 0.83
37	El Ipazote	0.00 ± 0.50
38	La Lagunita	0.91 ± 0.83
39	El Salitre	0.00 ± 0.51
40	La Salud	0.00 ± 0.51
41	Fraccionamiento El Mirador	0.92 ± 0.83
42	La Soledad de Arriba	0.91 ± 0.83
43	Rincón de San Lorenzo	0.00 ± 0.51
44	Salto Verde	1.42 ± 1.14
45	Asilo Presbítero Demetrio Mora	0.00 ± 0.00

El modelo conceptual de funcionamiento hidrogeológico de los acuíferos aledaños al embalse de la presa El Zapotillo se muestra en la Figura 7.34.

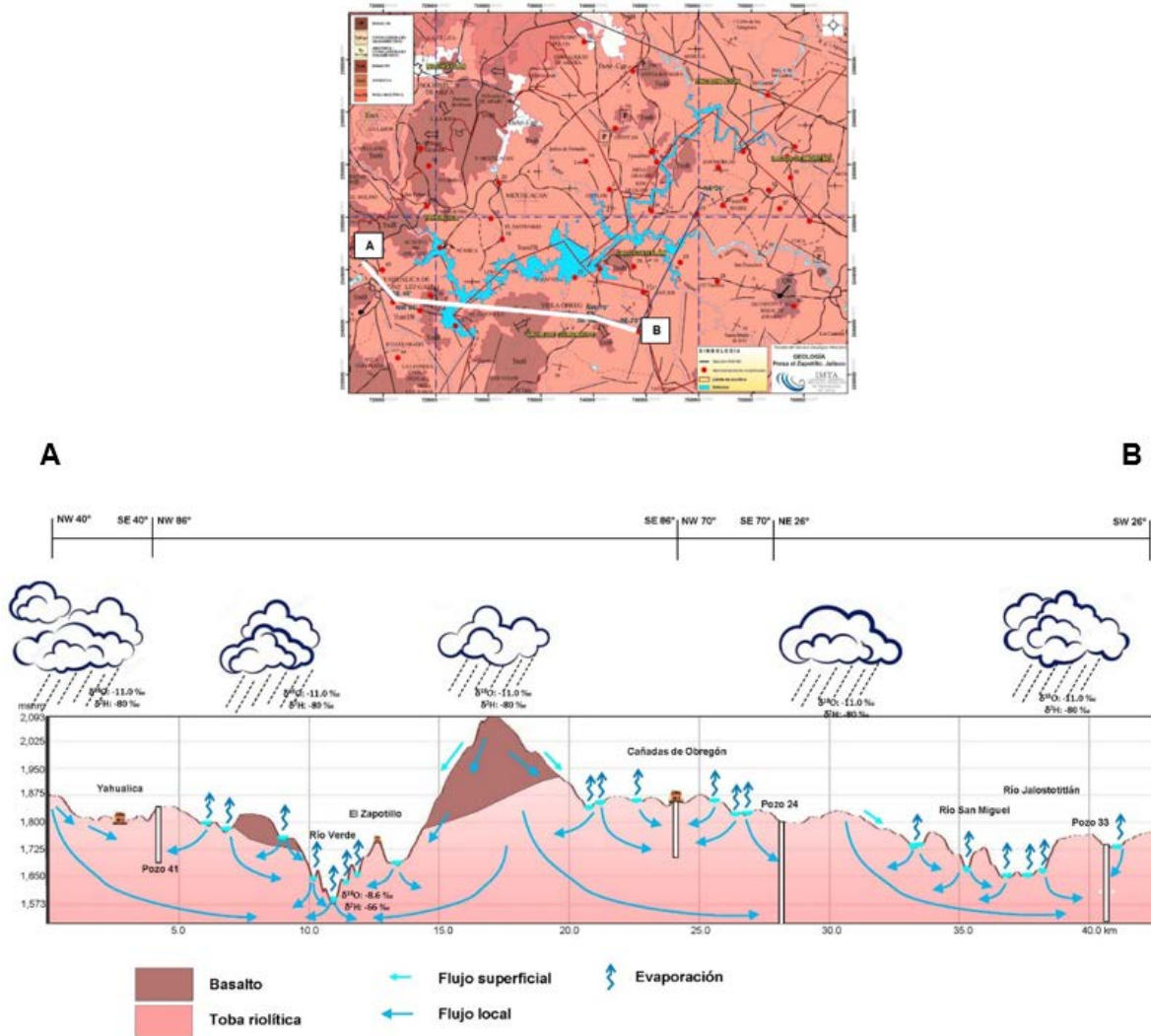


Figura 7.34 Sección geológica del modelo conceptual del funcionamiento hidrogeológico de la zona de estudio

7.5.4. Determinación microbiológica

La determinación de organismos coliformes fecales y totales presentes en el agua de los aprovechamientos considerados en el estudio de los acuíferos aledaños al proyecto de presa El Zapotillo, se determinó mediante el método basado en la fermentación de la lactosa. El Número Más Probable (NMP) en los resultados se aplica la teoría de la probabilidad, lo cual tiene como condiciones:

- Una distribución aleatoria de las bacterias que existen en la muestra.
- Las bacterias se encuentran como entidades no agrupadas.
- Los microorganismos presentes en la muestra deben crecer en el medio cuando son incubados y se mantengan en las condiciones adecuadas para su desarrollo.

Los resultados de laboratorio se muestran en la Tabla 7.9 e indican que el agua de varios aprovechamientos, presentan coliformes fecales y/o totales. Los pozos destinados para abastecimiento público, que presentan contaminación microbiológica son los siguientes:

- **Acuífero Lagos de Moreno:** San Gaspar de los Reyes (1) y La Lagunita (38)
- **Acuífero Jalostotlán:** Rancho Viejo (3), San Nicolás de las Flores (4), La Esperanza (30), Santa Isabel (32), Rincón de Guzmán (34) y Rancho Jiménez (35).
- **Acuífero Encarnación:** Santa Bárbara: (6) y Teocaltitán (9).
- **Acuífero Yahualica:** Mexxicacán (20), Ojuelos (21), El Mirador (41) y Asilo Presbítero Demetrio Mora (45).
- **Acuífero Valle de Guadalupe:** en los pozos de abastecimiento no se detectaron (ND).

En consecuencia el agua no es apta para uso potable por contener coliformes totales y fecales por arriba de la Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 (Secretaría de Salubridad y Asistencia, 2000), que determina los límites permisibles que debe reunir el agua para uso y consumo humano. En agua potable el límite permisible de coliformes fecales y totales es ausencia o no detectables.

En algunos de los pozos destinados para uso agrícola, pecuario y múltiple presentan también coliformes fecales y/o totales (Tabla 7.9).

Tabla 7.9 Condensado de resultados de análisis de coliformes fecales y totales en los aprovechamientos

No.	Aprovechamiento	Uso	Coliformes Fecales	Coliformes Totales
1	San Gaspar de los Reyes	Público urbano	ND	8.0
2	Río San Gaspar de los Reyes	Río	N/A	N/A
3	Rancho Viejo	Público urbano	>8	>8
4	San Nicolás de las Flores	Público urbano	1.1	>8
5	Rancho Cañadas de Coca	Agrícola	2.6	>8
6	Santa Bárbara (Mascua)	Público urbano	1.1	8.0
7	Teocaltitán (infiltración de roca)	Público urbano	>8	>8
8	Noría Teocaltitán	Público urbano	N/A	N/A
9	Río Teocaltitán	Río	N/A	N/A
10	Fraccionamiento Maravillas (Teocaltiche)	Público urbano	ND	ND
11	Rancho Nuevo	Público urbano	ND	2.6
12	Apulco (Aculco)	Público urbano	ND	ND
13	Ostotán Abajo	Público urbano	ND	ND
14	Loreto	Público urbano	ND	8.0
15	Cañadas de Islas	Público urbano	ND	4.6
16	Balneario Llano Grande	Múltiple	ND	ND
17	Llano Grande	Público urbano	ND	4.6
18	Labor de la Concepción	Público urbano	ND	2.6
19	Santuario de Jesús	Público urbano	ND	8.0
20	Mexicacán	Agrícola	1.1	1.1
21	Ojuelos	Público urbano	>8	>8
22	Acasico	Público urbano	ND	>8
23	Presa El Zapotillo (Aguas Arriba)	Río	N/A	N/A
24	Cañadas de Obregón (Tacachime)	Público urbano	ND	ND
25	Temacapulín (Balneario La Peñita)	Múltiple	ND	ND
26	La Mesa (Granja de pollos)	Pecuario	ND	ND
27	San José (Granja de pollos)	Pecuario	2.6	2.6
28	Loma de Alba	Agrícola	ND	ND
29	PROAN (Granja de pollos)	Pecuario	ND	ND
30	La Esperanza	Público urbano	8.0	>8
31	Rancho La Joya	Agrícola	>8	>8
32	Santa Isabel	Público urbano	>8	>8
33	La Cueva (Santa Rosalía)	Público urbano	ND	ND
34	Rincón de Guzmán	Público urbano	1.1	1.1
35	Rancho Jiménez	Agrícola	>8	>8
36	El Jabalí	Público urbano	ND	ND
37	El Ipazote	Agrícola	2.6	>8
38	La Lagunita	Público urbano	4.6	>8
39	El Salitre	Múltiple	ND	ND
40	La Salud	Público urbano	N/A	N/A
41	Fraccionamiento El Mirador	Público urbano	ND	2.6
42	La Soledad de Arriba	Agrícola	>8	>8
43	Rincón de San Lorenzo	Agrícola	ND	4.6
44	Salto Verde	Agrícola	ND	ND
45	Asilo Presbítero Demetrio Mora	Público urbano	2.6	>8

7.5.5. Calidad de los aprovechamientos subterráneos para riego

Debido a la creciente demanda de agua para riego, se ha optado por la utilización de agua de diversa procedencia, no solamente las aguas superficiales y subterráneas, sino también en algunos casos la reutilización de aguas residuales. Por ello, la efectividad de la irrigación depende de la calidad del agua de riego. Con la finalidad de establecer la calidad agronómica de las aguas de los aprovechamientos subterráneos analizados, en el presente informe se han aplicado diagramas químicos para determinar los riesgos de salinidad y sodicidad que podrían causar daños directos sobre los cultivos (Ayers y Westcot, 1985).

Los constituyentes salinos son principalmente cationes de Ca^{2+} , Mg^{2+} y Na^{+} y K^{+} ; entre los aniones más frecuentes figuran los HCO_3^{-} , SO_4^{2-} , Cl^{-} , NO_3^{-} , y F^{-} . La mayoría proceden de la disolución y alteración de rocas calizas, yesos, margas y arcillas. Estos constituyentes químicos, aun cuando presenten concentraciones bajas, pueden producir daños directos sobre los cultivos, convirtiendo al riego en fuente de sales y en la causa de salinización del suelo.

El diagrama de clasificación de Wilcox expresa la salinidad del agua como Conductividad Eléctrica (CE) a 25°C y en unidades de $\mu S/cm$ y mantiene para la alcalinidad el criterio de porcentaje de Na^{+} (Figura 7.35). El diagrama indica que las aguas subterráneas presentan diferentes calidades, desde excelente hasta muy mala. El agua de los pozos: Rancho Nuevo (11), Acasico (22), Temacapulín (25), La Mesa (26), La Cueva (33) y El Salitre (39) califican como mala y muy mala para la agricultura.

Otro factor importante del agua de riego es el riesgo de alcalinización o sodificación que va asociado con los problemas de infiltración del agua en el suelo. El elevado contenido de sodio genera progresivamente la disminución de la permeabilidad de suelo de cultivo, ocasionando la reducción de agua a la planta. En el caso de la salinidad lo que disminuye es la disponibilidad misma del agua, mientras que en el caso de la sodicidad lo que se produce es una reducción total del agua infiltrada en la zona radicular.

El riesgo de sodicidad se establece mediante el diagrama de la (Figura 7.36). En las abscisas se representa en escala logarítmica los valores de la C.E. en $\mu S/cm$ a 25 °C, y en las ordenadas se introduce el índice SAR (razón de adsorción del sodio, SAR por sus siglas en inglés), cuya expresión es del tipo:

$$SAR = \frac{Na^{+}}{\sqrt{(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2}}$$

Expresando cada uno de los parámetros en unidades de meq/l.

El diagrama Riverside establece que el agua de los aprovechamientos: Rancho Nuevo (11), Acasico (22), Temacapulín (25), La Mesa (26), La Cueva (33) y El Salitre (39) implica riesgo muy alto de alcalinización del suelo.

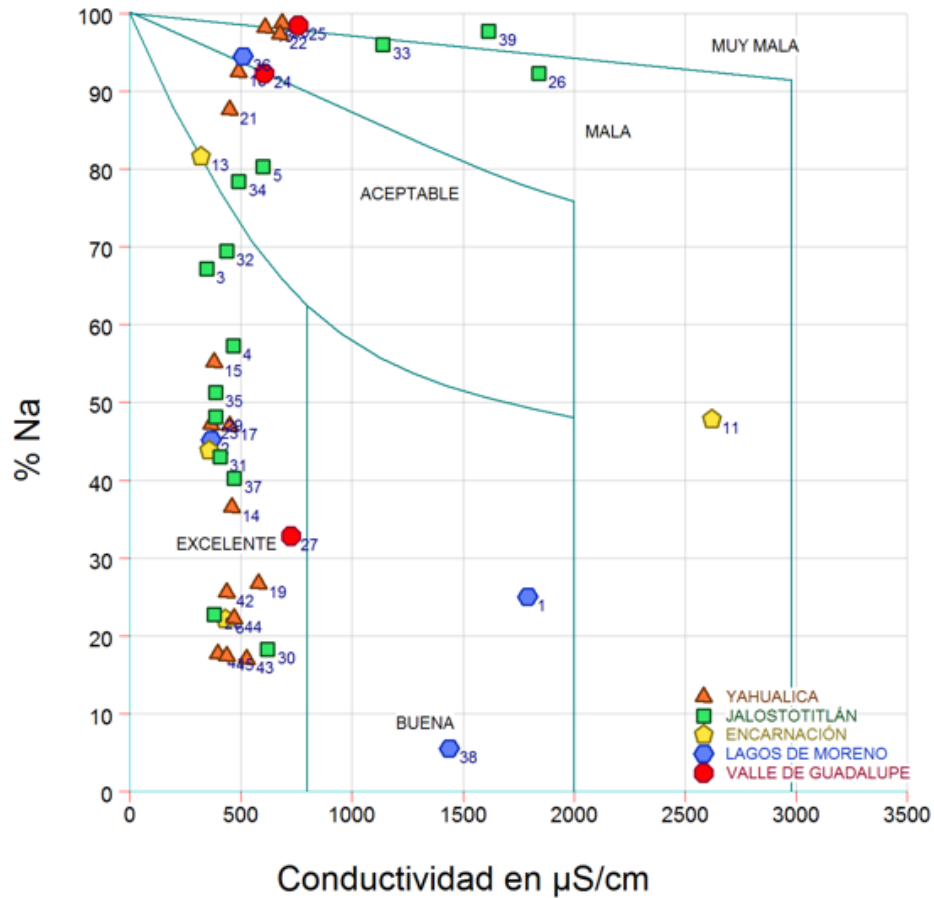


Figura 7.35 Diagrama de clasificación de Wilcox indica la calidad del agua (uso en agricultura)

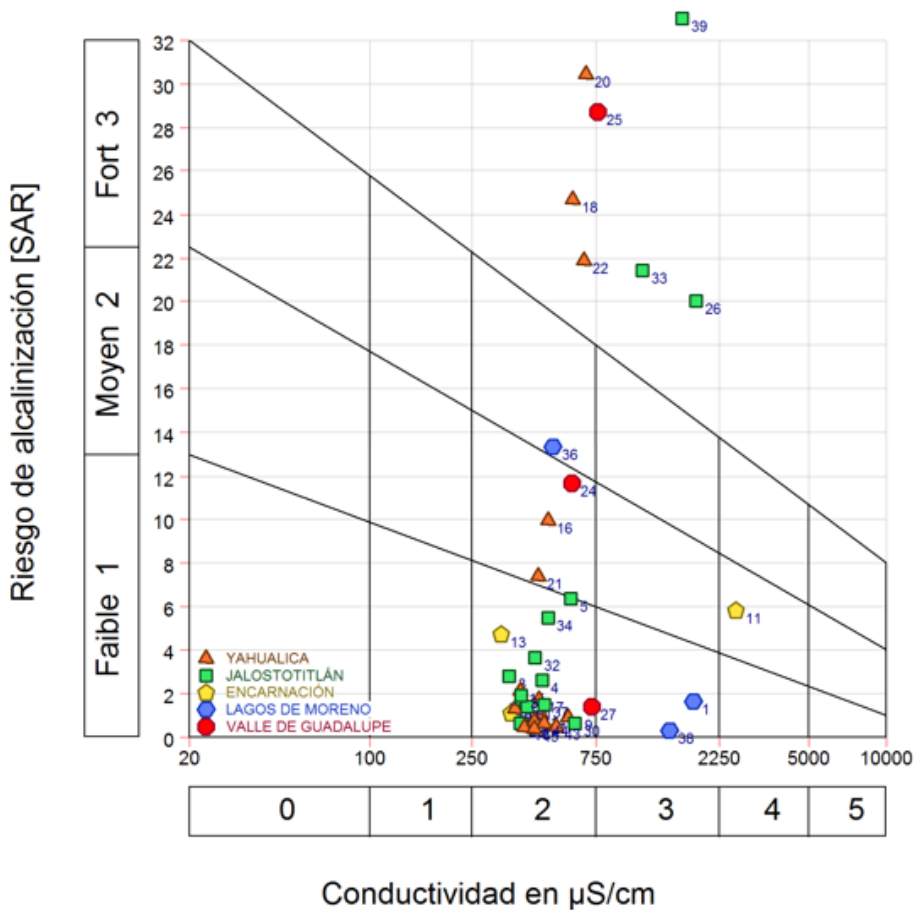


Figura 7.36 Diagrama de Riverside para la clasificación del riesgo de sodificación o alcalinización del suelo

8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En base a la información recopilada en campo, como es el censo de aprovechamientos, nivelación de brocales y piezometría se elaboran tablas y figuras para el análisis de la información.

De acuerdo al censo de aprovechamientos se visitaron 55 pozos donde se obtuvieron algunos datos como uso de agua, nivel estático y algunas características del equipo y del pozo (Tabla 8.1).

El uso principal del agua de este censo es el público-urbano (54%), el segundo lugar lo ocupa el agrícola (32%), y en menor medida doméstico (8%) y pecuario (6%), ver Figura 8.1.

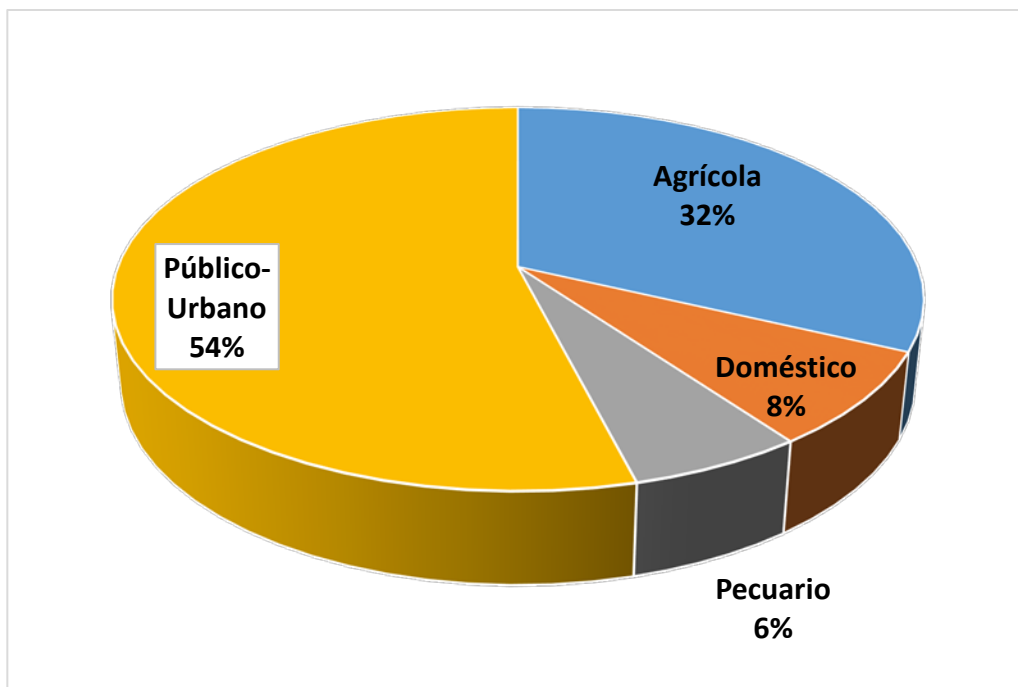


Figura 8.1 Esquema de uso del agua

Tabla 8.1 Censo y piezometría de los aprovechamientos

ID Pozo	UTM_X	UTM_Y	Z (msnm)	Profundidad (m)	PNE (m)	ND (m)	ENE (msnm)	USO
PZ 01	730971.83	2353263.29	1730.75					Público-Urbano
PZ 02	741523.31	2352616.47	1748.87		63.26		1685.61	Público-Urbano
PZ 03	731306.05	2347872.95	1686.29	158.00	40.00	150.00	1646.29	Público-Urbano
PZ 04	720651.01	2342880.28	1823.87	213.00	134.00	182.00	1689.87	Público-Urbano
PZ 06	721764.27	2341540.66	1812.07					Agrícola
PZ 07	721143.58	2342103.14	1839.95	152.00	108.50		1731.45	Público-Urbano
PZ 08	720926.97	2341885.13	1842.07	155.00	104.50		1737.57	Público-Urbano
PZ 09	721982.83	2341186.80	1802.83	200.00				Agrícola
PZ 10	722186.79	2341423.62	1811.31					Agrícola
PZ 11	723499.29	2341089.77	1802.85	132.00	64.00		1738.85	Agrícola
PZ 12	752290.50	2351096.48	1718.11	160.00	40.00		1678.11	Público-Urbano
PZ 13	749831.01	2350291.12	1703.04	260.00	75.00		1628.04	Público-Urbano
PZ 14	745519.39	2351089.41	1685.69	152.00				Público-Urbano
PZ 15	752245.65	2344004.08	1761.91	210.00	90.00		1671.91	Público-Urbano
PZ 16	749737.58	2344970.11	1768.14	150.00				Pecuario
PZ 17	750593.90	2345468.84	1757.50	150.00	92.00		1665.50	Agrícola
PZ 18	750167.59	2345337.65	1774.27	185.00				Doméstico
PZ 19	750941.75	2344288.08	1773.32	200.00	103.00		1670.32	Agrícola
PZ 21	755286.35	2350547.41	1738.62		75.00		1663.62	Agrícola
PZ 22	755469.63	2349200.48	1764.15	180.00	98.00		1666.15	Agrícola
PZ 23	754829.43	2349426.06	1770.48					Público-Urbano
PZ 24	756171.51	2351406.61	1767.04			135.00		Público-Urbano
PZ 25	762279.89	2353939.44	1683.59		18.50		1665.09	Pecuario
PZ 26	720446.27	2344189.27	1833.38	300.00	85.00		1748.38	Agrícola
PZ 27	719876.96	2344169.33	1856.16	150.00				Público-Urbano
PZ 28	719481.42	2344393.07	1866.86	150.00		141.00		Público-Urbano
PZ 29	720348.12	2347075.11	1850.22		41.00		1809.22	Agrícola
PZ 30	722008.76	2349388.75	1691.07		23.70		1667.37	Agrícola
PZ 31	740314.42	2340313.45	1859.53	140.00				Público-Urbano
PZ 32	744177.43	2339157.05	1788.55					Público-Urbano
PZ 33	728083.10	2340538.62	1746.91	135.00				Público-Urbano
PZ 34	732238.09	2344182.23	1705.79					Público-Urbano
PZ 35	728500.44	2332936.79	1689.90	220.00				Público-Urbano
PZ 36	758225.78	2351825.12	1798.74	200.00	112.00		1686.74	Agrícola
PZ 37	755732.23	2355236.00	1748.11	150.00				Público-Urbano
PZ 38	754206.35	2356236.27	1662.50	110.00	25.00		1637.50	Doméstico
PZ 39	759129.51	2356690.76	1669.43	200.00	35.00		1634.43	Público-Urbano
PZ 40	758718.83	2353749.43	1764.04	200.00	85.00		1679.04	Público-Urbano
PZ 41	761835.51	2352338.99	1699.59	160.00	31.00		1668.59	Público-Urbano
PZ 42	761806.87	2353096.55	1709.17	150.00				Doméstico
PZ 43	761369.94	2352849.43	1695.86		35.00		1660.86	Doméstico
PZ 44	759196.12	2351223.12	1791.54	200.00	93.00		1698.54	Agrícola
PZ 45	759061.37	2352957.83	1787.14		105.00		1682.14	Pecuario
PZ 49	760656.73	2357727.34	1755.59					Agrícola
PZ 50	763092.73	2354824.65	1683.11		22.50		1660.61	Público-Urbano
PZ 52	742058.70	2358443.20	1716.64			15.07		Público-Urbano
PZ 53	746957.99	2365069.73	1687.66	200.00	1.22	22.00	1686.44	Agrícola
PZ 54	743722.31	2363892.34	1740.62			27.70		Público-Urbano
PZ 55	748630.29	2383588.32	1847.89					Público-Urbano
PZ 56	744824.00	2371063.57	1815.84	200.00	122.54		1693.30	Agrícola

La profundidad total de los pozos de este censo se encuentra entre 110 m a 300 m. La mayor cantidad de pozos se encuentra entre 151 a 200 m, con un porcentaje del 52%, pozos de 100 a 150 m corresponde al 32% y de 201 a 300 m de profundidad a el 16% de los pozos (Figura 8.2).

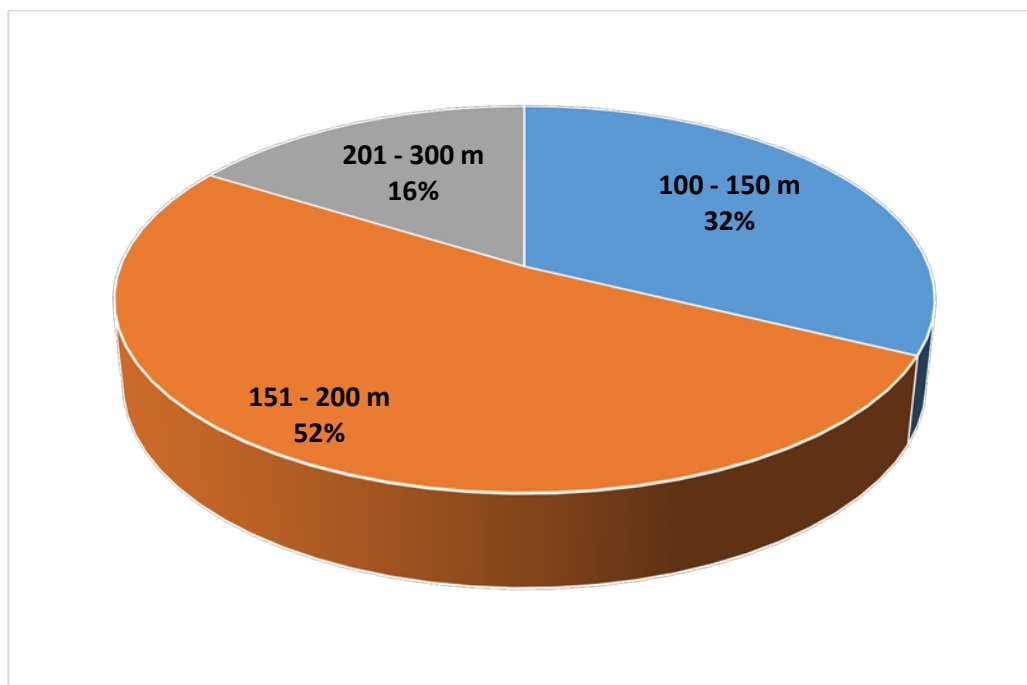


Figura 8.2 Profundidad total de los pozos (m)

La nivelación de los brocales de los pozos se realizó mediante el método diferencial. Esta actividad es muy importante, ya que nos sirve para obtener la altura sobre el nivel del mar de los brocales de los pozos. Utilizando la piezometría donde se midió la profundidad del nivel estático y los datos de la nivelación se calcula la elevación del nivel estático de los pozos. La profundidad del nivel estático de los pozos se encuentra entre el rango de 18.5 a 134 metros y la elevación del nivel estático entre los 1,628 y 1,809 msnm.

8.1. Profundidad del nivel estático

En términos generales el comportamiento de la profundidad del nivel estático para la zona de estudio fue que los pozos más fueron de las partes más altas de los poblados de Yahualica, Mexxicacán, Teocaltiche, Jalostotitlán y el área cercana a San Juan de los Lagos con profundidad mayores a los 50 m.

En la Figura 8.3 se presenta la configuración de la profundidad del nivel estático.

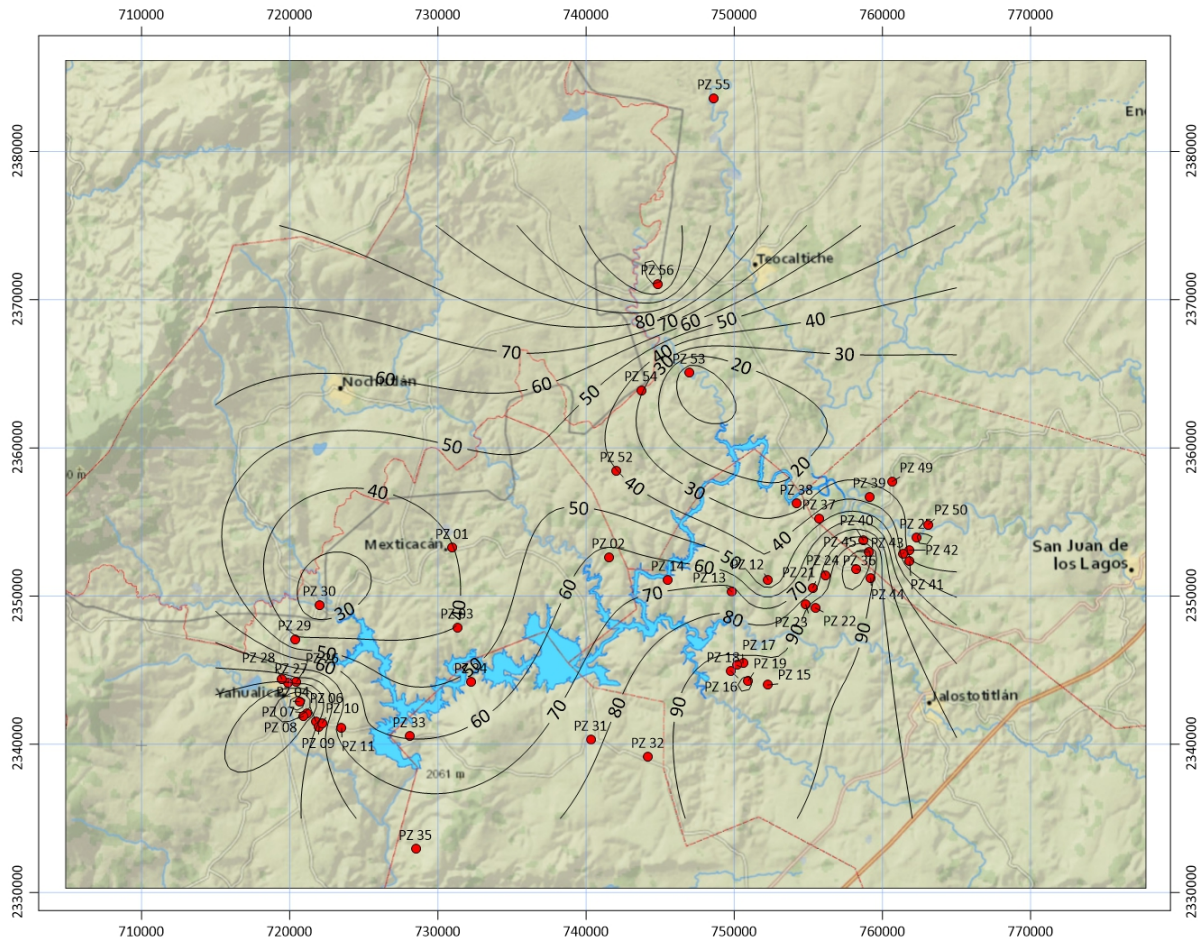


Figura 8.3 Profundidad del nivel estático (msnm)

8.2. Elevación del nivel estático

Con base en la piezometría levantada se procedió al cálculo de la elevación del nivel estático, donde se realizó la configuración correspondiente para estimar las variaciones espaciales de la carga hidráulica e indicar las direcciones de flujo de las aguas subterráneas. En la Figura 8.4 y Figura 8.5 se muestran la presencia de conos de abatimiento de algunos pozos y la dirección preferencial del flujo.

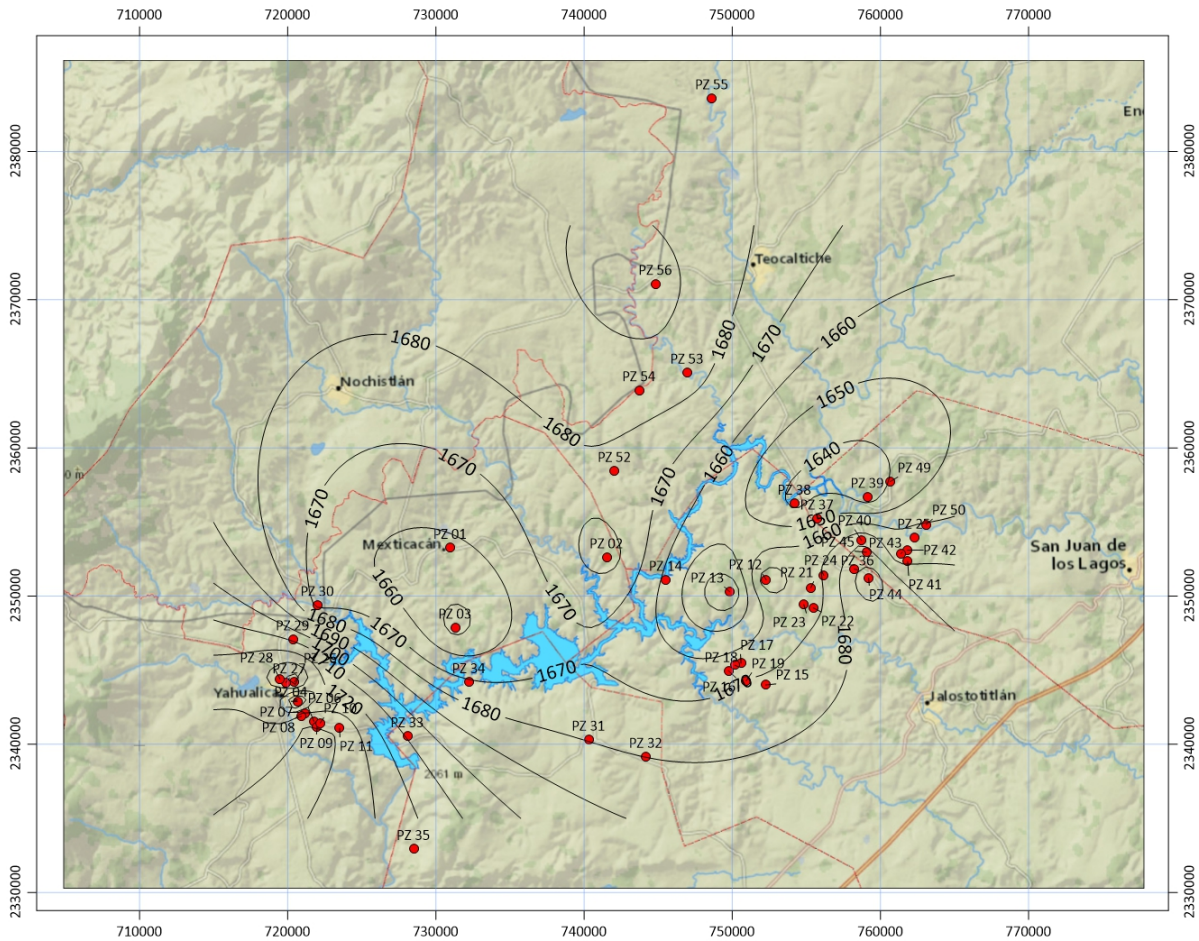


Figura 8.4 Elevación del nivel estático (msnm)

En la Figura 8.5 se muestra que la dirección del flujo subterráneo es de las partes más altas a las zonas bajas que es donde se encuentra el río Verde, la dirección del flujo en algunas zonas se ve afectada por la explotación de los pozos.

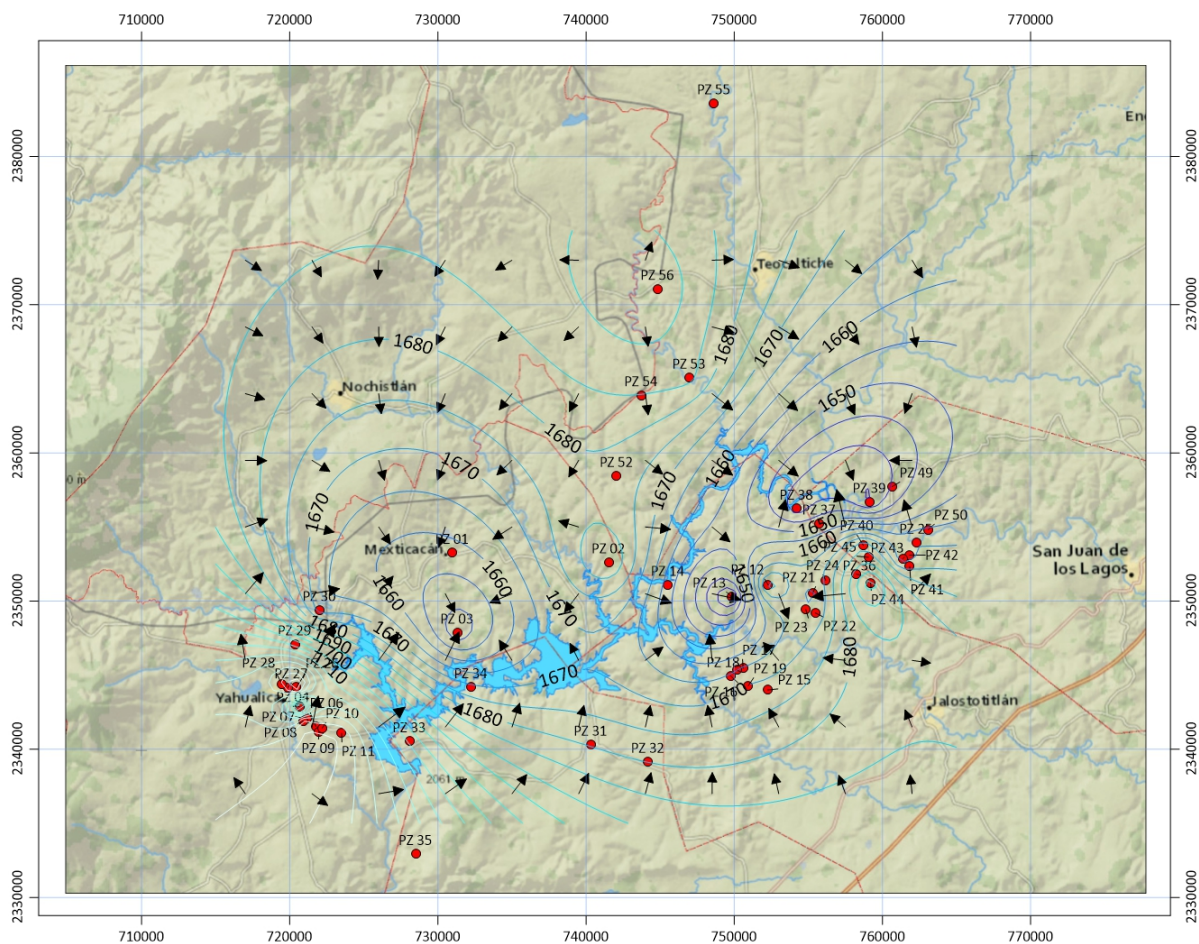


Figura 8.5 Dirección de flujo del agua subterránea

8.3. Secciones hidrogeológicas

La integración de resultados de los sondeos geofísicos, nivelación de aprovechamientos y piezometría se concreta en siete secciones transversales al cauce del río Verde. En las siguientes secciones hidrogeológicas se muestran las unidades hidrogeológicas encontradas, el nivel del río, el nivel estimado del agua subterránea y el nivel del embalse a la cota 1,657 msnm.

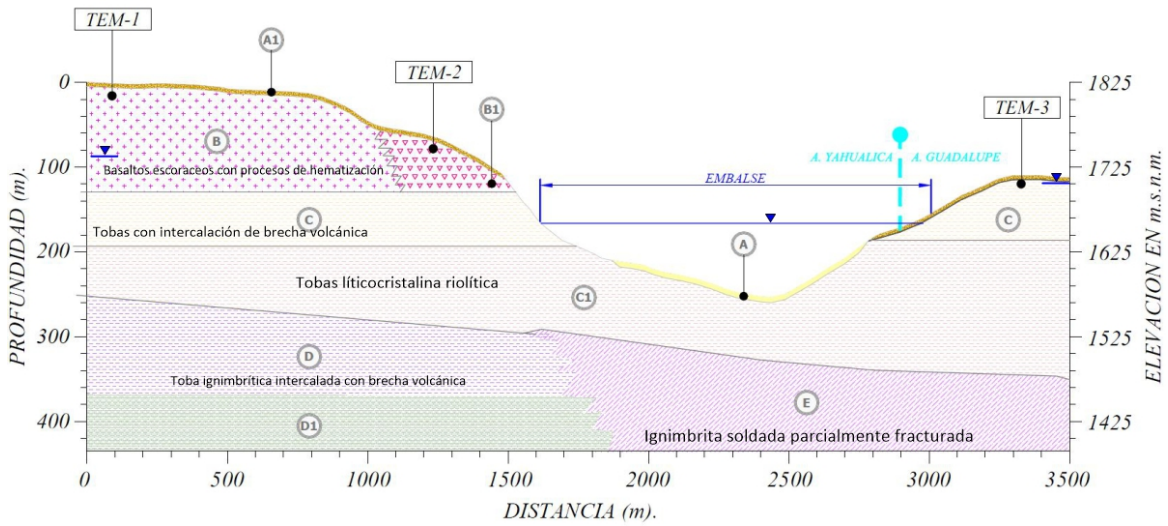


Figura 8.6 Sección hidrogeológica 1

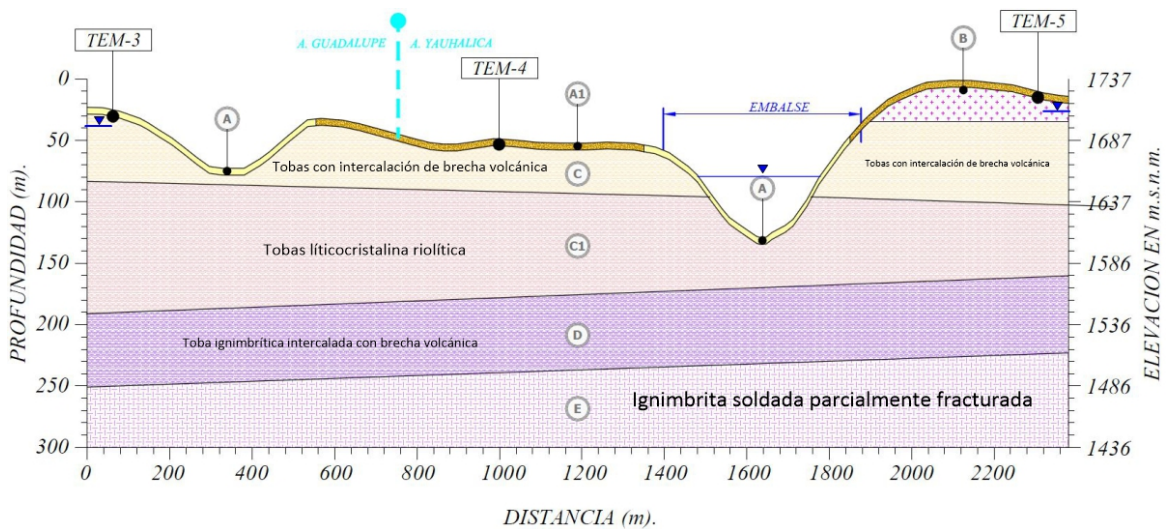


Figura 8.7 Sección hidrogeológica 2

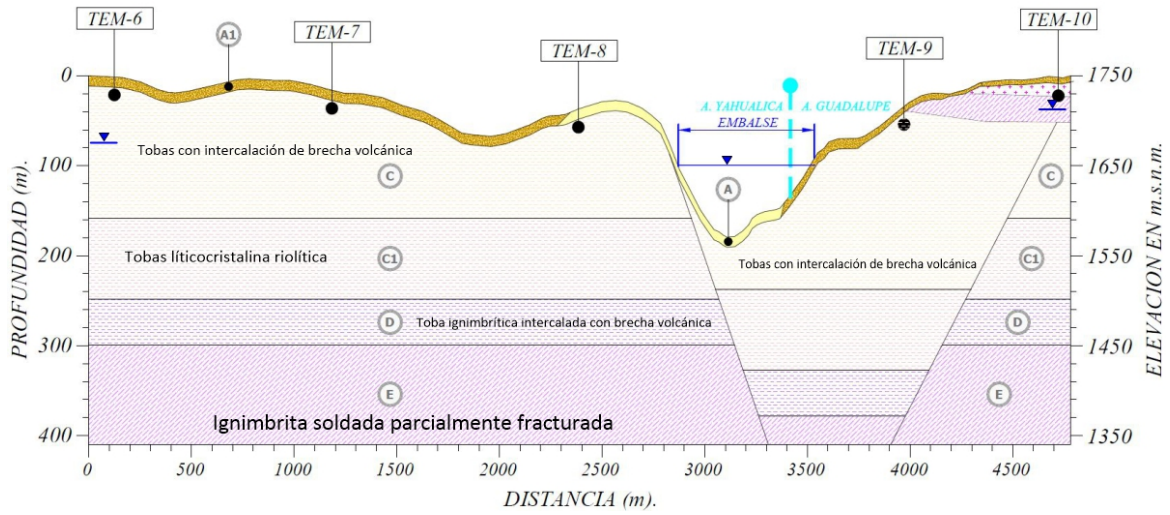


Figura 8.8 Sección hidrogeológica 3

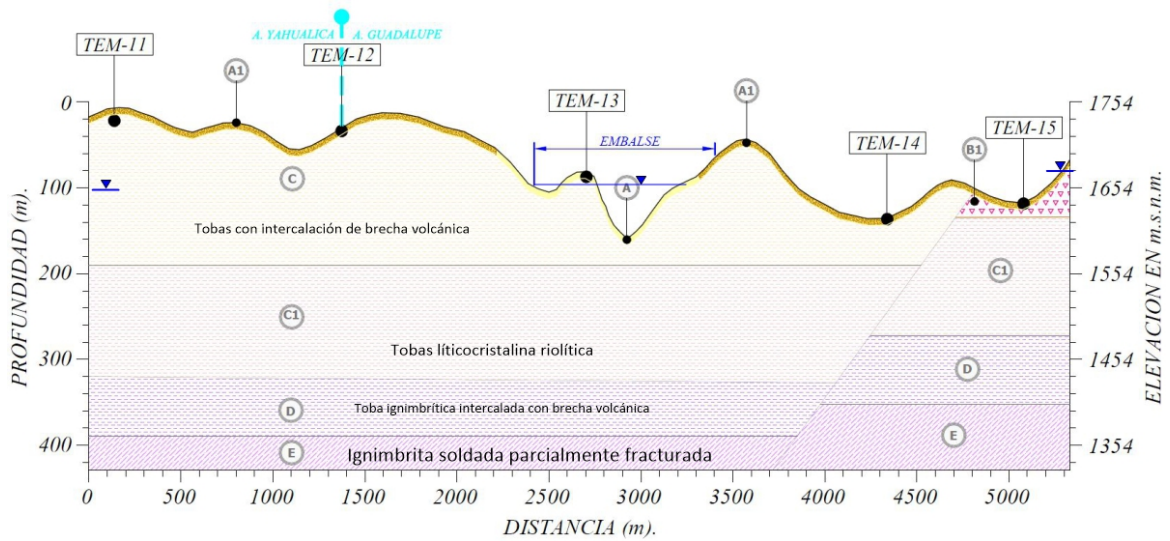


Figura 8.9 Sección hidrogeológica 4

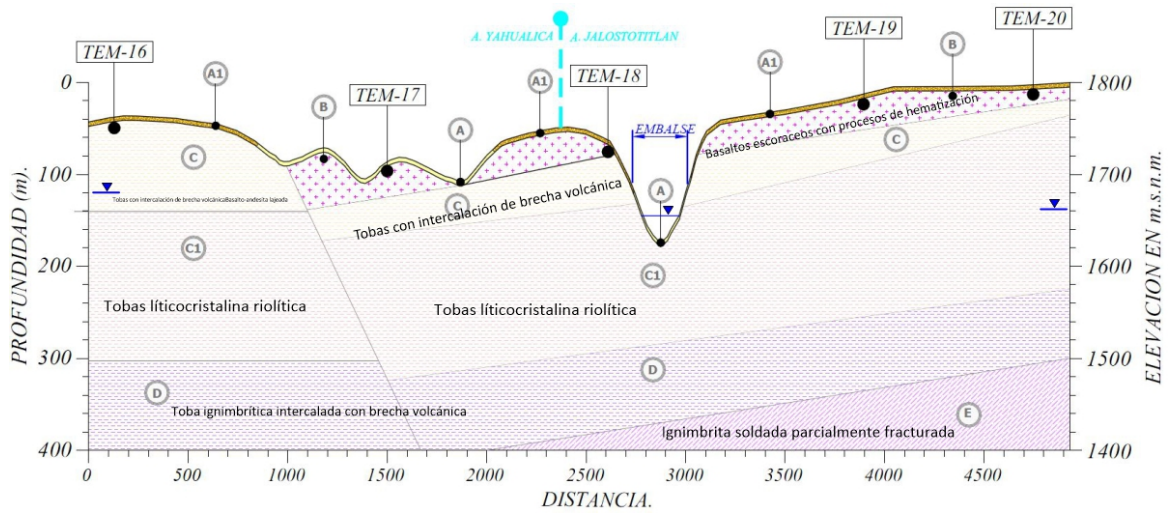


Figura 8.10 Sección hidrogeológica 5

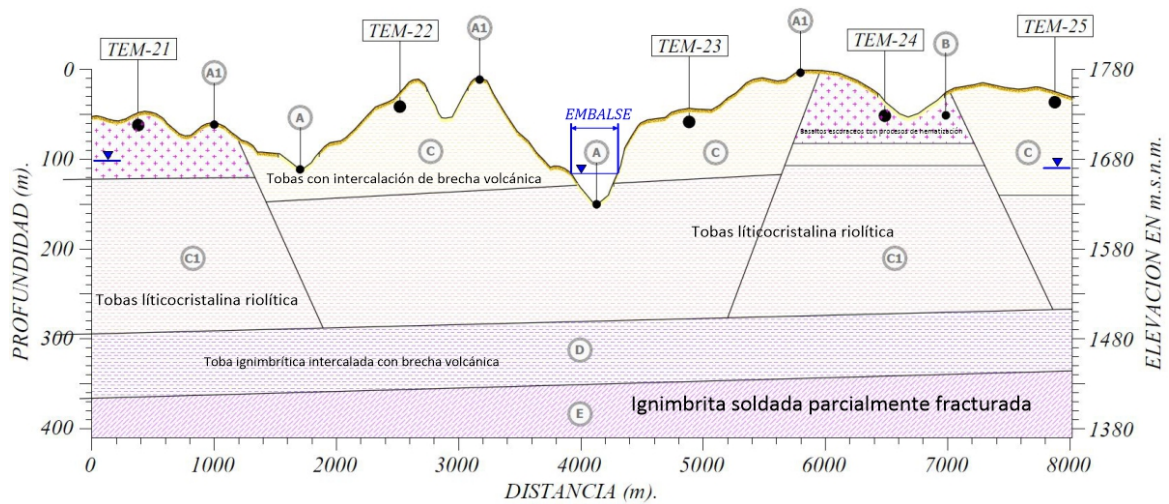


Figura 8.11 Sección hidrogeológica 6

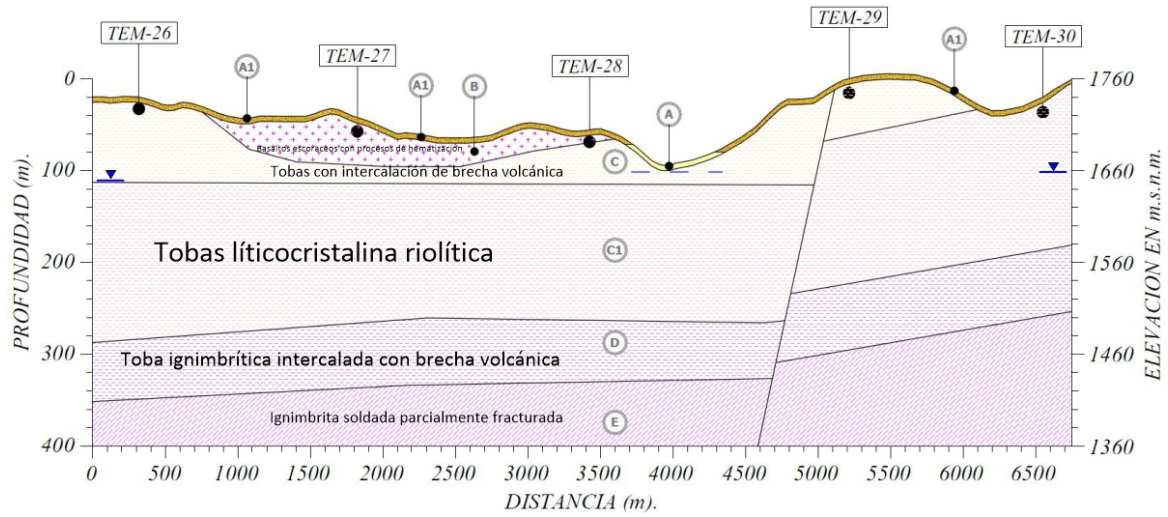


Figura 8.12 Sección hidrogeológica 7

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1. Conclusiones

En área de estudio los principales núcleos urbanos son Yahualica, Mexxicacán, Teocaltiche, Jalostotitlán, Cañadas de Obregón y pequeños poblados como Acasico, El Santuario, Ojuelos, San Gaspar de Los Reyes, Apozolco, Agua Caliente, Santa Isabel, San José, Temacapulín y El Zapotillo.

Los acuíferos de la zona corresponden a acuíferos de tipo libre, lo cual significa que la superficie del agua subterránea se encuentra en equilibrio con la atmósfera y de tipo semiconfinado en aquellas partes donde haya capas de material impermeable.

En el censo de aprovechamientos se identificaron 55 aprovechamientos, de los cuales el uso principal del agua fue el público-urbano (54%), el segundo lugar lo ocupa el agrícola (32%), y en menor medida doméstico (8%) y pecuario (6%).

La distribución de las unidades geológicas permitió definir un marco de referencia que controla el flujo del agua subterránea. Con base en la información disponible de la interpretación geológica y geofísica, fue factible definir las unidades hidrogeológicas de la zona y se observa que el estrato donde se encuentran localizados los pozos y el cauce de río Verde, son las mismas unidades hidrogeológicas, la C brecha volcánica y la C1 Tobas líticocristalinas.

Con las mediciones de piezometría del censo incluido en este estudio nos refiere que las direcciones de flujo del agua subterránea son de la zona de explotación de los acuíferos hacia el río Verde. Una vez llenado el embalse se podría llegar al equilibrio del nivel o invertir las direcciones de flujo del embalse hacia los pozos, si el régimen de explotación fuera intensivo y la profundidad de los pozos fuera mayor a 200 m.

Con el fin de establecer la hidrogeoquímica de la zona, se realizó la toma de muestras de agua subterránea en 40 aprovechamientos para el análisis fisicoquímico, bacteriológico e isotópico.

Los acuíferos aledaños a la presa El Zapotillo son recargados por agua de lluvia de infiltración directa y por componentes de los escurrimientos que descargan ríos y arroyos de la cuenca.

Los aprovechamientos que reciben contribuciones en su recarga proveniente de los escurrimientos superficiales presentan las aguas menos mineralizadas y de mejor calidad química.

Las conductividades eléctricas (CE) más bajas de los aprovechamientos presentan contenidos isotópicos más enriquecidos por efecto de evaporación, y corresponden a los arroyos y ríos de la zona, los cuales contribuyen en la recarga de los acuíferos aledaños a la presa, en porcentajes que dependen de las condiciones hidrogeológicas del medio físico y de las características constructivas de los pozos.

De acuerdo con el diagrama de Piper la clasificación de las familias o tipos de agua son: Bicarbonatada-Cálcica y Bicarbonatada-Sódica predominantemente. El primer tipo está caracterizado por las aguas superficiales que drenan la cuenca a través de los ríos de la zona y por el agua de lluvia infiltrada directamente en el subsuelo.

La determinación de organismos coliformes fecales y totales presentes en el agua de los aprovechamientos considerados en el estudio, se determinó mediante el método basado en la fermentación de la lactosa. El Número Más Probable (NMP) en los resultados se aplica la teoría de la probabilidad. Los resultados de laboratorio indican que el agua de varios aprovechamientos, presentan coliformes fecales y/o totales. Los pozos destinados para abastecimiento público, que presentan contaminación microbiológica son los siguientes:

- *Acuífero Lagos de Moreno*: San Gaspar de los Reyes (1) y La Lagunita (38).
- *Acuífero Jalostotitlán*: Rancho Viejo (3), San Nicolás de las Flores (4), La Esperanza (30), Santa Isabel (32), Rincón de Guzmán (34) y Rancho Jiménez (35).
- *Acuífero Encarnación*: Santa Bárbara: (6) y Teocaltitán (9).
- *Acuífero Yahualica*: Mexticacán (20), Ojuelos (21), El Mirador (41) y Asilo Presbítero Demetrio Mora (45).
- *Acuífero Valle de Guadalupe*: en los pozos de abastecimiento no se detectaron (ND).

De acuerdo a los resultados fisicoquímicos, el embalse de la presa El Zapotillo mejoraría la calidad del agua de los acuíferos aledaños en su componente química, pero se vería afectada por los sólidos totales disueltos y la presencia de coliformes fecales, debido a las descargas directas a los cuerpos de agua receptores, por las granjas de pollos y porcinas.

El volumen de agua almacenado por la presa, proporcionaría una carga hidráulica favorable para el potencial de los acuíferos, y se aprovecharía por los pozos más profundos que se encuentren en la misma unidad hidrogeológica que el río Verde.

También existen aprovechamientos que son recargados de manera efectiva por flujos profundos de agua mineralizada.

9.2. Recomendaciones

Realizar recorridos piezométricos al menos dos veces al año, lo cual podría efectuarse al final de la temporada de secas (mayo) y de lluvias (noviembre). Además de realizar campañas de muestreo de agua subterránea, para contar con una amplia red de pozos que en el futuro se utilicen como línea base de nivel y calidad del agua subterránea.

10.REFERENCIAS

Ayers, R.S. y Westcot, D. W.; 1985: La calidad del agua para la agricultura. FAO, Estudio de Riego y Drenaje No. 29, Roma.

Barton, L. L., & Tomei, F. A. (1995). Characteristics and activities of sulfate-reducing bacteria. In L. L. Barton (Ed.), *Sulfate reducing bacteria* (pp. 1–32). New York: Springer.

Betts R. and Voss R., 1970. The kinetics of oxygen exchange between the sulfite ion and water. *Can. J. Geochem.* 48, 2035-2041.

Canfield, D. E. (2001a). Biogeochemistry of sulfur isotopes. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 43(1), 607–636.

Campa, M. F., Coney, P. J., 1983, Tectono-stratigraphic terranes and mineral resource distributions in Mexico: *Canadian Journal of Earth Sciences*, 20, 1040-1051

Claassen, H.C. (1982). Guidelines and techniques for obtaining water samples that accurately represent the water chemistry of an aquifer, U.S. Geol. Surv. Open File Report, 82-1024, 49 p.

Clark, I.D., and Fritz, P., 1997. Environmental isotopes in hydrogeology. Lewis Publishers, N.Y., U.S.A., 63–108 y 287-290.

Craig, H., 1961. Standard for reporting concentrations of deuterium and oxygen-18 in natural water, *Science*, 133: 1833-1834.

Demant, A., 1979, Vulcanología y petrografía del sector occidental del Eje Neovolcánico: *Revista del Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México*, 3, 39-57.

Estadísticas del Agua en México (2006). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Sistema Nacional de Información sobre cantidad, calidad, usos y conservación del agua (SINA). Cuarta edición. Impreso en México. ISBN 968-817-758-X. 201 pp.

Fritz P., Basharmal G., Drimmie R. Ibsen J. and Qureshi R., 1989. Oxygen isotope exchange between sulfate and water during bacterial reduction of sulfate. *Chem. Geol.*, 79, 99-105.

Giménez, E. 1994. Tesis Doctoral. Caracterización hidroquímica de los procesos de salinización en el acuífero detrítico costero de la Plana de Castellón (España). Universidad de Granada.

Gob.mx (2018). Consultado el 14 de octubre de 2018. <https://www.gob.mx/se/articulos/jalisco-y-sus-principales-sectores-productivos-y-estrategicos>.

Heider, K.S. and Billing, G.K. 1970. Lithium, In: Wedepohl, K.H. (Ed.), Handbook of Geochemistry. Chap. 3 (B-O). Springer-Verlag. Berlin-Heidelberg.

Horita, J., 2005. Isotopes in the Water Cycle, Past, Present and Future of a Developing Science, IAEA, Ed. By Pradeep K. Aggarwal, Joel R. Gat, and Klaus F.O. Fröhlich, Springer, pp 271-275

Hutton, L.G., 1983. Field testing of water in developing countries. Unwin Brothers Limited. Great Britain. 125p.

IAEA, 2005. Isotopes in the water cycle. Springer, Past, present and future of a developing science. Springer. The Netherlands. 381p.

INEGI (2018). Consultado el 14 de octubre de 2018. <http://ieeg.gob.mx/contenido/Municipios>

INEGI (2018a). Consultado el 14 de octubre de 2018. <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/mapas/fisiografia/>

Mazor, E., 1991. Applied Chemicals and isotopic groundwater hydrology. Burns & Smith Ltd., Great Britain. 271p.

NMX-AA-007-SCFI-2013. Norma Oficial Mexicana que establece: Análisis de agua-medición de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-Método de prueba.

NOM-011-CONAGUA-2000. Conservación del recurso agua- Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas subterráneas.

Ortega Gutiérrez, F. (1991). Provincias Geológicas de México, Cap. VI del Texto Explicativo de la Quinta Edición de la Carta Geológica de la República Mexicana. UNAM, 74 p.

Pasquarè, G., Ferrari, L., Garduño, V. H., Tibaldi, A. y Vezzoli, L (1991). Geologic Map of Central Sector of the Mexican Volcanic Belt, States of Guanajuato and Michoacan, México. The Geological Society of America, p. 1-22.

Raisz, Erwin. (1964). Physiographic provinces landforms of Mexico. Geographic Branch of the office of Naval Research. Cambridge Mass, U. S. A.

Secretaría de Salubridad y Asistencia, (2000). Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA-1994 Salud Ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.

Tardy, M. (1980). Contribution a l'etude geologique de la Sierra Madre Oriental du Mexique. Mém. de Thèse de Doctorat d'Etat, Univ. Pierre et Marie Curie de Paris. 459 pp.