

**Entrega Documento Resultante de Servicio de Consultoría en
Medio Ambiente y Desarrollo Territorial, Estrategia de Planes
Parciales de Desarrollo Urbano de Boca de la Arena y el Bajío,
Zapopan Jalisco.**

Orden de compra

**A quien Corresponda
SEMADET
Gobierno del Estado de Jalisco**

Por medio del presente hacemos entrega del documento mencionado, el mismo se encuentra impreso en el "cuerpo" del presente documento.

Sin más me despido enviando un cordial saludo.

Razón social: [REDACTED]
Número de Proveedor: [REDACTED]

Zapopan, Jal. 17 de diciembre de 2015

ATENTAMENTE

[REDACTED]
Director General y Representante correspondiente

**Evaluación Ambiental Estratégica de Planes
Parciales de Desarrollo Urbano de Boca de la
Arena y el Bajío, Zapopan Jalisco**

Reporte Integrador

Diciembre 2015

Tabla de contenido

Objetivos	12
<i>Objetivos específicos</i>	12
1. Elementos que se consideraron para esta EAE	12
<i>Identificación de los actores clave</i>	13
La identificación de actores y su participación en la evaluación de impacto: objetivos y principios para la buena práctica	13
Mapeo de actores clave	15
<i>Definición del alcance (scoping)</i>	15
Identificación y priorización de aspectos clave	15
Definición de los objetivos de la EAE	16
2. Definición del contexto actual y tendencias	16
Línea de base	17
El Bajío de Zapopan en la Zona Metropolitana de Guadalajara	17
Descripción del área de estudio	18
El soporte físico-natural	19
Contexto geológico tectónico regional	19
Las inversiones térmicas	46
Hidrografía	48
La aproximación geohidrológica	53
Servicios Ambientales Hídricos (SAH) de La Primavera y de El Bajío del Arenal	64
Las comunidades bióticas: contenidos y dinámicas	109
Vegetación	109
Fauna	137
Revisión de los marcos institucional y legal y de políticas y programas que inciden en el territorio	168
Descripción de tendencias	177
<i>Contribución a la identificación de alternativas</i>	178
<i>Análisis de consistencia de objetivos</i>	178
<i>Análisis de impactos y oportunidades de alternativas</i>	178
Análisis de impactos acumulativos	178
<i>Indicadores de desempeño</i>	180
3. Recomendaciones	180
<i>Marco Institucional e instrumentos innovadores para la gestión del territorio</i>	180
Incorporar el eje de Sustentabilidad Ambiental en un Centro de Estudios, Planeación y Proyectos Estratégicos de Zapopan (CEPPEZ) o similar	180

Generación y fortalecimiento de capacidades municipales para una planeación y gestión territorial eficaz.....	181
Sustentabilidad ambiental y cambio climático.....	182
Medidas, acciones, proyectos e instrumentos más adecuados para incrementar la sustentabilidad ambiental en el territorio de influencia de El Bajío.....	183
Articular e implementar mejores prácticas para la planeación y gestión del nexo territorio, agua y energía.	183
Acciones	183
Articular e implementar mejores prácticas para la valoración y gestión de los servicios de los ecosistemas y su vínculo con el bienestar humano.....	185
Generar una institucionalización municipal y fortalecer la articulación de la gestión estratégica del agua.....	187
Implementar y fortalecer un Sistema de Evaluación de Impactos innovador y eficaz para la planeación y gestión de la sustentabilidad ambiental	191
¿Qué implicaría la Evaluación de Impactos 2.0 para Zapopan?	191
Fortalecer la naturaleza dual técnica y de procedimiento de la EI.....	192
Articular e implementar mejores prácticas para la evaluación y gestión de riesgos ambientales en el contexto del cambio climático	194
Articular programas de monitoreo y gestión de la calidad del aire y emisiones de GEI entre el Estado y otros municipios metropolitanos.....	195
Estructurar un sistema de análisis y gestión de la demanda energética en las áreas urbanas y periurbanas	196
Desarrollar un programa de análisis de ruido, receptores e implementación de mitigaciones .	198
<i>Propuestas estructurales para la formación de capacidades en evaluación de impactos.....</i>	<i>199</i>
4. Referencias.....	202

Índice de figuras e ilustraciones

Imagen 1. Área de aplicación y contexto	19
Imagen 1.1.1. Transecto que se realizó para hacer el levantamiento magnetoestratigráfico, (tomado de Urrutia et. al 2002).	20
Imagen 1.1.2 Diagrama que muestra el estado de los esfuerzo en las inmediaciones de La Primavera, tomado de Luca Ferrari and José Rosas Elguera (1998).	21
Imagen 1.1.3 Sistema de fallas identificado en los estudios de Mahood op cit:	23
Sistema falla anular caldérica Río Caliente.Sistema de fallamiento La Gotera.	
Sistema de fallamiento Mesa El Nejahuete.Sistema de fallamiento Cerritos Colorados.	23
A) El Bajío.	23
Imagen 1.1.4 Se puede observar en el transecto magnetoestratigráfico elaborado por Urrutia et. al., 2002, que el tren principal (precaldera) corresponde con el sistema Plan de Barrancas-Santa Rosa, existe dos fallas que caen hacia el norte pero que aparentemente no tienen reflejo en superficie, una de ellas está debajo de La Primavera y el otro corresponde a una falla que se encuentra en los sedimentos que se localizan abajo de la ciudad de Guadalajara. Las dos forman una estructura tipo graben parte de valla, específicamente la parte poniente. (Tomado de Urrutia et. al 2002).	24
Imagen 1.1.5. Trazo de la falla anular denominada por Mahood (1977) La Gotera. El trazo desde la zona del Colli, va formando un arco con dirección al poniente, se corta y vuelve a aparecer sobre el piedemonte del Cerro de Pinar, para internarse en los sedimentos lacustres. De acuerdo con los estudios de Mahood, op. cit. el escarpe refleja una falla más profunda donde el plano de la falla cae al noreste.	25
Imagen 1.1.6. Sobre el escarpe de La Gotera se observa una serie de fallas que afectan la secuencia más superficial pumítica.	25
Imagen 1.1.7 Trazo de la falla anular caldérica reportada en los estudios previos (color negro) y el patrón NE-SO y N-S que se observa en el cerro El Chapulin.	26
Imagen 1.1.8. Sistema de fallamiento en el Cerro El Chapulín, donde se conjugan orientaciones NNO-SSE y NE-SO. Las flechas en azul indican la dirección de basculamiento de las lavas de los domos riolíticos.	26
1.1.9. Imagen aérea del INEGI de 1970 en donde se pueden observar los siguientes rasgos geológicos, estructurales y geomorfológicos:	27
1) Escarpe la Gotera (falla anular caldérica).2) Sistema de fallas del cerro El Chapulín.3) Cuerpo deslizado.A) Domo El Colli.B)	
1.1.11 Características de los domos y los flujos en el complejo de la sierra de La Primavera, A Corresponde al Cerro El Colli, O Cerro Gachupín, F. Cerro La Lobera. La flecha indica la zona del proyecto de la Villa Panamericana. Tomado de Mahood 1977. p 181.	29
Imagen 1.1.12 donde se observa las secuencias que forman el paquete más superficial de piroclastos:	30
• pómez de caída color amarillo. •pómez con ceniza color gris claro. • toba pumítica color gris.	30
Imagen 1.1.13. Perfiles geológicos sobre el transecto que va de Huaxtla a La Primavera. (Tomado de Urrutia et al., 2002).	32
Imagen 1.1.14. Mapa geológico regional de la zona de estudio (tomado de Rossotti et al., (2002).	33
Imagen 1.1.15.Rasgos geológico-estructurales que delimitan al Bajío: 1) Escarpe La Gotera, 2) Flujo piroclástico del domo Pinar de La Venta; 3) Domo El Chapulín; 4) Domo El Colli. Las líneas en rojo indica las fallas que se observa en la zona de Colomos.	37

Imagen 1.1.16 Perfil elaborado en los estudios de Ortiz et. al., 1998, donde se muestran los rasgos de las secuencias de los paquetes que forman la columna estratigráfica en la zona de La Primavera-Valle de Guadalajara, uno de los datos más significativos es la presencia de un graben al centro del valle, a la altura del antiguo cauce del Río San Juan de Dios.	38
Imagen 1.1.17 El perfil estratigráfico interpretado a partir de los datos gravimétricos obtenidos por Campos, se puede observar las siguientes secuencias: el paquete más profundo corresponde con el granito, le continúa la andesita, y es cubierta por tobas y riolitas la parte más reciente corresponde con sedimentos de diversa naturaleza. Tomado de Campos et. al., 1998.	38
Imagen 1.1.18 Secuencia geológica que aflora sobre el escarpe de La Gotera. Se observa las siguientes secuencias: pómez de caída (pumice falla), ceniza (Ash Falla) y flujos pumicíticos (pumicite surges).	39
Imagen 1.1.19 Lente de gravas inmerso en una secuencia pumítica gris claro, aflora sobre el escarpe La Gotera.	40
Imagen 1.1.20 Secuencia que se identifica sobre el escarpe la Gotera es la siguiente: 1) Paquete de pómez intercalado con ceniza; 2) Paquete de ceniza color claro; 3) Paquete de pómez de caída, 4) La línea en negro corresponde con un contacto erosivo; 4) laminas delgadas originadas por eventos explosivos de alta energía corresponde con surges.	40
Imagen 1.1.21 Laderas riolítica del cerro El Chapulín.	41
Imagen 1.1.22 Secuencia geológica que aflora sobre el cuerpo deslizado cerca del El Chapulín.	41
Imagen 1.1.24 Corte sobre abanico aluvial, donde se observan alternancia de láminas delgadas de arenas pumicíticas, tobas, flujos caóticos, y conglomerados aluviales cubiertos por pómez parcialmente retrabajadas proveniente de la última actividad volcánica del Colli.	42
Imagen 1.1.25 Secuencia lacustre (a) cubierta por una fina capa de material depositado en ambiente subacúatico y una capa de pumicitas.	42
Imagen 1.1.26 Arcillas que forman parte de la secuencia de sedimentos lacustres que aflora en las márgenes del cauce del Arroyo La Arena y Boca de La Arena. La zona de contacto entre esta unidad y las arenas y pómez se registra un afloramiento importante de agua hipodérmica.	43
Imagen 1.1.27 Puntos en donde se obtuvo información del subsuelo, aproximadamente a una profundidad de entre 5 a 15 m. del nivel del suelo.	43
Imagen 1.1.28 Puntos en donde se pudo observar la secuencia más superficial del piso de la depresión.	44
Imagen 1.1.30 Modelo Digital de la zona El Bajío-Colomos y sus unidades principales:	45
1) Desembocadura de los escurrimientos Boca de La Arena y La Arena.	45
2) El Bajío.	45
3) Escarpe La Gotera.	45
4) Sistema de Barrancas Colomos (SBC).	45
Imagen 1.1.31 Imagen aérea del INEGI de 1970 en donde se puede observar los siguientes rasgos geológico-geomorfológicos previos al proceso de urbanización y actividades extractivas:	46
• Escarpe La Gotera	46
• Sistema de fallas de El Chapulín	46
• Cuerpo deslizado.	46
• Domo El Colli.	46
• Domo El Chapulín.	46

• Arroyos Boca de La Arena.	46
• Depresión El Bajío.	46
Imagen 1.1.37. Rasgos morfológicos del entorno de la zona de estudio en la década de los años de 1970.	48
Escarpe La Gotera.	48
Sistema de fallas del cerro El Chapulín.	48
Cuerpo deslizado.	48
B Cerro El Chapulín.	48
C Boca de La Arena.	48
D Depresión El Bajío.	48
Imagen 1.2.1. Patrón superficial previo al proceso de urbanización:	49
1) En el cauce amplio se registraba una alta tasa de infiltración; 2) El patrón final era de carácter distributivo; 3) Cauce sinuoso disminuye la velocidad aumentando lo infiltrado a todo lo largo de su trayectoria; 4) Cauce sinuoso favoreciendo la infiltración.	49
Imagen 1.2.2. Un mapa donde se observan los múltiples niveles de infiltración que existían. 1) Infiltración principal; 2) infiltración a nivel de los escurrimientos Boca de la Arena, La Arena y algunos puntos al pie del cerro El Chapulín. Así como al pie de las lomas en el sur.	50
Imagen 1.2.4. Microcuencas identificadas en la zona:	51
Microcuenca El Colli.	51
Microcuenca El Colli 2.	51
Microcuenca El Chapulín.	51
Microcuenca El Chapulin I.	51
Microcuenca El Chapulín II.	51
Microcuencas Boca de La Arena y La Arena.	51
Microcuenca Pinar de La Venta.	51
Microcuencas Rancho Contento.	51
Imagen 1.2.6. En color claro la antigua zona de de infiltración y en azul la actual zona de infiltración.	52
Imagen 1.3.1. Sección geológica A-A' en la que se observa la interpretación de la correlación estratigráfica entre El Bajío norte y parte del acuífero de Atemajac (con base en GEOEX-SIAPA 2003; López y Clausen, 2005)	57
Imagen 1.3.2. Sección geológica F-F' en la que se observa la interpretación de la correlación estratigráfica entre El Bajío sur y parte del acuífero de Atemajac (con base en GEOEX-SIAPA 2003; López y Clausen, 2005).	58
Imagen 1.3.3. Diagrama básico de flujo del agua subterránea	59
Imagen 1.3.4 Modelo conceptual de movimiento del agua subterránea con respecto al predio JVC. Se observa el control estructural sobre el flujo regional del agua subterránea al norte del predio de JVC (MIA JVC, Clifton Associates, 2003).	61
Imagen 1.3.5. Modelo de nivel estático 2003 (con base en SIAPA-GEOEX, 2003 y SEMADES, 2009)	62
Imagen 1.3.6. Estructuras geológicas y modelo de flujo del agua subterránea hacia la zona de descarga en Colomos, identificado como "sitio" (con base en López y Clausen 2005; y SIAPA-GEOEX, 2003).	63

Imagen 1.3.7. Topografía, estructuras y modelo de flujo del agua subterránea hacia la zona de descarga en Colomos, identificado como "sitio" (con base en López y Clausen 2005; y SIAPA-GEOEX, 2003)	64
Imagen 1.3.8 Domos de El Chapulín, El Colli (en la parte inferior izquierda, estructuras geológicas, morfología del terreno y modelo de flujo del agua subterránea hacia la zona de descarga en Colomos, identificado como "sitio" (con base en López y Clausen 2005; y SIAPA-GEOEX, 2003)	67
Imagen 1.3.9. Sección geológica E-E'. Se observa la interpretación de la correlación estratigráfica entre El Bajío norte y parte del acuífero de Atemajac (con base en GEOEX-SIAPA 2003).	73
Imagen 1.3.10. Cuenca hidrológica superficial de Atemajac (parte alta), sobre ortofotografías INEGI (SEMADES, 2009).	84
Imagen 1.3.11. Almacenamientos históricos del lago de Chapala (1934-2004) (Von Bertrab and Wester 2005)	88
Imagen 1.3.5. Aprovechamientos registrados en CONAGUA dentro de la parte alta de la subcuenca del arroyo Atemajac.	98
Imagen 1.3.7. Puntos base para la Gestión integral de recursos hídricos subterráneos de acuerdo al Banco Mundial (Banco Mundial, Foster et al. 1998).	100
Fuente: clasificación de tipos de hábitat de Begon et al., 2006, clasificación de paisajes de Heijungs et al. 1992, con modificaciones.	112
Imagen 1.4.1. Esquema jerárquico de ecosistemas terrestres y acuáticos con agrupación por tipo de hábitat (Begon et. al. 2006) ilustrada con asignación en el esquema de Heijungs et. al. (1992).	112
Fuente: fotografía V. Shalisko en Cerro El Chapulín 2009.	118
Imagen 1.4.6. Bosque mixto con predominancia de Quercus en el Cerro El Chapulín colindante con área de aplicación.	118
[] – Quercus resinosa Liebm. ; [] – Quercus magnoliifolia Née ;	120
[] – Pinus oocarpa Schiede ex Schltdl. ; [] – Clethra rosei Britton ;	120
[] – Quercus viminea Trel. ; [] – Arbutus xalapensis H.B.K. ;	120
d – Verbesina greenmanii Urb. ; g – Heterocentron mexicanum Hook. & Arn. ;	120
h – Pteridium feei (Feé) Maxon ex Faul	120
Fuente: MIA "Villa Panamericana" 2009, esquema elaborada por V. Shalsiko.	120
Imagen 1.4.7. Perfil altitudinal de la ladera noreste del Cerro El Chapulín (tamaño de árboles en la esquema esta exagerado para propósitos de visualización).	120
a [] – Quercus resinosa Liebm. ; c [] – Quercus magnoliifolia Née	121
b [] – Pinus oocarpa Schiede ex Schltdl. ; d – Verbesina greenmanii Urb.	121
e – Calliandra anomala (Kunth) J.F. Macbr. ; f – Acacia pennatula (Schlecht. & Cham.) Benth	121
Fuente: MIA "Villa Panamericana" 2009, esquema elaborada por V. Shalsiko.	121
Imagen 1.4.8. Perfil de vegetación para sitio 2 (bosque mixto de Quercus y Pinus).	121
Fuente: fotografía V. Shalisko en Cerro El Colli.	122
Imagen 1.4.9. Bosque de Quercus con elementos de bosque tropical caducifolio en el Cerro El Colli colindante con área de aplicación.	122
[] – Quercus resinosa Liebm. ; [] – Arbutus glandulosa Mart. et Gal. ;	123

[] – <i>Pinus oocarpa</i> Schiede ex Schltdl. ; [] – <i>Clethra rosei</i> Britton ;	123	
[] – <i>Acacia pennatula</i> (Schlecht. & Cham.) Benth.;	123	
a – <i>Prochnyanthes mexicana</i> (Zucc.) Rose. ; b – <i>Agave guadalajarana</i> Trel.	123	
Fuente: Macías-Rodríguez & Ramírez-Delgadillo, 2000; esquema repetida y modificada por V. Shalisko.	123	
Imagen 1.4.9. Perfil altitudinal de la ladera norte del Cerro El Colli (tamaño de árboles en la esquema esta exagerado para propósitos de visualización). Fuente: fotografía V. Shalisko 2009.	124	
Imagen 1.4.10. Matorral inducido de <i>Baccharis salicifolia</i> en el Bajío. Fuente: fotografía V. Shalisko.	126	
Imagen 1.4.11. Pastizal inducido con fragmentos de matorral y elementos riparios en el área de aplicación. Fuente: fotografía V. Shalisko 2004.	127	
Imagen 1.4.12. Vista de restos de pastizal inundable natural en la parte baja del Bajío. Fuente: fotografía V. Shalisko 2004.	129	
Imagen 1.4.13. Cuerpo de agua ubicado en la depresión de la cuenca endorreica. Fuente: Listado florístico.	132	132
Imagen 1.4.14. Las familias y los géneros de flora vascular mejor representados en el Bajío jalisciense y en área de influencia de flora. Fuente: Listado florístico.	133	
Imagen 1.4.15. Volumen de la flora vascular por tipo de vegetación en el Bajío y en área de influencia.	133	
Imagen 1.4.18. Imagen del Bajío en la cual se muestra en una línea verde los recorridos de reconocimiento y con puntos rojos los sitios que se eligieron para la instalación de cámaras trampa.	138	
Imagen 1.4.19. Indica los transectos (verde) y recorridos (amarillo) para el registro de los vertebrados terrestres.	139	
Imagen 1.4.20. Modelo de elevación del terreno. Se indica en puntos verdes y amarillos los sitios de muestreo y de observación de los diferentes grupos de fauna	140	
Imagen 1.4.21. Búsqueda de anfibios y reptiles. A) Transectos de búsqueda. B) Captura de individuos.	142	
Imagen 1.4.22. Observación de aves.	143	
Imagen 1.4.23. Colocación de cámaras trampa para el registro de mamíferos medianos y grandes.	146	
Imagen 1.4.24. Abundancia relativa de los vertebrados terrestres potenciales del Bajío y las reportadas para el APFFLP.	147	
Imagen 1.4.25. Especies de anfibio del bosque de <i>Quercus</i> . <i>Hyla eximia</i> .	147	
Imagen 1.4.27. Especies de aves pertenecientes a la familia <i>Emberizidae</i> : 1) <i>Aimophila ruficeps</i> (zacatonero coroniruf), 2) <i>Ammodramus savannarum</i> (gorrión chapulín), 3) <i>Chondestes grammacus</i> (gorrión arlequín), 4) <i>Melospiza lincolnii</i> (gorrión de Lincoln), 5) <i>Passerculus sandwichensis</i> (gorrión sabanero), 6) <i>Pipilo fuscus</i> (rascador arroyero), 7) <i>Poocetes gramineus</i> (gorrión coliblanco), 8) <i>Spizella passerina</i> (gorrión cejiblanco).	149	
Imagen 1.4.28. Especies de aves pertenecientes a la familia <i>Tyrannidae</i> : 1) <i>Mitrephanes phaeocercus</i> (mosquero penachudo), 2) <i>Pyrocephalus rubinus</i> (mosquero cardenal), 3) <i>Tyrannus melancholicus</i> (tirano tropical), 4) <i>Tyrannus vociferans</i> (tirano gritón).	150	
Imagen 1.4.29. Especies de aves pertenecientes a la familia <i>Parulidae</i> : 1) <i>Dendroica coronata</i> (chipe rabadilla amarilla), 2) <i>Dendroica nigrescens</i> (chipe negrigris), 3) <i>Vermivora celata</i> (chipe corona naranja), 4) <i>Wilsonia pusilla</i> (chipe de Wilson).	150	
Imagen 1.4.30. Especies de aves pertenecientes a las familias <i>Trochilidae</i> : 1) <i>Amazilia beryllina</i> (colibrí de Berilo), 2) <i>Amazilia violiceps</i> (colibrí corona violeta) 3) <i>Cyananthus latirostris</i> (colibrí piquiancho). <i>Columbidae</i> : 4) <i>Columbina inca</i> (tortola colilarga), 5) <i>Zenaida macroura</i> (paloma huilota). <i>Falconidae</i> : 6) <i>Caracara cheriway</i> (caracara común), 7-8) <i>Falco sparverius</i> (cernícalo americano).	150	

Imagen 1.4.31. Especies de aves pertenecientes a las familias Ardeide: 1) Bubulcus ibis (garza ganadera). Laniidae: 2) Lanius ludovicianus (lanio americano). Mimidae: 3) Toxostoma curvirostre (cuitlacoche piquicurvo). Vireonidae: 4) Vireo cassinii (vireo de Cassin)	151
Imagen 1.4.32. Aves rapaz registrada mediante transectos de observación (Buteo jamaicensis).	151
Imagen 1.4.33. Rastros encontrados durante los transectos de búsqueda. 1) Bassariscus astutus, 2) Canis latrans, 3) Lynx rufus, 4) Urocyon cinereoargenteus.	152
Imagen 1.4.34. A) Foto de Canis latrans (coyote) cámaras trampa. B) Huella de Odocoileus virginianus registrada durante los transectos.	152
Imagen 1.4.35. Los mamíferos del orden Carnívoro son los depredadores más importantes dentro del Bajío y el ANPFFLP. Las especies de carnívoros estrictos son: 1) el puma (Puma concolor) y 2) el lince (Lynx rufus), y entre los carnívoros facultativos se encuentran 3) el coyote (Canis latrans) y 4) la zorra (Urocyon cinereoargenteus).	153
Imagen 1.4.36. Mamíferos pertenecientes al orden Rodentia, presas principales de los carnívoros que habitan la zona. 1) Mus musculus (ratón domestico), 2) Baiomys taylori (ratón silvestre), 3) Peromyscus maniculatus (ratón de campo), 4) Peromyscus boylii (ratón).	154
Imagen 1.4.38. Distribución de especies de vertebrados potenciales por tipo de vegetaciones características de la zona del Bajío y el área de contacto con el APFFLP. BE=Bosque de Encino (Quercus), PA=Pastizal, PI=Pastizal Inducido, SU=Sub-urbana, VS=vegetación secundaria.	156
Imagen 1.4.39. Bosque de Quercus dentro del APFFLP. Se puede observar una alta densidad de arboles y baja fragmentación dentro de los límites de protección de la reserva. Hábitat idóneo para el refugio de la fauna de la región.	157
Imagen 1.4.40. Mamíferos que habitan el bosque de Quercus y transitan ocasionalmente en el área de contacto o transición. Especies como estas son las que sustentan las poblaciones de carnívoros de la zona, son susceptibles a la perturbación y necesitan de condiciones relativamente conservadas para soportar la depredación de otros mamíferos y poder mantener abundancias poblacionales estables. 1) Pecarí de collar (Tayassu tajacu), 2) tlacuache (Didelphis virginiana), 3) venado (Odocoileus virginianus), 4) armadillo (Dasypus novemcinctus).	158
Imagen 1.4.41. Zona de contacto del Bajío y el APFFLP. La secuencia de las imágenes muestra la transición de los ambientes que van desde la ciudad que se distingue en el horizonte (A), la zona de pastizales cercana al borde del Bajío (B), que se va mezclando cada vez más con la vegetación característica de La Primavera que es el Quercus (C), finalmente se observa que la vegetación se hace más densa conforme nos alejamos de la zona de influencia de disturbio del Bajío (D). Aquí se pueden encontrar especies representativas de la unidad del Bosque de Quercus y de la unidad de cultivos y pastizal, que toleran niveles bajos de perturbación. (Imagen 1.4.39).	159
Imagen 1.4.42. Especies como los murciélagos por su capacidad de movimiento utilizan varias unidades paisajísticas para realizar diversas actividades complementarias para su supervivencia. Las especies tolerantes a niveles bajos de perturbación “usan” las zonas antropizadas para su alimentación, pero en el caso de los murciélagos, estos dependen directamente del bosque conservado para buscar refugio y para reproducirse. 1) Sturnira ludovici (omnívoro, importante dispersor de semillas), 2) Eptesicus fuscus (insectívoro, importante controlador de plagas), 3) Artibeus jamaicensis (omnívoro-frugívoro, importante dispersor de semillas).	160
Imagen 1.4.43. Excreta de coyote con un contenido exclusivamente de pelo de presas pertenecientes al orden Rodentia.	160
Imagen 1.4.44. Ambiente característico del Bajío. Los cultivos, pastizales, matorrales y vegetación secundaria son parte de la heterogeneidad ambiental que confiere ciertas ventajas a los grupos faunísticos más tolerantes al disturbio y que pueden verse beneficiados por ciertas actividades humanas.	161

Imagen 1.4.45. <i>Accipiter striatus</i> (Gavilán Pajadero), Especies bajo categoría de protección especial en la norma Mexicana NOM-059- ECOL -2001. Esta ave rapaz, es una de las muchas especies que se alimenta principalmente de roedores y pequeños reptiles y anfibios. Especies como estas dependen indirectamente de los ambientes de amortiguamiento que se presentan en el Bajío.	162
Imagen 1.4.46. Vista de la zona urbanizada del Bajío. Se aprecia una alta concentración de fábricas, edificios, extracción completa de la vegetación original con su subsecuente erosión y deforestación, con predominio de actividades humanas.	164
Imagen 1.4.47. Algunas especies con protección por la NOM-059- ECOL -2001. 1) <i>Pseudoeurycea bellii</i> (salamandra bajo categoría de amenazada-A), 2) <i>Myadestes occidentalis</i> (ave bajo categoría de protección especial-Pr).	165
Imagen 1.4.48. Numero de vertebrados endémicos y en categoría de protección de acuerdo a la NOM-059- ECOL -2001 que pertenecen al Bajío y el APFFLP.	165
Imagen 1.4.49. Algunas especies de aves migratorias. 1) <i>Piranga ludoviciana</i> (Tángara Occidental), 2) <i>Vermivora celata</i> (Chipe Corona-naranja).	166
Imagen 1.3.7. Zonas de veda (polígono en verde) y decretos referidos, identificados por su fecha del DOF. En morado el ANPFFLP.	176
Efectos acumulativos de distintas acciones –presentes, pasadas y futuras razonablemente predecibles– sobre un Componente Valioso del Ambiente (CVA) (IFC, 2013).	179

Indice de tablas

Tabla 1.3.1. Entradas horizontales.	90
Tabla 1.3.2. Salidas por manantiales.	91
Tabla 1.3.3. Salidas horizontales.	92
Ecuación de balance	92
Tabla 1.3.5. Comparación de resultados del acuífero Atemajac (Mm^3)	94
Tabla 1.3.6. Los principios de Berlín (Moriarty, P., Butterworth, J., Batchelor, C., 2006)	101
Tabla 1.4.1. Categorías de uso del suelo y tipos de de vegetación por tipo de hábitat en el Bajío y en sus alrededores.	112
Tabla 1.4.4. Afinidades florísticas de los componentes de flora de área de aplicación y del bosque colindante en área de influencia.	133
Tabla 1.4.5. Presencia de los especies con estatus en flora de área de aplicación y del bosque colindante en área de influencia.	135
Tabla 1.4.7. Transecto de búsqueda de anfibios y reptiles en el Bajío y la zona de transición con la reserva APFFLP.	141
Tabla 1.4.8. Transecto de búsqueda de evidencias directas e indirectas de mamíferos en el Bajío y la zona de transición con la reserva APFFLP.	144
Tabla 1.4.9. Localización de las cámaras trampas dentro de la zona de Contacto y transición entre el Bajío y el APFFLP.	145

Tabla 1.4.10. Cuatro áreas de interés para la fauna del Bajío y sus representaciones en las subunidades reconocidas en el estudio	155
Tabla 1.4.11. Especies de aves migratorias (permanencia)	166

Evaluación Ambiental Estratégica de Planes Parciales de Desarrollo Urbano de Boca de la Arena y el Bajío, Zapopan Jalisco

OBJETIVOS

El objetivo general de la Evaluación Ambiental Estratégica (EAE) fue contribuir a una planeación estratégica que facilite el desarrollo ambiental y socialmente sustentable, resiliente al cambio climático y bajo en emisiones de carbono del Municipio de Zapopan.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Contribuir, de manera continuada, al proceso de planeación estratégica:
 - a. Analizando los posibles impactos ambientales y sociales de las alternativas para el desarrollo del territorio de Boca de la Arena y el Bajío.
 - b. Identificando oportunidades para garantizar la integridad de los servicios ecosistémicos, reducir la vulnerabilidad al cambio climático y contribuir a un desarrollo hipocarbónico del territorio.
2. Integrar la EAE al proceso de planeación urbana en los municipios del Estado de Jalisco, con el fin de mejorarlo en su dimensión ambiental y social.

1. ELEMENTOS QUE SE CONSIDERARON PARA ESTA EAE

Durante las últimas décadas, la Evaluación de Impacto (EI) ha sido reconocida como un instrumento proactivo para incorporar al ambiente¹ en la toma de decisiones. El objetivo principal de la EI ha sido siempre comunicar a interesados y asesorar a los tomadores de decisiones, sobre lo que podría suceder si una acción –proyecto, plan, programa o política– es implementada (IAIA, 2012).

Desde 1989 se ha aplicado la Evaluación Ambiental Estratégica (EAE) como uno de los instrumentos más prometedores para asegurar que las preocupaciones ambientales se incorporen en etapas tempranas de la toma de decisiones (PNUMA, 2014), es decir, en el diseño de políticas, planes y programas (PPPs). La EAE ayuda a comprender el contexto de dichos PPPs para identificar problemas, potencialidades, principales tendencias y alternativas (Partidario, 2012).

¹ Ambiente se entiende como un concepto amplio que incorpora elementos fisicoquímicos, biológicos, visuales (paisajísticos), culturales y socioeconómicos.

Esta herramienta tiene el potencial de ayudar a comprender el contexto territorial de El Bajío –incluyendo sus dimensiones social, ambiental y económica– para identificar problemas, potencialidades, principales tendencias y proponer *alternativas*.

Para esta EAE se consideraron los siguientes elementos:

1. Identificación de los actores clave
2. Definición de alcance
3. Definición del contexto actual y tendencias
4. Contribución a la identificación de alternativas
5. Análisis de consistencia de objetivos
6. Análisis de impactos y oportunidades de alternativas
7. Indicadores de desempeño
8. Recomendaciones
9. Propuestas estructurales para la formación de capacidades

IDENTIFICACIÓN DE LOS ACTORES CLAVE

Se han identificado actores, intereses y posiciones de manera de facilitar la participación pública adecuada y adaptada al contexto. Se tomaron como base los principios básicos de la Asociación Internacional de Evaluación de Impacto (IAIA, por sus siglas en inglés) que se aplicaron en todas las etapas de la participación pública en la evaluación de impacto. Algunos de estos principios fueron adaptarse: al contexto, es decir, entender y apreciar las instituciones sociales y culturales de las comunidades en el área protegida y respetar su historia, cultura y ambiente de manera que no sea afectada por las propuestas de desarrollo en El Bajío; reconocer que las personas tienen derecho a estar informadas acerca de los planes que puedan afectar sus vidas o el entorno donde viven, así como la variedad y heterogeneidad de las personas gracias a la diversidad demográfica, conocimiento, poder, valores e intereses; asegurar que todos los intereses sean respetados, que la distribución de impactos sea distribuida de manera equitativa, es decir, que no recaiga únicamente sobre ciertas personas, y que se les compense y beneficie por dicho impacto; promover la cooperación, convergencia y consensos antes que confrontaciones; y por último, mejorar las propuestas mediante el estudio y análisis de éstas y tomando en cuenta la participación pública.

La identificación de actores y su participación en la evaluación de impacto: objetivos y principios para la buena práctica

Se han desarrollado las actividades de participación pública de acuerdo a recomendaciones de la IAIA. Se entendió que el proceso de participación pública se define como el involucramiento de individuos y grupos que son afectados tanto positiva como negativamente, o que están interesados en un proyecto, programa, plan o política propuesta y que es materia de un proceso de toma de decisiones (IAIA, 2006).

La participación pública puede implementarse en varios niveles; desde la participación pasiva, la cual es una participación unidireccional en la cual únicamente se recibe la información, hasta participación a través de la consulta y participación interactiva, como negociaciones y mediaciones, en donde la participación ya es bilateral.

Entre los principales objetivos de la participación pública se encuentran los siguientes (IAIA, 2006):

- Mejorar decisiones que impactan principalmente a las comunidades y el ambiente, e invitar a las personas afectadas e interesadas al proceso de toma de decisión, de tal manera que exista justicia, equidad y colaboración.
- Recopilar información de las personas acerca de su ambiente social, cultural, económico, político y biofísico, así como de las relaciones que éstas tienen con el ambiente.
- Contribuir a un mejor análisis de las propuestas, de tal manera que se logre un desarrollo más creativo, más sustentable, y como consecuencia, una mayor aceptación y cooperación por parte del público.
- Desarrollar una comunicación bilateral entre el gobierno y los ciudadanos, así, se podrán identificar las preocupaciones de la población, informar a los ciudadanos de los planes a realizar e informar a los encargados del proyecto acerca de las alternativas existentes y el impacto que se generará; todo esto de una mejor manera.

La IAIA (2006) ha propuesto un conjunto de buenas prácticas internacionales de participación pública, en el cual, se dividen las buenas prácticas en tres: principios básicos, principios de operación y una guía para el desarrollo de participación pública.

Los principios de operación describen cómo los principios básicos deben ser aplicados dentro del proceso de evaluación de impacto, dentro de lo que se menciona la involucración de las personas desde las etapas tempranas del proyecto, así como durante el proceso de evaluación de impacto, de tal manera que se construya confianza entre éstas y aumente la posibilidad de modificar la propuesta con las opiniones de todas las personas y con la finalidad de mejorarla; por otro lado, la participación pública debe ser organizada, y todos los participantes deben conocer los objetivos, reglas y procedimientos para lograr lo anterior; además, deben ser apoyadas al decidir participar en la toma de decisiones, contar con una correcta información de las propuestas, un fácil acceso a ésta, y participar de manera regular.

Finalmente, la guía para el desarrollo de los principios especifica lo que los actores deben realizar y promover para mejorar la participación pública. Algunas de las acciones mencionadas son el acceso a información útil y relevante para el público, un alto nivel de involucración y participación en la toma de decisiones, buscar maneras creativas para involucrar a la gente y que todo se lleve a cabo de la manera más justa y equitativa posible.

Mapeo de actores clave

Se identificaron los actores clave con algún interés y aportación particular en el desarrollo de la región de Boca de la Arena y el Bajío

Se realizó un mapeo de estos actores clave, percepciones y sus intereses, se detallaron los actores identificados, sus intereses, y los mecanismos de participación que promovidos en las diferentes fases.

DEFINICIÓN DEL ALCANCE (*SCOPING*)

Durante esta fase del Proyecto se definió el alcance de la EAE, es decir, se identificaron los principales aspectos clave ambientales y sociales que serán afectados por el plan parcial de desarrollo urbano y otras herramientas de planeación (este proceso es conocido internacionalmente como *Scoping*). Las fases analíticas de la EAE se centraron en dichos aspectos clave.

La definición de alcances (o *scoping*) fue una etapa crítica en los momentos iniciales de la EAE. En este proceso se identificaron los aspectos ambientales y sociales clave que pueden verse afectados por el plan parcial de desarrollo urbano y otras herramientas de planeación; se priorizaron aquellos aspectos que fueron de mayor importancia para la toma de decisiones y se descartaron aquellos que son de poco interés.

Para lograr una aproximación sistemática fue necesario compilar una lista de preocupaciones con base en la información disponible y los aportes de las partes interesadas. Después, se elaboró una lista con los problemas y preocupaciones basadas en su significancia y peso en la toma de decisiones. Por último se clasificaron y ordenaron las principales problemáticas en categorías de impacto con referencia en los objetivos políticos y conceptos científicos.

Además de identificar los aspectos clave, en este proceso se identificaron:

- Los límites espaciales y temporales para la evaluación
- La información que será necesaria para la toma de decisiones
- Los aspectos e impactos significativos que tendrán que ser estudiados en detalle.

Identificación y priorización de aspectos clave

En la identificación de los aspectos clave se tomaron en cuenta:

1. El estado y las presiones a las cuales se ve sometido el entorno ambiental y social del territorio de El Bajío y que afectan su calidad de manera significativa, incluyendo agentes de cambio y procesos históricos de deterioro de los servicios de ecosistemas;

2. Los factores de presión previstos para el territorio y posibles respuestas, incluyendo tendencias observadas en el uso de los recursos naturales y de variables sociales, otros planes de desarrollo sectoriales, municipales y del sector privado que inciden en el territorio en cuestión, y los efectos esperados del cambio climático;
3. Los puntos de vista manifestados por los actores clave consultados.

Los aspectos clave identificados se priorizaron considerando resultados de consultas con actores clave. Para llevar a cabo la fase de definición del alcance, se desarrollaron las siguientes actividades:

1. Revisión del marco legal;
2. Revisión de estudios relevantes que se hayan llevado a cabo para la región en cuestión (p.ej. evaluaciones de impacto ambiental, estudios académicos);
3. Revisión de otros planes (sectoriales, municipales, de iniciativa privada) que inciden en el área de estudio; y
4. Consultas con actores clave.

Definición de los objetivos de la EAE

Se definieron los objetivos de la EAE que se usaron para fines analíticos. Dichos objetivos se conformaron con base en: objetivos ambientales y sociales contenidos en las políticas ambientales y sociales estatales y compromisos ambientales internacionales. Asimismo, son coherentes con los aspectos ambientales identificados.

Se elaboró un Reporte específico de Definición de Alcance de la EAE, donde se expusieron los aspectos clave identificados, se fundamentan su selección, y se indican las implicaciones para las siguientes fases de la EAE (por ejemplo, la información que se recabó, las metodologías de análisis).

2. DEFINICIÓN DEL CONTEXTO ACTUAL Y TENDENCIAS

La fase analítica de la EAE se fundamentó en un conocimiento de la línea de base ambiental y social en el territorio en cuestión y las tendencias observadas y previstas para variables relevantes en ausencia del plan propuesto (esto es, la llamada 'alternativa cero').

Si bien la descripción del contexto y las tendencias tuvo un alcance amplio, los detalles se centraron en aquellas variables relevantes para el análisis de los aspectos ambientales clave.

El equipo de la EAE tomó todas las precauciones para garantizar la validez de los datos. En todo momento se citaron las fuentes de información. En los casos en los que se encontraron variables para las que no existen datos, o que la información disponible no

se consideró fiable, ello se señaló en el informe, así como sus posibles implicaciones para la validez de las conclusiones.

Diversas variables de índole espacial e hidrológica se representaron de manera digital en mapas a escala adecuada haciendo uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Los aspectos que se abarcaron en la línea de base incluyen variables ambientales, sociales y económicas, tales como: orografía, clima, previsiones del cambio climático, biodiversidad, servicios ecosistémicos, hidrogeología, hidrología, calidad del aire, calidad de suelos, calidad del agua (superficial y subterránea), uso de suelo, vulnerabilidad al cambio climático, cobertura forestal, urbanismo, empleo, equidad, violencia social, actividad económica, infraestructura social (cobertura de agua y saneamiento, de gestión de residuos, red vial, red de transporte público, energía), calidad del paisaje, zonas arqueológicas y de interés cultural; entre otros.

Línea de base

A continuación se presentan **extractos** de los estudios sistematizados y consultados para construir la línea base de esta EAE.

*EL BAJÍO DE ZAPOPAN EN LA ZONA METROPOLITANA DE GUADALAJARA*²

El Bajío de Zapopan goza de una ubicación privilegiada frente a la expansión del Área Metropolitana de Guadalajara. Su colindancia con el Periférico y su potencial vinculación con grandes vías primarias le permitirían tener una ventajosa accesibilidad. Su cercanía con el Bosque de la Primavera de la misma manera le otorga enormes ventajas ambientales: calidad del aire con vientos favorables, belleza paisajística enriquecida con flora y fauna y agua subterránea de muy buena calidad.

Paradójicamente dicha calidad ambiental por su condición limítrofe, muestra también débiles equilibrios ambientales frente a los cambios de usos del suelo. Si la calidad ambiental asigna valor económico a los terrenos, de la misma manera frente al deterioro o el riesgo los terrenos se podrían fácilmente desvalorizar.

El aire estando contaminado puede tornarse altamente peligroso por las condiciones topográficas y la proclividad de esta para el mantenimiento de inversiones térmicas, lo cual puede ocurrir con cualquier contingencia ambiental o por las posibilidades de un incendio del bosque. Por su parte el paisaje puede ser amenazado frente a posibles deterioros del bosque un incendio de copa podría dejar secuelas por varios años. Finalmente el agua. Tratándose el Bajío de una cuenca cerrada debe considerarse seriamente la posibilidad de inundaciones, los daños posibles al acuífero subterráneo por

² *Bases de ordenamiento ecológico para el Plan Maestro del Bajío* Preparado por Geosíntesis S.C. (2011)

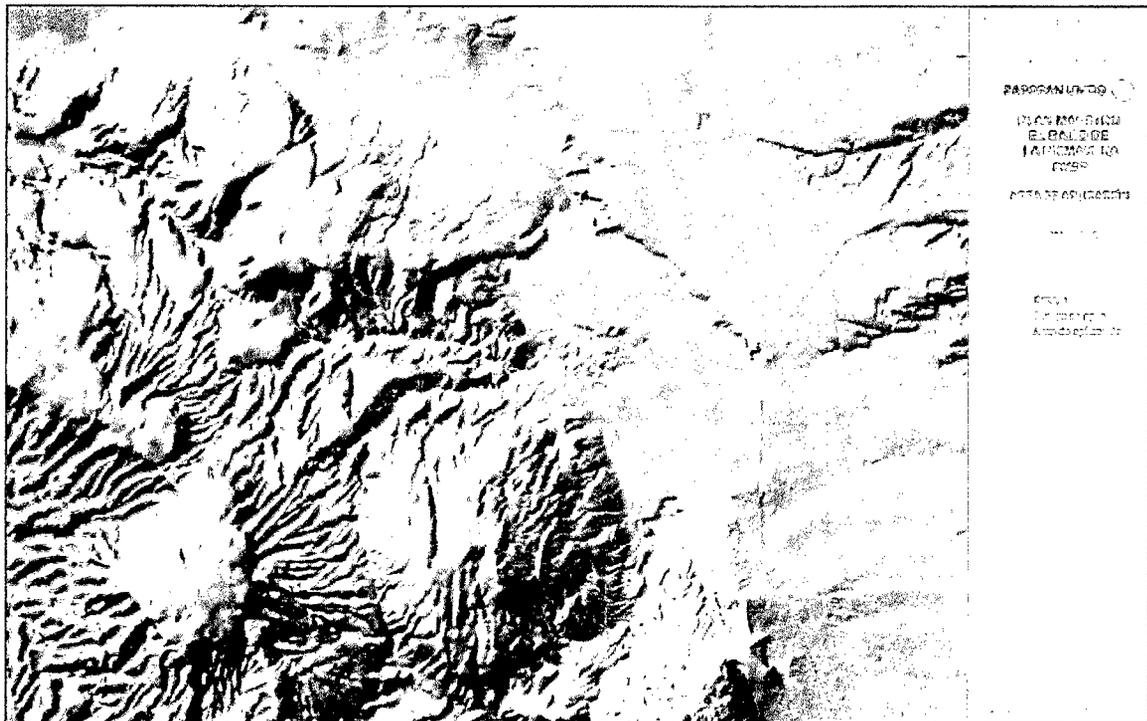
la creciente extracción y las secuelas de los dos anteriores pueden auspiciar la formación de las ya conocidas grietas o "abras".

Considerar medidas preventivas para el mantenimiento de los equilibrios se presenta económicamente ventajoso frente a los costos de no hacerlo. Estos últimos serán económicos y sociales. De ahí la importancia de considerar un conjunto de instrumentos que mantengan los equilibrios de estos dos grandes elementos ambientales.

En consideración a lo anterior a continuación se revisan las condiciones naturales y argumentos ambientales principales, que dotan de valor especial para la ciudad y su entorno al Bajío como área de transición y asiento de elementos de gran valía para la región. De esta manera concentramos el esfuerzo en lo relativo a tres aspectos principales, como soporte físico, desde la perspectiva del riesgo de inundación, de las condiciones bióticas en el entendido de la vecindad de un área natural protegida con fuerte potencial ecológico y como receptáculo de recarga del acuífero regional cuya alta vulnerabilidad requiere de cuidados especiales.

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio del presente trabajo se muestra en el siguiente mapa (Imagen 1), consta de 1,288.51 has., ubicada en la zona conocida como El Bajío, al poniente de la ciudad de Guadalajara, es una cuenca cerrada que durante largo tiempo ha permanecido un tanto al margen del fragor del crecimiento urbano de la metrópoli.



El polígono presentado, no ciñó el trabajo realizado, la dinámica y consecuencias de la utilización del Bajío obliga a considerar áreas mayores no sólo en términos del trabajo de campo, sino además, respecto al manejo de datos estadísticos e información temática que nos permitieran un adecuado acercamiento a la problemática actual y potencial que se cierne sobre este ámbito espacial

EL SOPORTE FÍSICO-NATURAL

Contexto geológico tectónico regional

La zona de estudio se encuentra localizada en la transición de dos de las más grandes provincias geológicas que constituyen la geología del país; estas son; la Sierra Madre Occidental y La Faja Volcánica Transmexicana, esta relación ha hecho que las interpretaciones estratigráficas y tectónicas de la región de Guadalajara hayan sido difíciles de establecer, de los estudios que se han hecho los más importantes son los de Venegas-Salgado et. al., 1985; Delgado-Granados, 1993; Moore et. al., 1994; Ferrari et. al., 1994; Richter et. al., 1995; Rossoti et. al., 2006 entre otros, los más recientes fueron elaborados por Campos et. al., 1998 y particularmente el de Urrutia et. al. (2002), que han ayudado a definir tres secuencias volcánicas a partir de la magnetoestratigrafía y de los pozos geotérmicos exploratorios de la Comisión Federal de Electricidad. Estas secuencias que forman el basamento de la Sierra Madre Occidental y La Faja Volcánica Transmexicana, tienen un espesor aproximado de 800 m. se forman por ignimbritas basales (R), basalto San Cristóbal (R), Ignimbrita San Gaspar, Flujos basálticos y domos riolíticos. De acuerdo con este estudio la secuencia de la sierra de La Primavera descansa sobre un paquete de andesitas que incluye riolitas.

El Bajío se localiza en la margen noreste de la sierra de La Primavera, misma que corresponde a la parte occidental de la provincia denominada Faja Volcánica Transmexicana; la parte poniente de esta provincia se caracteriza por estar intercalada de eventos asociados con la Sierra Madre Occidental.

Se ha realizado un conjunto de estudios para tratar de entender las condiciones estructurales de la región y particularmente del basamento de La Primavera, entre los más importantes se tienen los de Mahood, 1977; los del Consejo de recursos minerales, 1999 el estudio CFE-JICA 1986, Ortiz et. al., 1998 y recientemente los estudios magnetoestratigráficos de Urrutia et. al 2002 (Imagen 1.1.1).

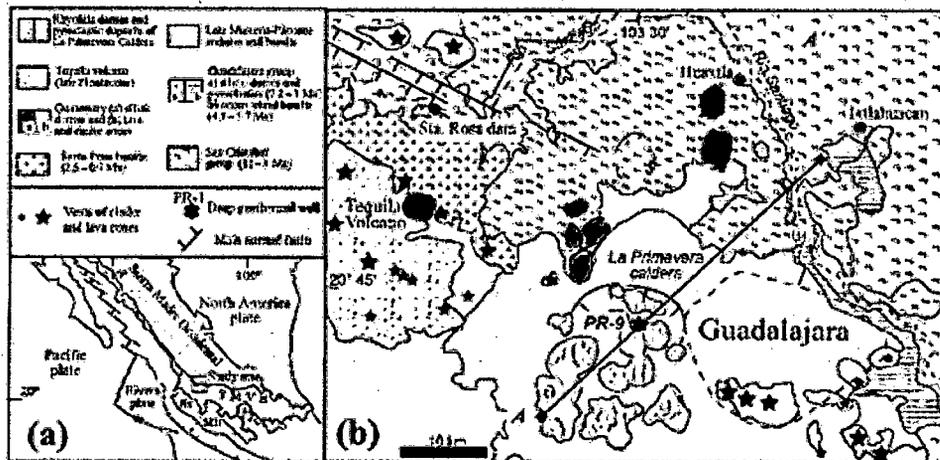


Fig. 1 (a) Location of study area in the intersection of the major tectonic provinces of the Sierra Madre Occidental and the Trans-Mexican Volcanic Belt (TMVB) in western Mexico. (b) Schematic geological map of the study area showing the major volcanic features and volcanic units (e.g., Tequila volcano), caldera craters, volcanic sequences and the tectonic zone of La Primavera caldera in Sierra de Primavera. Sequences marked by an asterisk (*) correspond to units in La Primavera and along the walls of the Rio Grande de Santiago craters (see Figure 2).

Imagen 1.1.1. Transecto que se realizó para hacer el levantamiento magnetoestratigráfico, (tomado de Urrutia et. al 2002).

A partir de este trabajo se han definido las siguientes grandes secuencias de rocas:

- Granito Cretácico corresponde con el del bloque Jalisco.
- Andesita del Eoceno.
- Basalto San Cristóbal (con diferentes valores de polaridad).
- Rocas Cuaternarias Indiferenciadas.
- Grupo Guadalajara.
- Sedimentos de La Primavera.

La evolución tectónica de esta parte de la FVT está relacionada con la interacción y evolución de Bloque Jalisco (BJ), que de acuerdo con los estudios de Ferrari y Elguera (1998) la parte norte del bloque, en donde se localiza la sierra de La Primavera es el resultado de una sobreimposición de un conjunto de eventos tectónicos que fueron reactivados entre la frontera de la SMO y la FVT. El modelo que postulan se relaciona con proceso de separación y que la mayor parte de los rasgos se generaron a partir de un conjunto de eventos que se registraron en diferentes períodos de tiempo.

1.1.1 Patrón de la tensión cortical regional

De acuerdo con los estudios de Ferrari y Elguera (Op. cit), las fronteras que existen a la altura del Santiago y en la zona de Cocula muestra componente de separación en sentido NNE-SSE y N-S (Imagen 1.1.2)

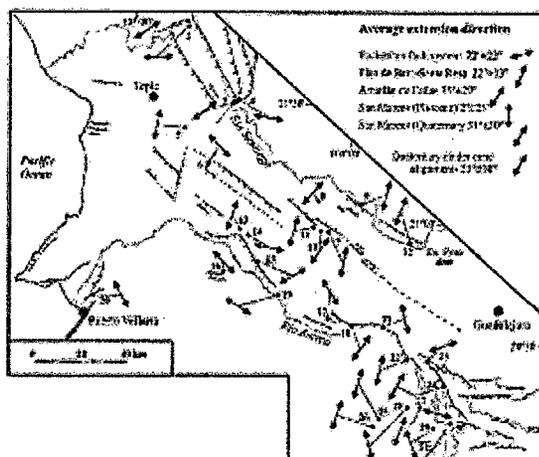


Imagen 1.1.2 Diagrama que muestra el estado de los esfuerzos en las inmediaciones de La Primavera, tomado de Luca Ferrari and José Rosas Elguera (1998).

De los trabajos elaborados por Ferrari y Elguera (Op. cit) se puede documentar los principales sistemas de fracturamiento regional que enmarca La Primavera, estos son:

1.1.2 Identificación de los morfoalineamientos y fallamiento a nivel local

Para trazar el sistema de fracturas y morfoalineamientos en el entorno del predio se procedió a documentar los que se han identificado en estudios anteriores, entre ellos los cartografiados por el trabajo de Impacto Ambiental JVC, del Ordenamiento Ecológico del Municipio, del Atlas de Riesgos y de estudios específicos para el proyecto elaborados por Osorio, así también como de la interpretación a través del tratamiento del MDT, a partir de estas fuentes de información se definieron las siguientes familias de morfoalineamientos y fallas:

- Patrón precaldérico corresponde con el sistema de fallas de Plan de Barrancas, representa el sistema principal que controla varios de los rasgos tectónicos sobresalientes de la zona como El Cañón del Santiago, etc. NO-SE que se observa en la zona de estudio.
- Patrón sin calderico, corresponde principalmente a fallas asociadas al colapso calderico entre las más importantes se tienen las fallas La Gotera y Río Caliente y al sistema de fallas y morfolinamientos que se reconoce sobre el Cerro El Chapulín.

- Patrón poscaldérico que se extiende desde El Bajío hasta el Río Grande de Santiago, sobre esta depresión tectónica se han desarrollado todos los procesos de erosión diferencial, pseudokarstica y erosión remontante que han desmantelado en parte el paquete pumítico superior en el valle de Atemajac, y en donde se ha formado todo un sistema de cárcavas con tendencia preferenciales E-O y SO-NE.

Los primeros estudios en La Primavera los realizó Mahood op. cit., se identificaron tres lineamientos principales (Imagen 1.1.3); el primero corresponde con un fallamiento tipo normal que se dispone al oeste, aproximadamente recorre unos 8 kms. entre el poblado de La Primavera y El Cerro El Pedernal, siendo el desplazamiento mayor que se localiza en las inmediaciones del Río Caliente. El segundo corresponde a una falla que corta los domos emplazados al centro de la caldera y que forman pequeñas depresiones sobre la cima de las mesas del Nejahuete y Cerritos colorados, estos lineamientos forman manifestaciones volcánicas así como pequeños grabens, y el tercer elemento estructural corresponde con el escarpe La Gotera que representa una falla de trazo cóncavo la cual se asocia con el colapso de la caldera.

De acuerdo con el estudio del CRR en Clifton Consultores 2004, el levantamiento aeromagnético refleja contrastes litológicos y estructurales, se identificaron un alto magnético de dirección E-O (El Chapulín-Río Grande del Santiago) de forma paralela al Sistema de Barrancas Colomos (SBC), esto se corrobora en parte con los estudios de CFE-JICA en donde distinguen dos sistemas de lineamientos importantes; SE-NO y el E-O, este último coincide el identificado por CRR que denomino Chapulín-Santiago, probablemente genera un pequeño graben en donde se ha emplazado toda la red hidrográfica que forma las barrancas de Colomos.

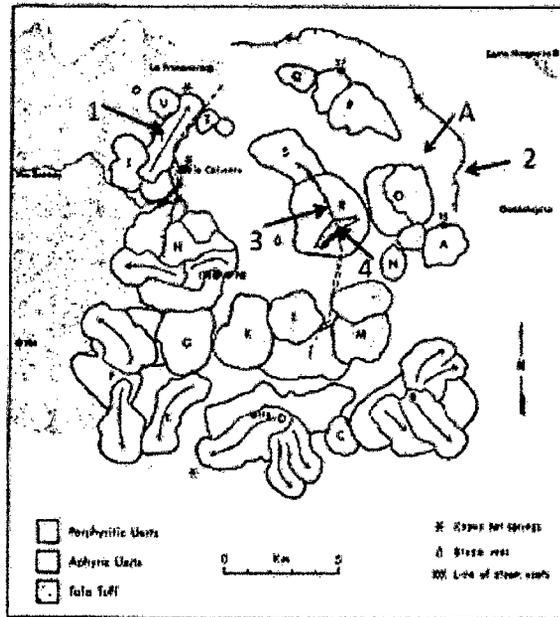


Imagen 1.1.3 Sistema de fallas identificado en los estudios de Mahood op cit:
 Sistema falla anular caldérica Río Caliente.
 Sistema de fallamiento La Gotera.
 Sistema de fallamiento Mesa El Nejahuete.
 Sistema de fallamiento Cerritos Colorados.
 A) El Bajío.

Los estudios realizados por Urrutia et al. 2002 (Imagen 1.1.4) definieron tres sistemas de fallamiento regional; el primero está relacionado con un sistema cortical profundo (clasificado como precaldérico) dispuesto en sentido Noroeste-Sureste, proviene de la zona de Plan de Barrancas, a la altura de Guadalajara generan un graben con los límites en el contacto de la Primavera con los cuerpos basálticos del Tequila y en el este la zona de San Esteban. El segundo sistema de fallamiento se traza en forma de arco cóncavo dispuesto al oeste, se extiende por 9 kilómetros desde el Cerro Alto hasta el Cerro El Tule. En la parte superior del Cerro Alto y Mesa El Nejahuete, se expresa mediante un escarpe de aproximadamente 10 a 15 m. y el tercer sistema está definido por una estructura este-oeste relacionada con el domo El Chapulín-Colomos Río Santiago, las evidencias de este último sistema están indicadas por lineamientos magnéticos y gravimétricos regionales, con profundidades someras que el grupo San Cristóbal, en donde el grupo Guadalajara registra desplazamientos subverticales de hasta 150 m.

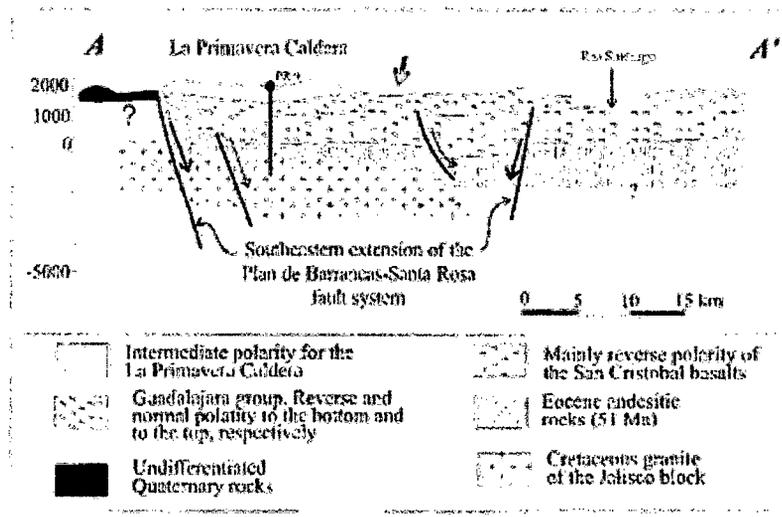


Imagen 1.1.4 Se puede observar en el transecto magnetoestratigráfico elaborado por Urrutia et. al., 2002, que el tren principal (precaldera) corresponde con el sistema Plan de Barrancas-Santa Rosa, existe dos fallas que caen hacia el norte pero que aparentemente no tienen reflejo en superficie, una de ellas está debajo de La Primavera y el otro corresponde a una falla que se encuentra en los sedimentos que se localizan abajo de la ciudad de Guadalajara. Las dos forman una estructura tipo graben parte de valla, específicamente la parte poniente. (Tomado de Urrutia et. al 2002).

El tercer sistema más difícil de entender corresponde con el sistema de falla que se trazan por un escarpe irregular de aproximadamente 13 Km, el cual inicia a la altura del Cerro del Colli y llega hasta La Primavera. Presenta un desnivel de 10 a 20 m sobre material pumicitico de caída y aluviales de acuerdo con Mahood (1977), la falla y la depresión que se forman representa el colapso parcial de la parte alta de la cámara magmática y por lo tanto la falla puede ser de naturaleza antitética. También se considera que la falla es reciente debido a que esta son sedimentos poco consolidados y el escarpe no está retrabajado por los procesos erosivos (Imágenes 1.1.5 a 1.1.10)

Los estudios elaborados para el impacto ambiental y el de Urrutia (2002) coinciden con un patrón postcaldérico y la presencia de lineamiento Oeste-del Chapulín-Colomos-Río Santiago.

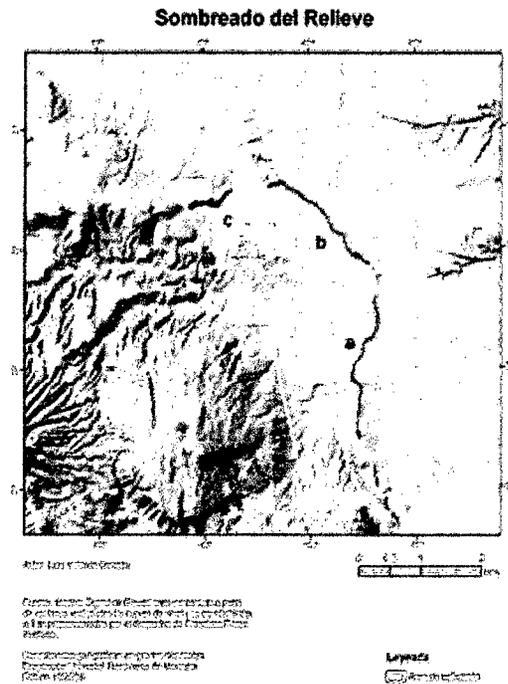


Imagen 1.1.5. Trazo de la falla anular denominada por Mahood (1977) La Gotera. El trazo desde la zona del Colli, va formando un arco con dirección al poniente, se corta y vuelve a aparecer sobre el piedemonte del Cerro de Pinar, para internarse en los sedimentos lacustres. De acuerdo con los estudios de Mahood, op. cit. el escarpe refleja una falla más profunda donde el plano de la falla cae al noreste.



Imagen 1.1.6. Sobre el escarpe de La Gotera se observa una serie de fallas que afectan la secuencia más superficial pumítica.



Imagen 1.1.7 Trazo de la falla anular caldérica reportada en los estudios previos (color negro) y el patrón NE-SO y N-S que se observa en el cerro El Chapulín.

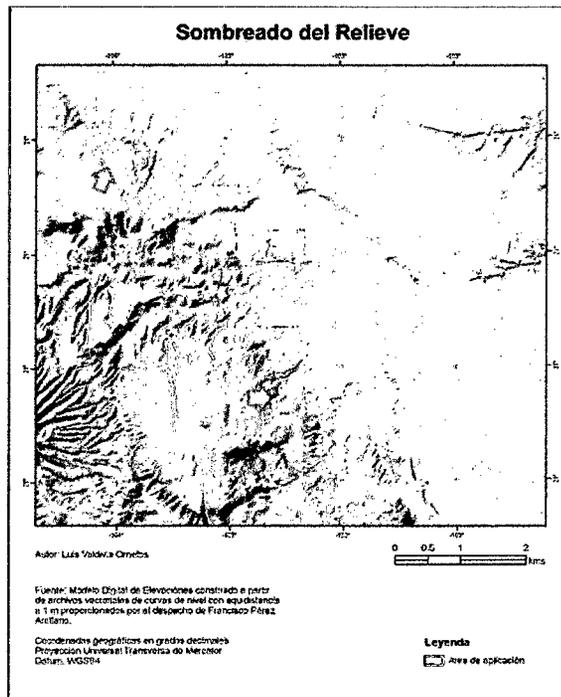
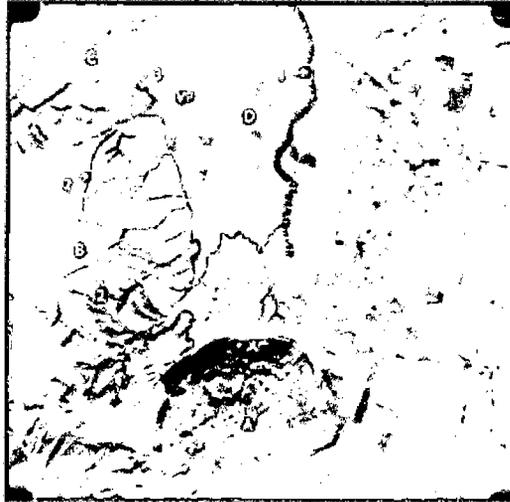


Imagen 1.1.8. Sistema de fallamiento en el Cerro El Chapulín, donde se conjugan orientaciones NNO-SSE y NE-SO. Las flechas en azul indican la dirección de basculamiento de las lavas de los domos riolíticos.



1.1.9. Imagen aérea del INEGI de 1970 en donde se pueden observar los siguientes rasgos geológicos, estructurales y geomorfológicos:

- 1) Escarpe la Gotera (falla anular caldérica).
- 2) Sistema de fallas del cerro El Chapulín.
 - 3) Cuerpo deslizado.
 - A) Domo El Colli.
 - B) Domo El Chapulín.
- C) Desembocadura de Boca de La Arena y La Arena.
- D) Piso de la depresión de El Bajío.
- VP) Villa Panamericana.

De acuerdo con el estudio de Clifton se identificó un hundimiento asociado a la falla anular La Gotera de aproximadamente 20 m. de profundidad por 3 de diámetro (Imagen 1.1.6), lo vincularon a la actividad reciente de la falla³.

Cabe mencionar que en el piso del Bajío hasta ahora no se tiene documentada la presencia de lineamientos que definan un patrón estructural complementario, debido a que ha sido parcialmente rellenado; primeramente por los depósitos volcánicos de caída aérea y posteriormente por arrastre de sedimento aluviales de edad recientes, por lo que las fallas se han enmascarado.

1.1.3 Geología a detalle del Valle de Atemajac

El Bajío está enclavado en una unidad geológica-geomorfológica denominada Cuenca Volcánica de Atemajac⁴, tradicionalmente se ha descrito como "valle" por sus rasgos topográficos, pero corresponde con una cuenca que ha estado funcionando como

³ De acuerdo con los que se observa en la zona el hundimiento pudiera estar relacionado con proceso de *pipin* sobre llanos de debilidad.

⁴ Nombre que recibe una depresión topográfica que acumula materiales de origen volcánico.

receptora de materiales provenientes de las emisiones de las estructuras volcánicas que la rodean como son: el complejo de la caldera, los domos de La Primavera y en menor medida de volcanes como La Higuera, Cerro de La Reyna y domos como El Mexicano. La actividad de La Primavera ha sido la más importante ya que emitió entre los 120,000 años y los 25, 000 años una gran cantidad de flujos piroclásticos, pómez de caída y ceniza, rellenando una topografía de mesas y lomas de ignimbritas y basaltos.

Descripción de la actividad de La Primavera

-Actividad pre-caldérica: inicia con el emplazamiento en la parte norte de los Domos El León y Mesa El Burro (zona del Balneario La Primavera).

-Actividad Caldérica 95,000 años, erupción masiva de una toba denominada Toba Tala⁵, la cual cubre una superficie aproximadamente de 25 Km², emplazada sobre direcciones preferenciales; al sur (San Isidro Mazatepec, poniente, (Tala), y Norte (Valle de Tesistán).

-Actividad poscaldérica la cual se divide en: domos de primera generación se emplazaron sobre el piso de la caldera.

-Domos de segunda generación emplazados sobre el anillo de la caldera.

-Actividad del Anillo Sur, representa una zona independiente, está formada de un conjunto de domos compuestos, como Las Planillas, San Gregorio, El Tajo.

-Etapa de reposo volcánico, erosión y formación de abanicos aluviales y actividad de sedimentación lacustre.

-Emisión de Pómez de caída y flujos piroclásticos de la última etapa de La Primavera (El Colli).

-Etapa de sedimentación (abanicos aluviales) y actividad lacustre.

-Etapa erosiva (fluvial y eólica).

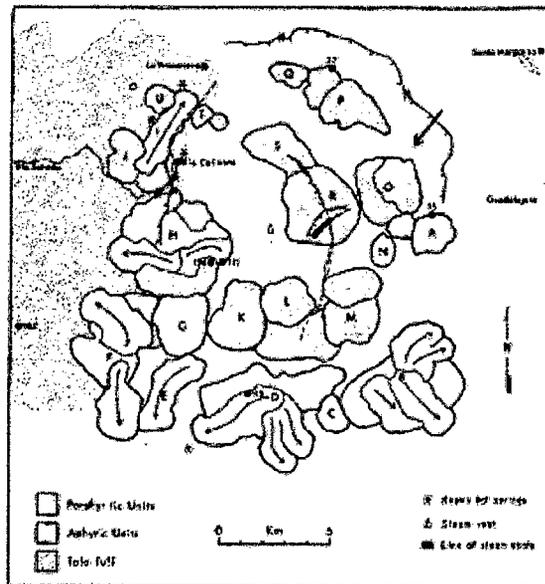
Descripción de la columna pumicítica

La secuencia pumítica superficial que aflora en la zona está relacionada con la actividad El Colli y en menor medida del Tajo⁶, estas unidades se caracterizan por presentarse en depósitos subhorizontales, intercalándose una serie de capas gruesas (1-5 m) y delgadas (desde cm a 1 m), separadas en ocasiones por contactos erosivos y discontinuidades

⁵ Se trata de derrames de ceniza (*Ash Flows*) con variación de facies y en menor medida pómez.

⁶ De acuerdo con Demant 1978, la caracterización de la actividad volcánica de los domos es la siguiente: erupción de lavas riolíticas la cual es precedida por fases explosivas en donde se registra la caída de pómez (*pumice falla*), caída de ceniza (*Ash Falla*) y flujos pumicíticos (*pumicite surges*).

angulares. Estas discontinuidad angulares y los contactos erosivos, manifiestan un espaciamiento de la actividad volcánica entre la formación del domo El Colli y el cese de actividad del Tajo (Imagen 1.1.11), hace aproximadamente unos 25,000 años, ha constituido una etapa de reposo que ha registrado intensos procesos erosivos y acumulativos formando todo un sistema de barrancas en los sedimentos de la caldera, abanicos aluviales en la periferia, así como erosión de tipo eólico, en el valle esta secuencia fluvio-lacustre se ha utilizado como un horizonte para separar las columnas geológicas del Tajo y Colli.



1.1.11 Características de los domos y los flujos en el complejo de la sierra de La Primavera, A Corresponde al Cerro El Colli, O Cerro Gachupín, F. Cerro La Lobera. La flecha indica la zona del proyecto de la Villa Panamericana. Tomado de Mahood 1977. p 181.

Unidades para la secuencia del Tajo:

Por ser un domo compuesto encontramos una secuencia masiva de tobas de caída intercalada con un conjunto de flujos piroclásticos y ceniza, de lo que se deduce que existió una fuerte actividad de carácter pliniano, a continuación describe la columna:

- Capa de pómez de caída.
- Capa de cenizas.
- Capa de pómez de caída.
- Toba pumítica de color gris claro.

-Arena pumicítica.

Unidades para la secuencia del Colli.

La actividad del Colli depositó en la parte poniente del Valle de Atemajac un promedio de 10 m de material volcánico dispuesto subhorizontalmente, se reconoce las siguientes capas (Imagen 1.1.12):

-Pómez⁷ de caída.

-Derrame de ceniza (*ash flows*) de café oscuro por rasgos de erosión eólica (*taffonis*).

-Ceniza de caída finamente estratificada (*Ash Fall*).

-Arenas pumíticas.

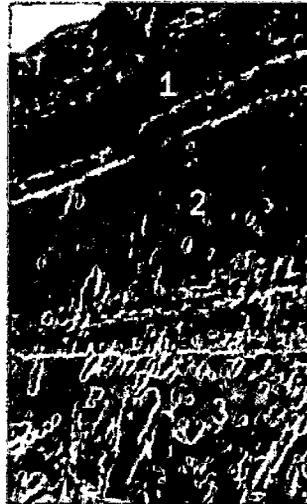


Imagen 1.1.12 donde se observa las secuencias que forman el paquete más superficial de piroclastos:

- *pómez de caída color amarillo.*
- *pómez con ceniza color gris claro.*
- *toba pumítica color gris.*

1.1.4 Descripción de las unidades estratigráficas mayores

⁷ De acuerdo con Demant 1978, se logra reconocer dos tipos de pómez; la primera pómez es de forma irregular con vesículas de gas alargadas y paralelas, constituidas únicamente por vidrio transparente; la segunda corresponde con una forma más redondeada de color blanco en la cual se observa fenocristales y vesículas no alineadas. Se trata de dos tipos de magma que construyeron los domos, se reconoce en ocasiones en un mismo paquete. Para El Colli se puede observar dos tipos de pómez uno de color gris claro con vesículas no alineadas y otra de una pómez con mayor contenido de vidrio. Por cierto esta última es altamente susceptible a intemperizarse y disgregarse en presencia de agua.

Para la conformación de este apartado se recurrió a las siguientes fuentes: SIAPA (2009), Rosas Elguera (1996: 921-924 pp.) y Rossotti (2002: pp. 1-15), Campos et. al., 1998, así como de la interpretación de fotografías aéreas y de los trabajos de Valdivia (*et. al.*, 2004: pp. 1-30), se complementó con una serie de recorridos de campo, a continuación se hace una descripción pormenorizada de las secuencias geológicas identificadas.

Los grupos estratigráficos son: Río Santiago, grupo Guadalajara Inferior, grupo Guadalajara Superior, vulcanismo bimodal emplazado al sur y suroeste de la cuenca de Toluquilla, las rocas máficas del Cinturón Volcánico del Sur de Guadalajara y los productos volcánicos félsicos de la caldera "La Primavera" subdivididos en las siguientes etapas: la primera corresponde con el período que va de los 120,000 a 45,000 años y el segundo de 45,000 años a 25,000 años. Las unidades estratigráficas mayores reconocidas⁸ desde la más antigua hasta la más reciente son (Imagen 1.1.13):

1. Grupo Río Santiago: corresponde con flujos de basalto y andesita basáltica, con intercalaciones menores de tobas soldadas en la base, ceniza y *lapilli* y material pumicitico en la cima.
2. Grupo Guadalajara Inferior: flujos, domos y brechas de composición riolítica e ignimbritas.
3. Grupo Guadalajara Superior: compuesto de ignimbrita, basaltos con intercalaciones de material volcanoclástico y domos riolíticos y material piroclástico, *lapilli* y escoria basáltica.
4. Lavas máficas cubiertas por flujos de riodacita.
5. Conos cineríticos, flujos de lavas, flujos piroclásticos, pómez, diques, brechas y escoria de composición basáltica y andesítica.
6. Toba Tala: Tobas de caída libre, *lapilli* y flujos de ceniza, y pómez de caída.
7. Flujos de lava basáltica.
8. Domos riolíticos y flujos de lava félsica y vidrio volcánico.
9. Paquete pumicítico del Tajo y El Colli con intercalación de horizontes delgados de materiales fluviales, lacustres y en menor media eólicos.
10. Depósitos aluviales y lacustres.

⁸ Tomado del estudio de actualización geohidrológica del Valle de Tesistán, Guadalajara y Toluquilla (SIAPA, 2002).

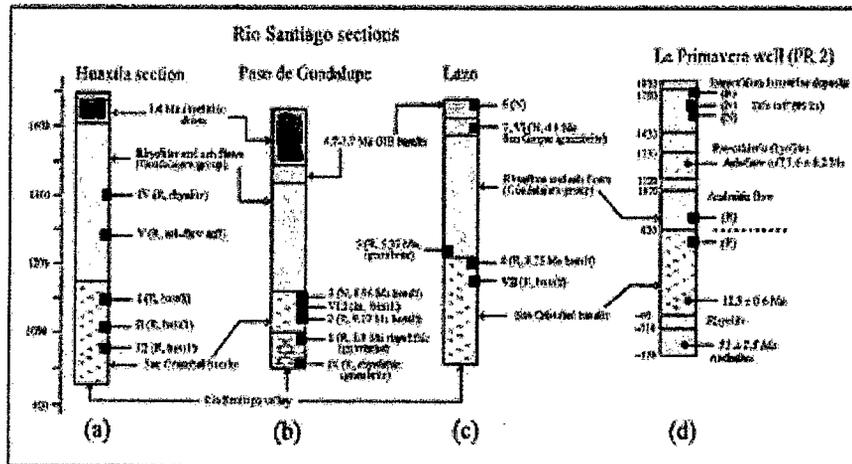


Fig. 1. Summary of the major stratigraphic units for the study with proposed correlations. The vertical correlations are given in meters above sea level. Note the change in scale for the La Primavera well. Correlations are given in terms of stratigraphic polarity for the three sections in the Rio (Sancti) de Santiago (Huaxtla, Pase de Guadalupe and Lerdo) and the La Primavera well. The stratigraphic scale for the La Primavera well is in meters below sea level. The basal radiometric dates for the Tertiary sequence are assigned to a group of (1) the upper part of the area of the Rio (Sancti) de Santiago. Major stratigraphic correlations are indicated by the arrows.

Imagen 1.1.13. Perfiles geológicos sobre el transecto que va de Huaxtla a La Primavera. (Tomado de Urrutia et al., 2002).

Grupo Río Santiago

El grupo Río Santiago de acuerdo con el SIAPA (2002), es la unidad litológica de mayor espesor y extensión (Imagen 1.1.14). Aflora a lo largo del cañón del río Grande de Santiago. Se compone de material volcánico máfico, integrado por coladas de basalto y andesita-basáltica e intercalaciones menores de tobas poco soldadas, en la base y flujos de ceniza, y lapilli en la cima. En este grupo están consideradas las siguientes unidades litológicas: toba San Cristóbal (10.17 Ma), basalto San Cristóbal (11.0 a 8.5 Ma), toba Los Caballos (~ 8.0 Ma) y basalto Arroyo Mezcala (7.5 Ma). Las unidades y edades radiométricas fueron documentadas por Rossotti (et al., 2002:12).

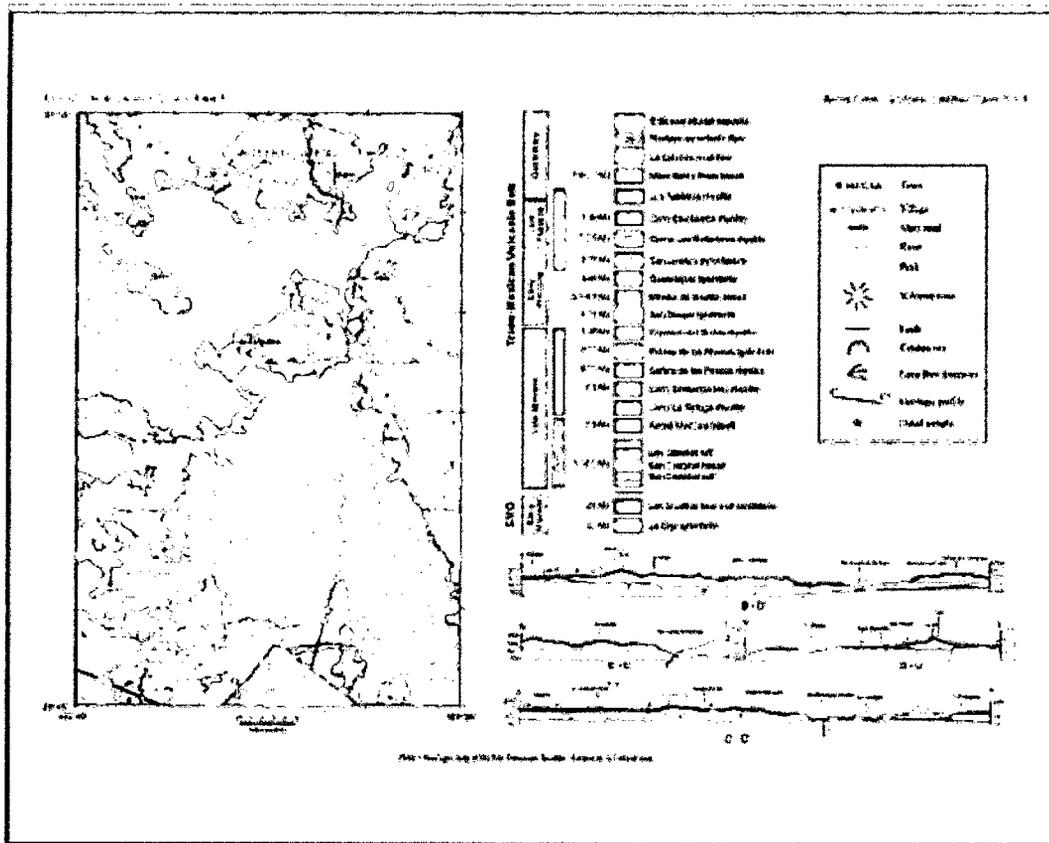


Imagen 1.1.14. Mapa geológico regional de la zona de estudio (tomado de Rossotti et al., (2002).

▫ Guadalajara Inferior

Este nombre se utilizó informalmente en los estudios realizados por el SIAPA en el 2002. Corresponde con una serie de flujos, domos y brechas de composición riolítica y en menor proporción ignimbrítica, que se exponen al norte de la Cuenca Volcánica de Atemajac (Imagen 1.1.14). Tienen un rango de edad de entre los 7 a 5 Ma., sobreyacen en discordancia a las rocas del grupo Río Santiago y se extienden en una superficie mayor a 750 km². Representan un volumen estimado de 212 km³ de magma y están cubiertas localmente y en discordancia por la Ignimbrita San Gaspar (Rossotti et al., 2002).

• Guadalajara Superior

Este nombre se utilizó por primera vez en el estudio realizado por el SIAPA (2002) para establecer una secuencia volcánica de ignimbrita, basalto y domos riolíticos así como material piroclástico y *lapilli*. Esta unidad estratigráfica incluye a la Ignimbrita San Gaspar (4.71 Ma), el basalto alcalino Guadalajara, basalto Mirador de Ixcatán (4.7 a 3.7 Ma), Ignimbrita Guadalajara (3.44-3.23 Ma) y los domos riolíticos del grupo Chicharrón y Jacal de Piedra (3.07–1.39 Ma).

La Ignimbrita San Gaspar fue descrita originalmente por Gilbert *et al.* (1985), quien reportó una edad radiométrica K/Ar de 4.71 Ma. Aflora al norte, noreste y noroeste de la cuenca de Atemajac, sobre el borde de la barranca del Santiago, la sierra de Tesistán y Monticello. Se trata de un horizonte importante, desde el punto de vista estratigráfico. Se presenta soldada, de color gris oscuro con abundantes xenolitos algunos de hasta 20 cm de diámetro, se les conoce como *fiammes*. El centro de emisión de esta ignimbrita corresponde con una de las estructuras caldéricas que se han formado en la sierra de Tesistán. La Ignimbrita Guadalajara también fue originalmente definida y documentada por Gilbert (1985:171) quien la nombró así debido a que fue utilizada en la construcción de edificios públicos, iglesias y viviendas del centro histórico de la ciudad. Esta unidad aflora al norte y noroeste de la ciudad, particularmente en las localidades conocidas como La Experiencia, La Mesita (Sierra de Tesistán), Arroyo Hondo, Río Blanco. Es una ignimbrita fuertemente soldada y desvitrificada de color que va del café claro a gris claro, pasando por el rosa, caracterizada por contener abundantes *fiamme* de dos composiciones distintas. Gilbert (1985:173) fechó los afloramientos de esta unidad en las localidades de Río Blanco y La Experiencia, obteniendo edades radiométricas por el método K/Ar de 3.23 ± 0.08 MA y 3.44 ± 0.1 Ma, respectivamente.

El basalto Guadalajara es un conjunto de derrames de basalto de olivino color gris oscuro a rojizo, con notables megacristales de plagioclasa de hasta 3 cm. de diámetro. Moore (*et al.*, 1994) lo definió por primera vez aunque Gilbert (1985) ya había reportado una edad radiométrica K/Ar de entre 4.7 ± 0.1 y 3.7 ± 0.1 Ma., para esta misma unidad. El basalto Guadalajara cubre en discordancia a la Ignimbrita San Gaspar al norte y oriente de la ciudad y presenta intercalaciones de material volcanoclástico, así también se han identificado en la estratigrafía de los pozos del SIAPA, a una profundidad de entre 50 a 80 m al centro del Valle de Tesistán.

- Conos cineríticos de lavas máficas

Esta unidad está representada por conos cineríticos y forma la Cadena Volcánica Sur de Guadalajara (CVSG). Se compone de conos y flujos de lava, diques, brechas y escoria de composición predominantemente basáltica. Estos materiales están expuestos en una serie de estrato-volcanes que se disponen hacia la margen sur de la Zona Metropolitana de Guadalajara: cerros El Gachupín, Santa María, El Cuatro, El Tapatío, Escondido, San Martín y Papantón de Juanacatlán. Los conos presentan una dirección en sentido NO-SE desde el Río Grande de Santiago (Juanacatlán) hasta el cerro El Gachupín. Esta cadena de volcanes representa la frontera entre la Cuenca Volcánica de Atemajac y la Planicie de Toluquilla.

El nombre de la alineación de volcanes fue asignado por Luhr y Lazaar (1985) como "Southern Guadalajara Volcanic Chain". No existen dataciones radiométricas de estas rocas, pero de acuerdo con Ferrari *et al.* (1999) y con base a observaciones estratigráficas

de campo, se estimó que este evento volcánico podría haber ocurrido durante el Pleistoceno, entre 1.5 a 0.5 Ma.

Grupo Guadalajara

- Toba Tala

El paquete está relacionado con el colapso de la caldera La Primavera. El nombre asignado es por la amplia distribución del material encontrado en las inmediaciones del poblado de Tala. Está formada por materiales piroclásticos poco consolidados a consolidados, y se encuentran distribuidos en una área de ~1,200 km² alrededor de la caldera de La Primavera, por tanto, cubren la mayor parte de las depresiones topográficas y valles circundantes a la sierra. Estos depósitos están compuestos por tobas de caída libre, *lapilli* y flujos de ceniza con abundantes fragmentos de pumicita; y en menor cantidad por vidrio volcánico (obsidiana) y fragmentos y bloques mayores de basalto, andesita y riolita. El material fue emitido durante las violentas e intermitentes actividades explosivas de la caldera La Primavera, hace aproximadamente 95,000 años. El paquete es de color blanco, gris y crema, dispuesto en capas bien estratificadas con algunas evidencias de estratificación cruzada. En algunos puntos la porción media del flujo se ha reportado bien soldada. El espesor de la Toba Tala generalmente es superior a 100 m. en un radio de 3 a 5 km. alrededor del Complejo Volcánico La Primavera, en la zona del Valle de Tesistán se han registrado espesores que van desde los 50 a más de 150 m. al centro del valle.

- Paquete pumicítico El Tajo-El Colli⁹

Este paquete por su importancia en el control de los procesos geomorfológicos actuales y del ciclo hidrológico se le dio especial atención. Esta secuencia que corona toda la columna pumítica corresponde con los eventos volcánicos más recientes en la sierra de La Primavera, están en un rango de 50,000 a 25,000 años, el emplazamiento de los piroclastos modificó drásticamente las condiciones geomorfológicas previas, particularmente se interrumpen los procesos erosivos y se inicia con un nuevo patrón superficial del agua en los valles de Atemajac y Tesistán y Toluquilla.

- Depósitos aluviales

Los depósitos aluviales se han formado durante el proceso de erosión de las estructuras volcánicas circundantes a las cuencas de Atemajac y Toluquilla. Este paquete está formado de depósitos fluviales, residuales, proluviales, gravitatorios y lacustres. Normalmente descansan en discordancia erosiva sobre materiales de la Toba Tala, en

⁹ Nombre con el que se define el paquete pumítico superficial, producto de la actividad más reciente del Domo El Tajo y particularmente la de El Colli, el depósito del material afectó el movimiento del agua superficial y alteró las condiciones geomorfológicas del Valle de Atemajac y Tesistán.

general son de poco espesor, con excepción en la cuenca Toluquilla y la parte central de Valle de Tesistán, en donde alcanzan espesores mayores.

La sedimentación de tipo continental, formada por depósitos aluviales y fluvio-aluviales, está representada por gravas y arenas gruesas formando abanicos aluviales, piedemontes, o depósitos sobre los lechos de los cauces.

Los depósitos lacustres son materiales de baja energía acumulado en depresiones o partes bajas topográficamente zonas lagunares o pantanosas y en pequeñas presas. En estos depósitos los procesos de sedimentación continental han propiciado la acumulación de espesores de limo-arcillas y en proporciones menores, de arena fina.

1.1.5 Origen de la depresión topográfica-hidrográfica denominada El Bajío

De acuerdo con la información que se tiene de la evolución de la sierra La Primavera El Bajío está directamente relacionada con la evolución de la caldera La Primavera, a partir del colapso caldérico datado en los 95,000 años, lo cual generó un desnivel producto de un sistema de fallas anulares, posteriormente a este evento se emplazaron sobre este sistema de fallas anulares con conjunto de domos de diferentes edades (El Chapulín, Pinar de La Venta, El Colli) lo cual generó una depresión acotada por un lado de un escarpe tectónico (La Gotera) y por el otro lado de un conjunto de cerros riolíticos de segunda generación, al sur por el emplazamiento del domo El Colli la depresión se recorrió, lo que disminuyó la extensión previa al Colli (Imagen 1.1.15). Con el emplazamiento del domo de Pinar de La venta se emplazaron un conjunto de flujos piroclásticos que aislaron esta parte del resto de la depresión quedando una cuenca de naturaleza cerrada (endorreica) actualmente recibe el nombre de El Bajío y la otra forma parte de la red hidrográfica del Río de la Venta del Astillero y Las Tortugas.



Imagen 1.1.15. Rasgos geológico-estructurales que delimitan al Bajío: 1) Escarpe La Gotera, 2) Flujo piroclástico del domo Pinar de La Venta; 3) Domo El Chapulín; 4) Domo El Colli. Las líneas en rojo indica las fallas que se observa en la zona de Colomos.

1.1.6 Rasgos regionales del basamento de la zona de estudio (Datos gravimétricos)

La estructura cortical donde está sentada La Primavera y por ende **El Bajío de La Arena**, no corresponde con un graben simétrico con fallas maestras bien definidas, de acuerdo con los estudios que se habían elaborado hasta ahora, sino más bien de acuerdo con Campos *et al.*, 1988¹⁰ es una zona de transición compleja.

De acuerdo con el trabajo de Campos *op cit.* 1998, la frontera entre estas grades provincias están relacionadas con la disposición de los volcanes que forma el llamado Cinturón Volcánico del Sur de Guadalajara (CVSG). El cambio ocurre en las inmediaciones de la caldera de La Primavera, se infiere un sistema de fallamiento en sentido NNO-SSE el cual cruza toda la estructura, la que proviene desde el Complejo de Tequila, pasa por la caldera y que continua al sureste hasta la zona de Juanacatlan, controla el vulcanismo andesítico basáltico que ha formado el conjunto de conos monogenéticos del sur de Guadalajara por lo que representa una zona de transición del basamento.

De acuerdo con los estudios de Ortiz, los valores residuales de la anomalía en la Primavera es una área compleja se marca una anomalía de gravedad baja la cual se asocia con La Primavera.

El perfil que se elaboró cruza todo el Valle de Atemajac y de acuerdo con el modelo de gravedad aplicado por Orozco *et al.*, el basamento granítico se encuentra aproximadamente a los 2,000 m, identificándose una depresión al centro del valle (Imagen 1.1.16). Las secuencias que cubren el basamento corresponden con basaltos andesítico y riolitas. Se observa unos pequeños cuerpos de basalto en la superficie al final de transecto del perfil corresponde al basalto Santa Rosa.

¹⁰ J-O Campos Enriquez and Alatorre-Zamora. 1998. *Shallow cristal of the junction of the grabens of Chapala, Tepic-Zacoalco and Colima Mexico*. Geofísica Internacional, Vol. 37, núm. 4. Pp. 263-282.

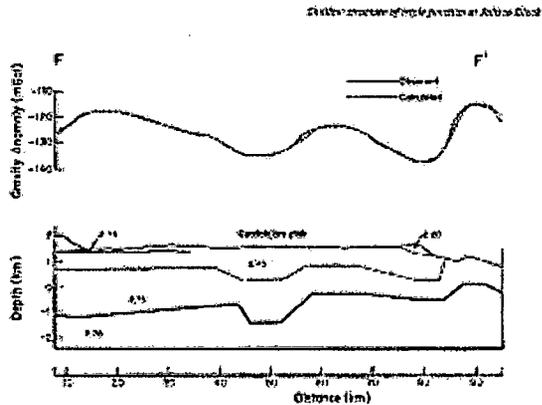


Imagen 1.1.16 Perfil elaborado en los estudios de Ortiz et. al., 1998, donde se muestran los rasgos de las secuencias de los paquetes que forman la columna estratigráfica en la zona de La Primavera-Valle de Guadalajara, uno de los datos más significativos es la presencia de un graben al centro del valle, a la altura del antiguo cauce del Río San Juan de Dios.

De acuerdo con este estudio se elaboraron una serie de perfiles los cuales permite hacer una estimación de las características del basamento. El perfil tiene una profundidad de 55 km, el basamento de la secuencia de tipo granítico, aflorando por sí sola la primera representa una capa de secuencia ignimbrítica probablemente corresponde con las ya documentadas por Gilbert; que son la Guadalajara, San Gaspar el paquete de pumicitas de la Colli (Imagen 1.1.17)

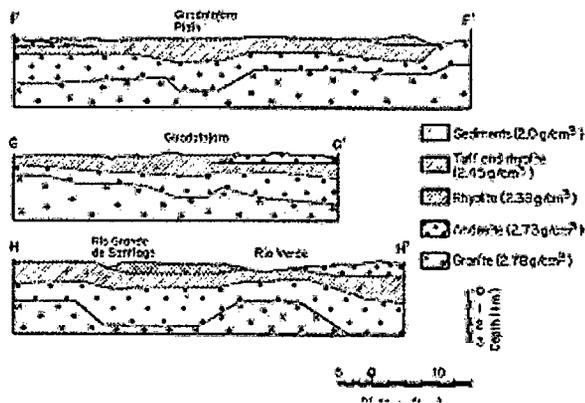


Imagen 1.1.17 El perfil estratigráfico interpretado a partir de los datos gravimétricos obtenidos por Campos, se puede observar las siguientes secuencias: el paquete más profundo corresponde con el granito, le continúa la andesita, y es cubierta por tobas y riolitas la parte más reciente corresponde con sedimentos de diversa naturaleza. Tomado de Campos et. al., 1998.

1.1.7 Geología superficial de El Bajío.

De acuerdo con la información generada por Mahood *op. cit.*, y del estudio elaborado para el impacto ambiental de JVC¹¹ complementado con recorridos de campo, la zona se localiza sobre materiales pumicíticos poco consolidados cercano al cuerpo riolítico del Cerro El Chapulín; forma el anillo denominado de segunda generación.

El estudio de campo permitió definir las siguientes secuencias

- *Capa de material pumítico de caída intercalado de secuencia fluviales* (lentes de arenas y limos). Esta secuencia se observa sobre el escarpe de La Gotera (Imagen 1.1.18) a manera de láminas delgadas intercaladas de ceniza con fragmentos de pómez de color gris claro, en la base se observa un contacto formado de material más grueso de ceniza color gris oscuro, le continua un paquete de aproximadamente 4 m. de pumicitas, observándose en su estructura una especie de lente compuestos de gravas formadas de lavas andesítica y basálticas de color oscuro café a negro (Imagen 1.1.19 y 1.1.20).

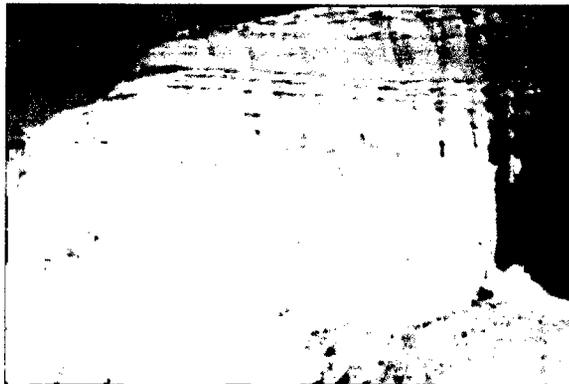


Imagen 1.1.18 Secuencia geológica que aflora sobre el escarpe de La Gotera. Se observa las siguientes secuencias: pómez de caída (pumice falla), ceniza (Ash Falla) y flujos pumicíticos (pumicite surges).

- *Riolitas del cerro El Chapulín*, corresponde a un conjunto de flujos de materiales volcánicos altamente viscosos y fracturados lo que ha ocasionado la presencia de una gran diversidad de bloques que forman la superficie del cuerpo volcánico. Las lavas están basculadas al noreste, presentando una pendiente relativamente suave.

¹¹ Manifestación de Impacto en la Modalidad Específica, Centro Cultural, Convenciones Jorge Vergara Cabrera "Centro JVC".

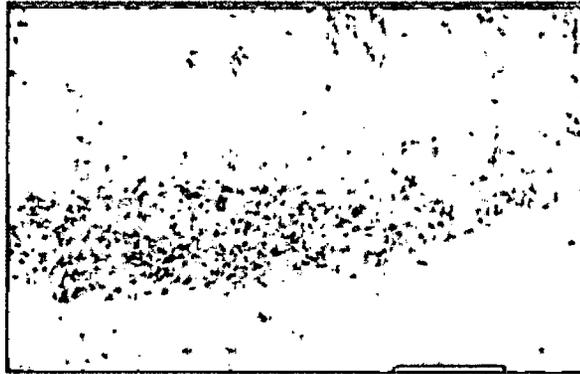


Imagen 1.1.19 Lente de gravas inmerso en una secuencia pumítica gris claro, aflora sobre el escarpe La Gotera.

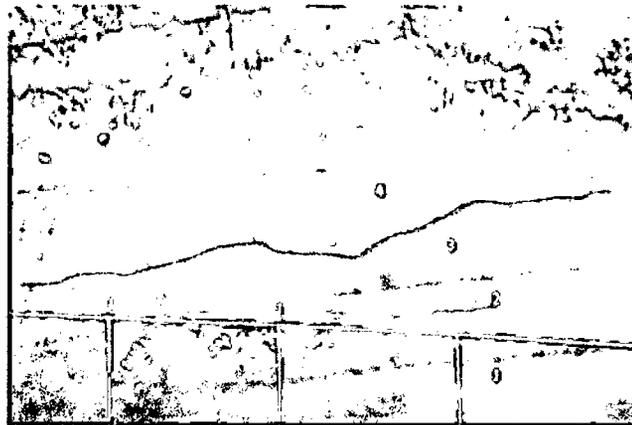


Imagen 1.1.20 Secuencia que se identifica sobre el escarpe la Gotera es la siguiente: 1) Paquete de pómez intercalado con ceniza; 2) Paquete de ceniza color claro; 3) Paquete de pómez de caída, 4) La línea en negro corresponde con un contacto erosivo; 4) laminas delgadas originadas por eventos explosivos de alta energía corresponde con surges.

- Piedemonte está formado de un conjunto de cuerpos, en la zona del Cerro El Chapulín tenemos material pumítico parcialmente retransportado con alguna láminas de arenas gruesas arrastradas por flujos intermitentes, así también se observa una *loma de materiales de deslizamiento*, corresponde con un cuerpo deslizado que se emplazó al pie de la ladera del cerro y que provino de la parte alta de la cabecera de la principal cuenca que drena a la zona de estudio (Imagen 1.1.21).



Imagen 1.1.21 Laderas riolítica del cerro El Chapulín.

El material deslizado forma un cuerpo a manera de un lóbulo poco erosionado, compuesto de materiales piroclásticos retransportado cubiertos parcialmente por la erupción más reciente del domo El Colli, (probablemente el deslizamiento es pre-Colli). Y en la zona de contacto entre la ladera del cerro y el valle fluvial de los A La Arena y Boca de la arena probablemente tenemos material lacustre, y una serie de terrazas fluviales elaboradas sobre sedimentos aluviales (1.1.22 a 1.1.26).

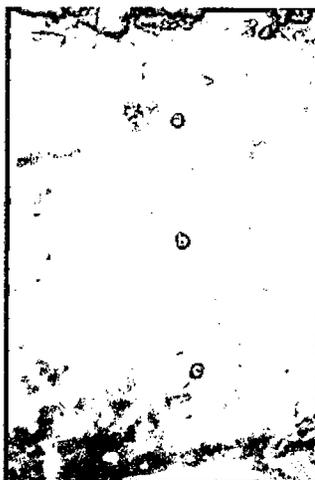


Imagen 1.1.22 Secuencia geológica que aflora sobre el cuerpo deslizado cerca del El Chapulín.



Imagen 1.1.24 Corte sobre abanico aluvial, donde se observan alternancia de láminas delgadas de arenas pumicíticas, tobas, flujos caóticos, y conglomerados aluviales cubiertos por pómez parcialmente retrabajadas proveniente de la última actividad volcánica del Colli.



Imagen 1.1.25 Secuencia lacustre (a) cubierta por una fina capa de material depositado en ambiente subacuático y una capa de pumicitas.



Imagen 1.1.26 Arcillas que forman parte de la secuencia de sedimentos lacustres que aflora en las márgenes del cauce del Arroyo La Arena y Boca de La Arena. La zona de contacto entre esta unidad y las arenas y pómez se registra un afloramiento importante de agua hipodérmica.

1.1.7.1 Comportamiento de los espesores de las secuencia sobre el perfil del piso de la depresión.

De acuerdo con los estudios que se han hecho para los proyectos del estadio y de la Villa Panamericana, se tienen las siguientes secuencias geológicas. Cabe aclarar que no son homogéneo los paquetes geológicos debido a la actividad volcánica que se registró tanto en el extremo norte como en el sur, así como de proceso de sedimentación fluvial.

Los sondeos hechos por la empresa SandStorm para el nodo del Bajío, identifica espesores que van de 28 m. a aproximadamente 200 m. en las inmediaciones de la laderas del cerro El Chapulín (Imagen 1.1.27). El paquete tiende a acunarse cercano a la ladera del cerro, por lo que el paquete de pómez se adelgaza en sentido norte-sur, esto debido a una condiciones del relleno (paleotopografía), en este punto no se identificó en los sondeos hechos por la empresa la falla anular caldérica que se reportan en algunos trabajos geológico de Urrutia *op. cit.*, por ello no se puede inferir si el espesor del paquete pumítico registra cambios significativos en función de la geometría de basamento.

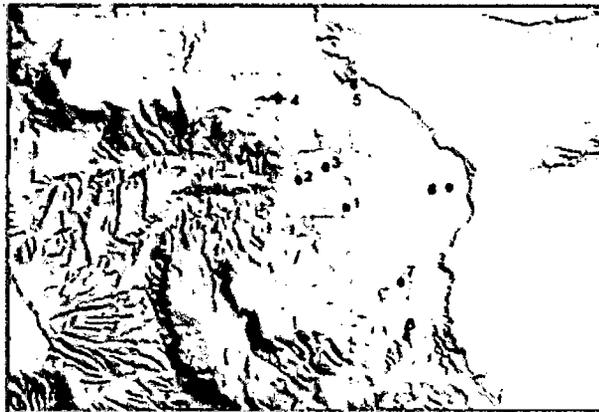


Imagen 1.1.27 Puntos en donde se obtuvo información del subsuelo, aproximadamente a una profundidad de entre 5 a 15 m. del nivel del suelo.

Para el análisis se definieron perfiles en sentido O-E; perfil A y N.-S; perfil B (Imagen 1.1.28). En el perfil A se observan cambios tanto verticales como horizontales, esto relacionado con el tipo de proceso de sedimentación cuaternaria, la geometría de los cuerpos están vinculados con abanicos aluviales que forma lentes con estratificaciones lenticulares cruzadas. De acuerdo con la información que se pudo registrar a partir de los

cortes que existen producto de los bancos de material, se tiene espesores de más de 12 m. de este tipo de sedimentos, por otro lado, los cambios laterales se asocian con la tamización de los sedimentos, los mayores tamaños (gravas gruesas) los tenemos en la parte media, y aproximadamente a 5 m (pozo 2) se encontraron sedimentos lacustres poco permeables y que, debido al basculamiento y la presencia de la falla caldérica así como de las dimensiones que alcanzó el paleolago, no se puede estimar su extensión y profundidad dentro del piso de la depresión, que por cierto es un dato importante para entender los procesos de infiltración y los rasgos geohidrológicos del acuífero. En la parte distan (pozo 6) se registran limos y arcillas, así como arenas finas, con espesores aproximadamente 15 m.

En el perfil B, se encontró las siguientes secuencias: en el pozo 8 se observa un paquete de material fluvial intercalado de láminas finas, de arenas pumíticas y flujos hiperconcentrados compuesto de grandes cantos rodados en una matriz fina de arcilla en estratificación cruzada, estos están cubierto por los flujos recientes del Colli todo el paquete tiene por lo menos un espesor de 30 m. hacia el pozo 3, se observan paquetes potentes de sedimentos aluviales, en el sector donde está el corte 5, podemos observar que un paquete de aproximadamente 30 m. corresponde probablemente a pómez de caída con algunas intercalaciones de arenas fina y ceniza poco compacta.



Imagen 1.1.28 Puntos en donde se pudo observar la secuencia más superficial del piso de la depresión.

1.1.8 Regionalización geomorfológica

Desde un punto de vista geomorfológico la zona de estudio está enclavada en la región definida por Valdivia y Castillo¹² como de Fosas Tectónicas y Vulcanismo Reciente. Esta es una amplia subprovincia que cubre el centro y sur del Estado. La actividad volcánica

¹² Valdivia Ornelas, Luis y Ma. del Rocio Castillo Aja, Las regiones geomorfológicas del estado de Jalisco. Cuadernos de Geografía, *Geocalli*, año 2, Núm. 3.

cuaternaria ha alterado sensiblemente las condiciones del flujo superficial y subterráneo del agua generando nuevos e intensos procesos erosivos. Dentro de la región mencionada se pueden identificar Valles y Sierras Jóvenes; los valles están constituidos principalmente de rocas sedimentarias, fluviales y lacustre intercaladas con capas de materiales piroclásticos de caída y flujos de cenizas y pómez (Imagen 1.1.30).

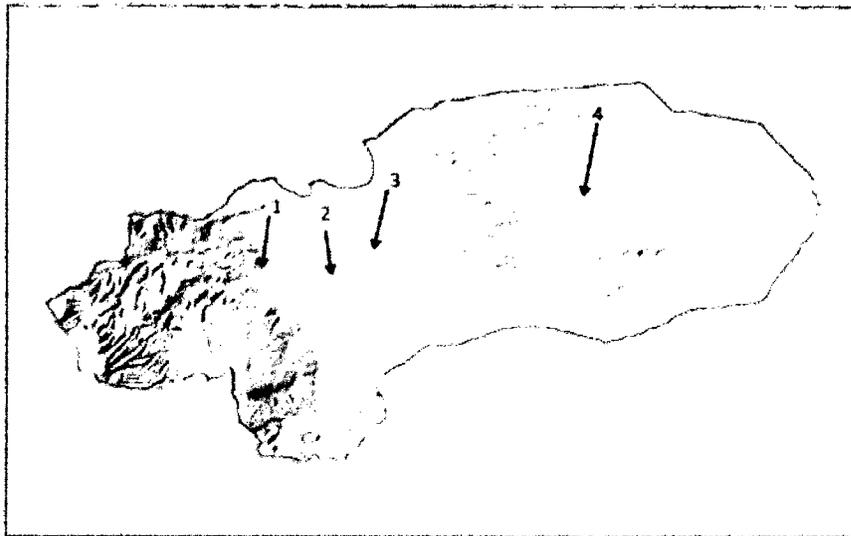


Imagen 1.1.30 Modelo Digital de la zona El Bajío-Colomos y sus unidades principales:

1) Desembocadura de los escurrimientos Boca de La Arena y La Arena.

2) El Bajío.

3) Escarpe La Gotera.

4) Sistema de Barrancas Colomos (SBC).

1.1.8.1 Descripción de las geoformas del Bajío (Imágenes 1.1.31 a 1.1.35)

- *Domo riolítico El Chapulín*, constituye el límite poniente del Bajío, forma parte de los domos periféricos de la segunda generación que conforman los anillos interiores, estos se emplaza entre los 95,000 a los 75,000 años después de la principal erupción de La Primavera.
- *Escarpe La Gotera*, representa un desnivel pasivo producto del desnivel que se generó debido al colapso caldérico, el trazo de esta falla, tiene forma anular con respecto al centro de la sierra. En algunos puntos se observa un proceso de retroceso por la actividad erosiva, y en otros se puede observar el escarpe más joven.

- *Piso de la depresión*, corresponde aparentemente con una zona llana, pero observando detenidamente la morfotopografía se puede observar condiciones distintas entre la parte norte, centro y sur. Se observan una serie de irregularidades, las cuales son determinantes para definir el patrón de retención-acumulación del agua superficial y por lo tanto la zonificación de las áreas de mayor infiltración que se presenta en la depresión; cabe mencionar que no toda el agua que se infiltra se acumulaba al final en una zona cercana al cruce de periférico con avenida Vallarta.



Imagen 1.1.31 Imagen aérea del INEGI de 1970 en donde se puede observar los siguientes rasgos geológico-geomorfológicos previos al proceso de urbanización y actividades extractivas:

- *Escarpe La Gotera*
- *Sistema de fallas de El Chapulín*
 - *Cuerpo deslizado.*
 - *Domo El Colli.*
 - *Domo El Chapulín.*
- *Arroyos Boca de La Arena.*
- *Depresión El Bajío.*

Las inversiones térmicas

La dinámica de vientos en el Bajío adquiere singularidades que necesariamente deben ser consideradas en la determinación de sus posibilidades de apropiación para poblamiento o desarrollo de actividades en su interior.

Los datos de la estación meteorológica (2002-2003) propiedad de JVC, si bien son insuficientes para realizar consideraciones climáticas, sirven para apoyar las

observaciones empíricas y el conocimiento de la dinámica atmosférica del enclave de Guadalajara, el cual comparte con el Bajío algunas similitudes.

El análisis de la temperatura, humedad, dirección y velocidad del viento muestran patrones de comportamiento ya observados en el trabajo de campo realizado para los muestreos de fauna y vegetación durante 2009 y 2010.

Los registros detectan la presencia de brisas de montaña cuyo mayor importancia ocurre hacia el final de las tardes y las primeras horas de la noche, puede alcanzar velocidades máximas de 40 a 50 km/hr, son arrachadas y presentan calmas hacia las primeras horas del alba, coinciden así con las temperaturas mínimas extremas. La mejor evidencia de la conjunción de bajas temperaturas y escaso movimiento o viento¹³ es la presencia de estancamiento con neblinas densas y persistentes como resultado de fenómenos de inversión, estos acontecimientos ocurren con preferencia entre noviembre y febrero, ocasionalmente se extienden a días de marzo.

1.1.8.2 Meso y Micromorfología del Bajío

Debido a la evolución geológico geomorfológica de la sierra así como las características geológicas del piso de la depresión, se han generado un conjunto de puntos de infiltración de diversas dimensiones y en distintos sitios dentro de la depresión, las cuales tienen funciones específicas dentro del ciclo del agua, así forman un vínculo hidrográfico-hidrológico entre La Primavera y El Valle de Atemajac.

Las zonas de infiltración han evolucionando desde el punto de vista natural, en los últimos 35 años los cambios se relacionan directamente con las actividades humanas tanto de extracción como urbanización. Se ha dado una reconfiguración del patrón de infiltración, formándose un nuevo patrón de comportamiento del macroflujo y microflujo así como de los elementos de retención, esto se observa específicamente en la parte sur y centro del Bajío entre El Colli y la desembocadura de los arroyos Boca de la Arena y La Arena.

El sector sur caracterizado por lomas y zonas bajas con una pendiente general al norte; el sector central se caracteriza por una morfología llana con pocos desniveles y una pendiente general al este; y la parte norte con una morfología casi completamente llana menos de 5% con pendiente hacia el noreste.

Los principales rasgos micromorfológicos de la zona son (Imagen 1.1.37):

- A nivel del piso de la depresión existe un nivel de base general vinculada con los cauces principales de Boca de La Arena y La Arena.

¹³ notas

- Un conjunto de microdepresiones dispersas distribuidas en función de la presencia de redes hidrográficas.
- Laderas de riolitas altamente fracturadas con fuertes valores de pendiente y alta rugosidad asociado a las condiciones geológicas de las rocas (lavas altamente viscosas) en donde se marcan direcciones de flujo y cordones de presión.
- Laderas de materiales deslizados compuestos por pómez cenizas y materiales piroclásticos, los valores de pendiente tienden a ser sensiblemente menores.
- Laderas formadas por flujos de material pumítico proveniente del Colli.
- Secuencia de sedimentos lacustres.

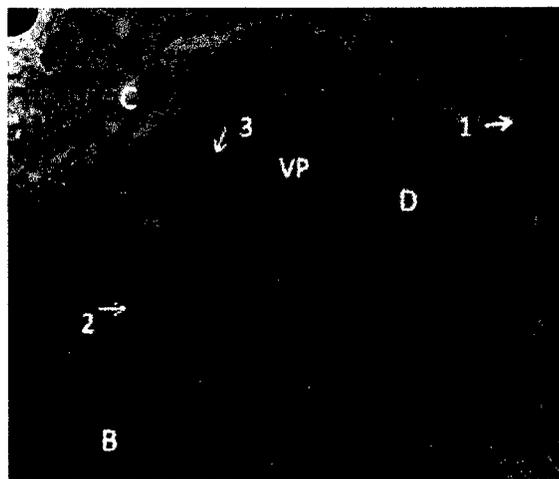


Imagen 1.1.37. Rasgos morfológicos del entorno de la zona de estudio en la década de los años de 1970.

Escarpe La Gotera.

Sistema de fallas del cerro El Chapulín.

Cuerpo deslizado.

B Cerro El Chapulín.

C Boca de La Arena.

D Depresión El Bajío.

Hidrografía

1.2.1. Identificación del patrón superficial del agua 1970

Mediante la interpretación de la fotografía aérea del año de 1970 (Imagen 1.2.1) se puede hacer las siguientes consideraciones en torno al comportamiento del agua superficial en la zona de estudio:

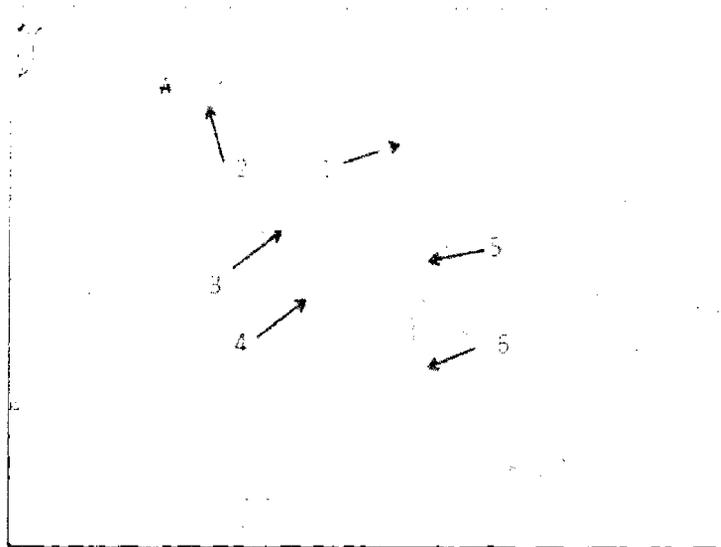


Imagen 1.2.1. Patrón superficial previo al proceso de urbanización:

- 1) *En el cauce amplio se registraba una alta tasa de infiltración; 2) El patrón final era de carácter distributivo; 3) Cauce sinuoso disminuye la velocidad aumentando lo infiltrado a todo lo largo de su trayectoria; 4) Cauce sinuoso favoreciendo la infiltración.*
- 2)

El patrón estaba determinado por un conjunto de micro y meso depresiones a distintas alturas (niveles), los cauces al llegar al piso de la depresión presentaban un **patrón sinuoso y una sedimentación de tipo distributivo**.

Cada sistema hidrográfico tenía su propio nivel de depósito (nivel de base) formando pequeñas depresiones asociadas con el patrón de infiltración. El nivel principal lo forman los cauces principales formados por el arroyo La Arena y Boca de La Arena así como del agua que se precipitaba en la propia depresión. (Imagen 1.2.2)

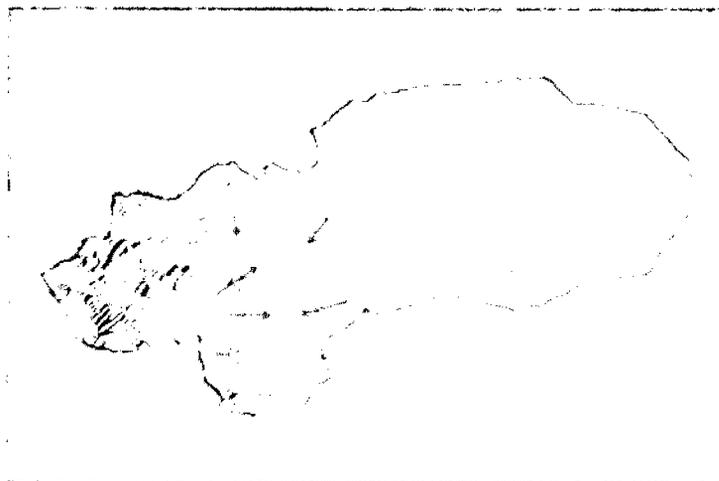


Imagen 1.2.2. Un mapa donde se observan los múltiples niveles de infiltración que existían. 1) Infiltración principal; 2) infiltración a nivel de los escurrimientos Boca de la Arena, La Arena y algunos puntos al pie del cerro El Chapulín. Así como al pie de las lomas en el sur.

La parte norte del Bajío desde la Universidad Cuauhtémoc a Pinar de La Venta, la morfología del piso de la depresión es muy llana con mínimos desniveles, registra una inclinación general al noreste, no se observó ningún escurrimiento en la imagen de los años de 1970. Se observan dos cauces importantes que bajaban de la ladera de los cerros al este, pero rápidamente se infiltra el agua, no hay un impacto significativo debido a los cambios de uso del suelo, aunque existen construcciones. Por estas características es una zona de alta infiltración de agua a los niveles geohidrológicos más someros.

1.2.2 Identificación del patrón del agua durante la actividad de los bancos de material 1970 -1990

La actividad extractiva en los años de 1970 al 1990 afectó el patrón de distribución de las zonas de infiltración generando un conjunto de oquedades, particularmente en el abanico aluvial que se formó además de los depósitos de las arenas fluviales que provienen de la Boca de La Arena y La Arena, así como de los flujos de pómez de el Colli en el sector sur.

1.2.3 Hidrografía actual

De acuerdo con el estudio de Impacto Ambiental del JVC (página 100) se encuentra localizado regionalmente en la unidad Rh 12 denominada Lerma-Santiago, en la cuenca E conocida como Río Santiago-Guadalajara, comprende parte de la subcuenca C. Esta cuenca de acuerdo con el estudio presenta una geología muy compleja, relacionada con la evolución de la sierra La Primavera (cfr. capítulo geológico). EL Bajío es una cuenca cerrada pero dentro de esta cuenca se identifican un conjunto de microcuencas con sus propios niveles de base individual.

Se reconocieron los siguientes conjuntos de microcuencas (Imagen 1.2.4):

- Microcuencas Boca de La Arena y La Arena.
- Microcuenca Cerro El Chapulín.

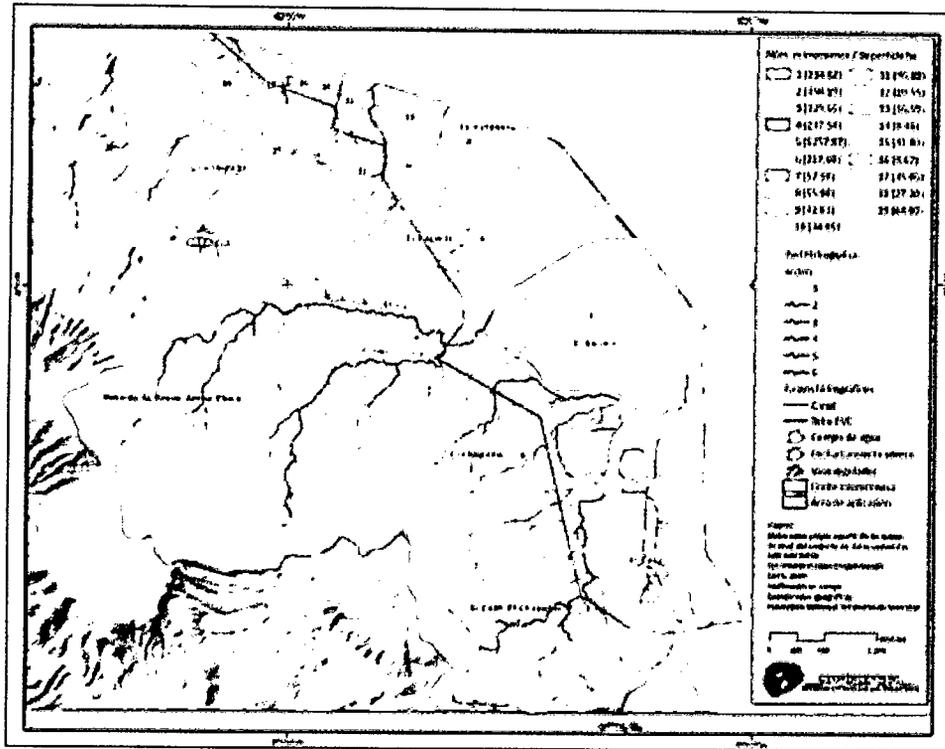


Imagen 1.2.4. Microcuencas identificadas en la zona:
 Microcuenca El Colli.
 Microcuenca El Colli 2.
 Microcuenca El Chapulín.
 Microcuenca El Chapulín I.
 Microcuenca El Chapulín II.
 Microcuencas Boca de La Arena y La Arena.
 Microcuenca Pinar de La Venta.
 Microcuencas Rancho Contento.

1.2.4 Identificación del patrón actual hidrográfico

El patrón de infiltración actual está determinado por rasgos naturales que todavía prevalecen, de rasgos heredados de la actividad extractiva y de las urbanizaciones más recientes. Utilizando la imagen Google Earth, el MDT, así como los recorridos de campo se pudo reconstruir las zonas actuales de retención, detención acumulación/infiltración y canalización.

- 1) Zona que funcionó como una de las más importantes área de infiltración, actualmente registra un incrementando en los volúmenes debido a la urbanización en la parte sur. Se ha ampliado y profundizado la depresión.

- 2) Zona de acumulación representa un nivel de regulación más importante en el sur, acumula agua del 80% de la superficie. Se localiza a un costado del estadio.
- 3) Recientemente todavía funcionaba de manera natural, actualmente ha sido modificados por la construcción de la Villa Panamericana.
- 4) Nivel actual de acumulación del agua proveniente de los arroyos Boca de La Arena y La Arena.
- 5) Zona general de infiltración sin áreas definidas.

Las principales diferencias entre las antiguas y actuales zonas de infiltración se aprecian en la imagen sombreado del relieve (Imagen 1.2.6)

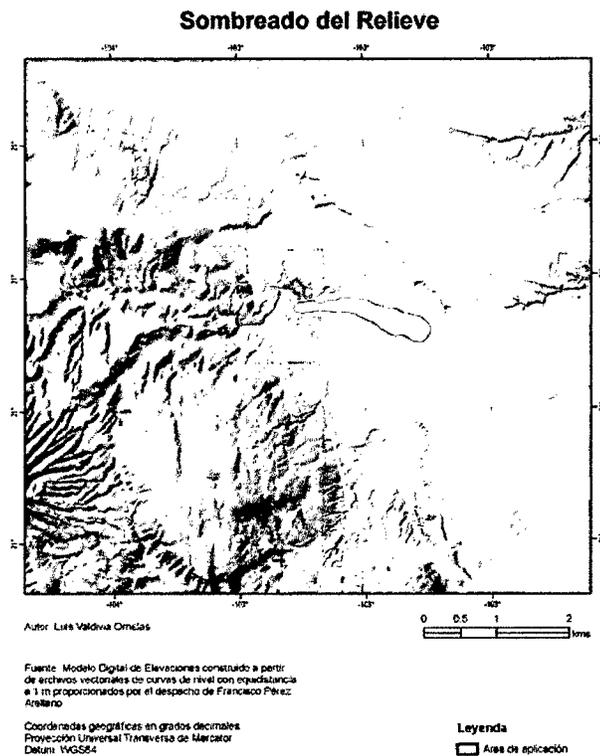


Imagen 1.2.6. En color claro la antigua zona de de infiltración y en azul la actual zona de infiltración.

1.2.5 La función del bajo dentro del ciclo del agua de La Primavera-Colomos

La función dentro del ciclo del agua de El Bajío está determinada por las siguientes condiciones: su localización periférica con respecto a la Sierra de La Primavera; ser una zona baja y llana, ser el nivel de base de un conjunto de escurrimientos como Boca de La Arena y La Arena y un subsuelo con altos valores de percolación vertical y permeabilidad lateral, originada por una capa más superficial compuesta de pómez poco consolidada.

La aproximación geohidrológica

1.3.1 Factores que condicionan la presencia y el movimiento del agua subterránea en el Bajío

1.3.1.1 Recarga por precipitaciones

El agua subterránea posee como origen principal la recarga de zonas saturadas de sedimentos, rocas fracturadas o karst con agua meteórica (agua de lluvia), que se ha ido infiltrando a través de los suelos y en el subsuelo desde tiempos remotos. Puede decirse que "las zonas lluviosas constituyen, en mayor o menor grado, zonas de alimentación del agua subterránea..." (Rascón and Román 2005), aunque en áreas semiáridas la recarga acumulativa por largos períodos de tiempo puede representar el único proceso de formación de cuerpos de agua subterránea aprovechables. Es así que el agua subterránea localizada en las rocas y sedimentos de la depresión geológica conocida como El Bajío del Arenal (El Bajío) proviene de la precipitación directa, del aporte de agua de los escurrimientos superficiales que drenan desde el Área de Protección de Flora y Fauna (APFF) -Bosque de La Primavera¹⁴-, del aporte subterráneo desde sistemas de fracturas de los domos de La Primavera (recargados a su vez por las precipitaciones) y en menor medida, del aporte hidrotermal de la caldera de La Primavera. Esta parte subterránea del ciclo hidrológico regional se registra en la parte alta del territorio que pertenece a la subcuenca hidrológica Atemajac en la que se encuentra El Bajío.

En esta región se registra una precipitación media anual que varía entre los 900mm y 1000mm (Menaut, Pérez et al. 2007), en la época de lluvias se cuenta con una media de 962.2mm y en la época de estiaje se presenta una media de 69.4mm (GEOEX-SIAPA 2003). En la microcuenca cerrada de El Bajío, gran parte del agua de las precipitaciones se infiltra hasta generar recarga efectiva de zonas saturadas bajo presión atmosférica y semiconfinamiento. Otro volumen del agua precipitada en la zona se evapotranspira y gran parte termina drenando por superficie hasta depresiones artificiales, desde donde actualmente se infiltra pobremente o se induce su evaporación.

1.3.1.2 Morfología del terreno y recarga

¹⁴ *Bosque de la Primavera*: Área Natural Protegida (ANP) con una extensión de 36,000 has declarada por decreto en el Diario Oficial de la Federación del 6 de marzo de 1980. A partir de 1995 su administración pasó al Gobierno del Estado de Jalisco. Dirección Ejecutiva del Bosque La Primavera (2009). Bosque de La primavera. Zapopan, Jalisco.

La morfología del terreno determina la formación de cuencas hidrográficas, las cuales a su vez delimitan las superficies de captación y escurrimiento de la precipitación, permitiendo de este modo que parte de ésta agua se infiltre en el subsuelo y/o recargue los acuíferos¹⁵.

Además de generar parteaguas de las cuencas de drenaje superficial, la morfología del terreno a través de sus pendientes y características físicas controlan la velocidad de escurrimiento superficial, las tasas de erosión y la infiltración del agua. En el caso de El Bajío los domos volcánicos del sistema de La Primavera representan un área de captación y transporte superficial importante de agua (y sedimentos) hacia la depresión de origen tectónico de El Bajío del Arenal. Esta depresión configura una cuenca endorreica cubierta de sedimentos fluviales, constituida a partir del hundimiento del labio de una falla concéntrica cuyo resalto topográfico hoy se observa en el escarpe mayor a 30 metros de altura en el relieve del sector noreste de El Bajío del Arenal. El resalto topográfico observable en la actualidad no corresponde a la posición de la estructura de falla, por el importante retroceso de la pendiente por miles de años, derivado de la elevada tasa de erosión regresiva –o remontante- resultado de la alta erodabilidad de las tobas que afloran en el sector y la intensidad de las precipitaciones.

La presencia de esta falla se soporta también en la identificación de bloques estructuralmente colapsados dentro de la cuenca y definidos primeramente por grandes variaciones en el espesor de la Toba Tala, la cual varía de 72 m (pozo “JVC”) a 322 m. (pozo “Tecnológico de Zapopan”)(GEOEX-SIAPA 2003).

El bloque hundido se caracteriza por:

- Acumulaciones más potentes de la Toba Tala dentro de la estructura colapsada.
- Un engrosamiento de las brechas y rolitas del grupo Guadalajara Inferior.
- La intersección de la estructura este-oeste Colomos con la estructura colapsada de El Bajío de la Arena.

La parte topográficamente más baja de la cuenca se localiza en el sector oriental medio de la depresión tectónica, sección que posee rasgos geológicos característicos (Clausen, Valdivia, et. al. 2009):

¹⁵ La infiltración y la recarga no son lo mismo: En la infiltración, el agua puede ser captada por el suelo y las plantas, sufriendo entonces fenómenos de evapotranspiración, o puede circular hipodérmicamente junto con las aguas que circulan en superficie, denominándose al conjunto aguas de escurrimiento. La parte de agua infiltrada que alcanza una zona más profunda constituye la verdadera agua de recarga, es aquella que llega hasta la zona saturada del acuífero y se junta con las aguas subterráneas, alimentando el acuífero. Al movimiento del agua una vez que llega a la zona saturada se le llama percolación. Departamento de Geología de la Universidad de Sonora (2004). Balance hídrológico. Archivos. Sonora, Universidad de Sonora.

- Producto de los escurrimientos naturales, se han depositado en ciertas zonas arenas y gravas arrastradas desde las partes altas de la APFF La Primavera, depósitos que fueron explotados históricamente como bancos de materiales en numerosos sitios dentro de El Bajío.
- Debido a las obras antrópicas desarrolladas en la zona durante los últimos años, tanto la geomorfología como los patrones naturales de escurrimiento e infiltración se han modificado, creándose sistemas artificiales de conducción, captación, infiltración y evaporación del agua.

1.3.1.3 Geología, recarga y retención

En estudios recientes elaborados para establecer el marco geológico y estratigráfico del acuífero de Atemajac y de El Bajío, se establecieron correlaciones utilizando registros eléctricos de pozos de diversa profundidad, cortes litológicos (SIAPA, 2003), estudios estratigráficos locales y regionales (Clausen, Valdivia, et al. 2009), estudios geofísicos, de geología del Holoceno y dataciones radiométricas (López, J.; MIA Centro JVC). En estos trabajos se identificaron las unidades litológicas que se describen a continuación, desde la más profunda hasta la más superficial:

- **Grupo San Cristóbal** (o grupo Río Santiago). Mioceno (11-8.5 Ma). Unidad litológica de mayor espesor y extensión. Integrado por flujos de basalto y andesita basáltica, con intercalaciones menores de tobas soldadas cerca de la base y flujos de ceniza y lapilli pumicítico en la cima. Es probable que la porosidad sea muy baja (<10%) en los flujos de la lava sólida y 30% en las zonas de fractura. La conductividad hidráulica se estima en el rango de 10^{-4} a 10^{-9} m/s.
- **Grupo Guadalajara Inferior**. Mioceno–Plioceno (7.15-5.0 Ma). Constituido por flujos, domos y brechas de composición riolítica con menor ignimbrita, material piroclástico y lavas de basalto. Normalmente es descrita con una textura brechada o fracturada y ocasionalmente descrita como una riolita competente y masiva. De manera general ésta unidad muestra una conductividad hidráulica más alta que las unidades constituidas por basaltos y más baja que la Toba Tala. La porosidad se estima en 30 a 40%, por lo que el rango de conductividad hidráulica se esperaría en el orden de 10^{-2} y 10^{-5} m/s.
- **Grupo Guadalajara Superior**. Plioceno (5.0-3.5 Ma). Representado por ignimbritas, rolitas y basaltos, éstos últimos presentan variedades texturales diferentes incluyendo flujos de lava masiva, brechas basálticas, escoria y basalto poroso, masivo y vesicular. Se incluye también la Ignimbrita San Gaspar (4.7 Ma) y el basalto Guadalajara (4-3.5 Ma). Esta unidad en general exhibe características hidráulicas muy inconstantes que a veces se aproximan a un medio poroso uniforme y en otras localidades puede ser fuertemente controlada por el fracturamiento. Para esta unidad se estima una

conductibilidad hidráulica del orden de 10^{-3} a 10^{-7} m/s y una porosidad de alrededor del 30%.

- **Conos cineríticos y flujos de lava basáltica.** Plioceno Tardío-Pleistoceno (2.5-1.4 Ma). Se compone de conos y flujos de lava, diques, brechas y escoria de composición predominantemente basáltica que forman la Cadena Volcánica Sur de Guadalajara (CVSG), cerros El Gachupín, Santa María, El Cuatro, El Tapatío, Escondido, San Martín y Papantón de Juanacatlán.
- **Toba Tala.** Pleistoceno (~0.095 Ma). El paquete está relacionado en tiempos con el colapso de la caldera La Primavera y está integrado por material piroclástico, ceniza, lapilli y fragmentos de roca, principalmente pumicita y vidrio volcánico con distinto grado de diagénesis y consolidación. Estos materiales en su conjunto tienen una porosidad estimada superior al 50% y una conductividad hidráulica del orden de 10^{-2} o 10^{-3} m/s. Se encuentra distribuidos aproximada en área de ~1,200 km² alrededor de la caldera de La Primavera, por tanto, cubre la mayor parte de las paleodepresiones topográficas y valles circundantes al ANPFF. La Toba Tala puede alcanzar espesores superiores a 100 m. en un radio de 3 a 5 km. alrededor del Complejo Volcánico La Primavera (Clausen, Valdivia, et al. 2009).
- **Domos riolíticos viscosos porfiríticos y flujos de lava félsica.** Pleistoceno (0.095-0.075Ma,). Cerro El Chapulín y Mesa La Lobera.
- **Domos riolíticos viscosos afíricos, flujos de lava félsica y depósitos piroclásticos de diversa granulometría.** Pleistoceno (0.06-0.025 Ma). Cerro El Colli. Formaciones posteriores al colapso de la caldera La Primavera. Los depósitos piroclásticos de caída, son recientes, han cubierto los paisajes preexistentes alrededor de El Colli, y están integrados por estratos intercalados de cenizas finas y gruesas, lapilli y fragmentos de roca de caja pumicítica, riolítica y vidrio volcánico.

Estos materiales en su conjunto tienen una porosidad estimada superior al 60% y una conductividad hidráulica del orden de 10^{-2} m/s. Se encuentran distribuidos en un radio variable alrededor de El Colli y cubren gran parte de la cuenca de Atemajac, Rio Blanco y San Juan de Dios, hasta la depresión geomorfológica del cañón del Rio Santiago. Estos depósitos, por tanto, han cubierto la mayor parte de las paleodepresiones topográficas y valles circundantes al Colli y pueden registrarse cubriendo la Toba Tala de mayor antigüedad (López, Clausen; 2005).

Las unidades estratigráficas superiores y superficiales que afloran y sostienen suelos en un radio de varios kilómetros desde el domo de El Colli, están compuestas predominantemente por lapilli, lo que les confiere una elevada permeabilidad y conductividad hidráulica vertical y horizontal. Esta elevada permeabilidad permitió históricamente la infiltración del agua de precipitaciones y la recarga de los acuíferos colgados y libres en la zona de estudio (Clausen, Valdivia, et al. 2009).

Los diferentes estudios señalan que la combinación de los depósitos piroclásticos de El Colli y las rocas vulcanoclásticas de la Toba Tala en esta zona, presentan alta conductividad hidráulica. La configuración tectónica ha generado áreas de gran espesor de rocas vulcanoclásticas que confieren una gran capacidad de almacenamiento de agua en medio granular, por lo que en la porción inferior de ésta zona y en la parte superior del Grupo Guadalajara Inferior se registra el movimiento lateral del agua subterránea en acuíferos libres a semiconfinados de mayor conductividad.

- **Depósitos coluviales, aluviales, lacustres, suelos y paleosuelos recientes que cubren a toda la secuencia volcánica anterior.** En general son de poco espesor, con excepción del piedemonte de aparatos y domos volcánicos en los que se desarrollan abanicos aluviales y en la parte central del Valle de Tesislán, en donde alcanzan espesores mayores a los 5 m.

En El Bajío sobre los piroclastos recientes y la Toba Tala se encuentran depósitos aluviales de tefras, lapilli y ceniza gruesa retransportadas y no consolidadas que pueden alcanzar espesores de varias decenas de metros. Estos depósitos incluyen delgadas interestratificaciones lenticulares de sedimentos lacustres limo-arcillosos que sostienen acuíferos colgados o vadosos que finalmente terminan de recargar a un acuífero libre más profundo (López, J.E.; MIA Centro JVC). (Imagen 1.3.1 y 1.3.2)

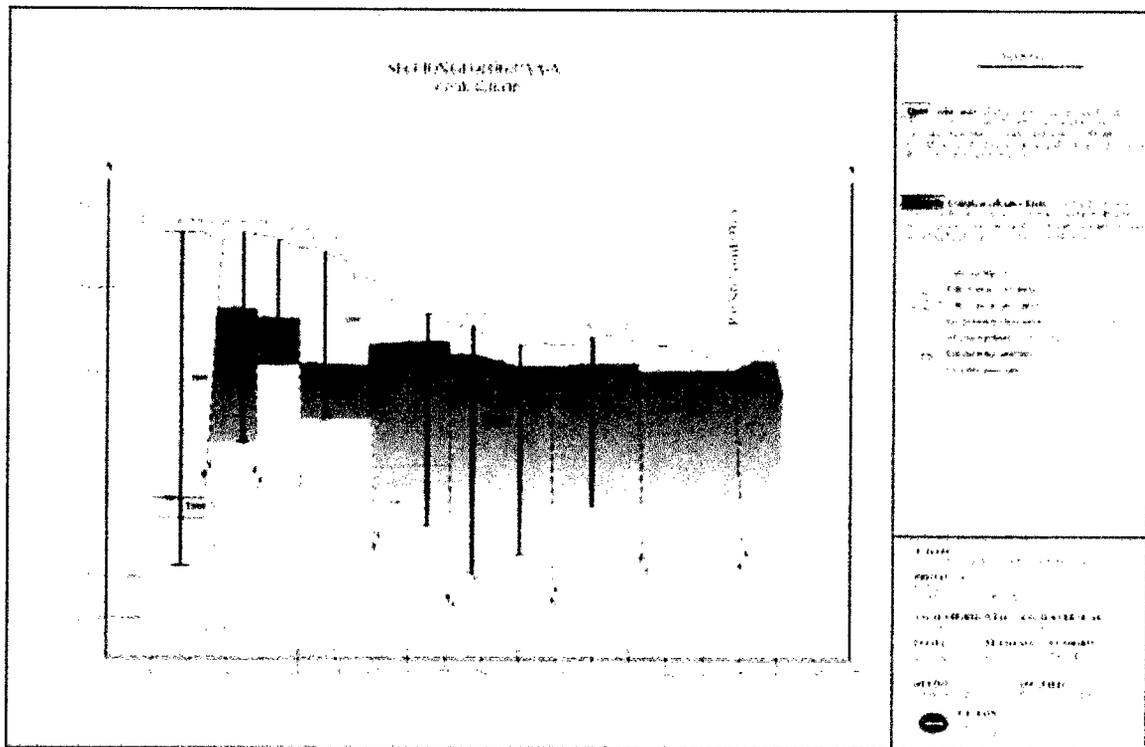


Imagen 1.3.1. Sección geológica A-A' en la que se observa la interpretación de la correlación estratigráfica entre El Bajío norte y parte del acuífero de Atemajac (con base en GEOEX-SIAPA 2003; López y Clausen, 2005)

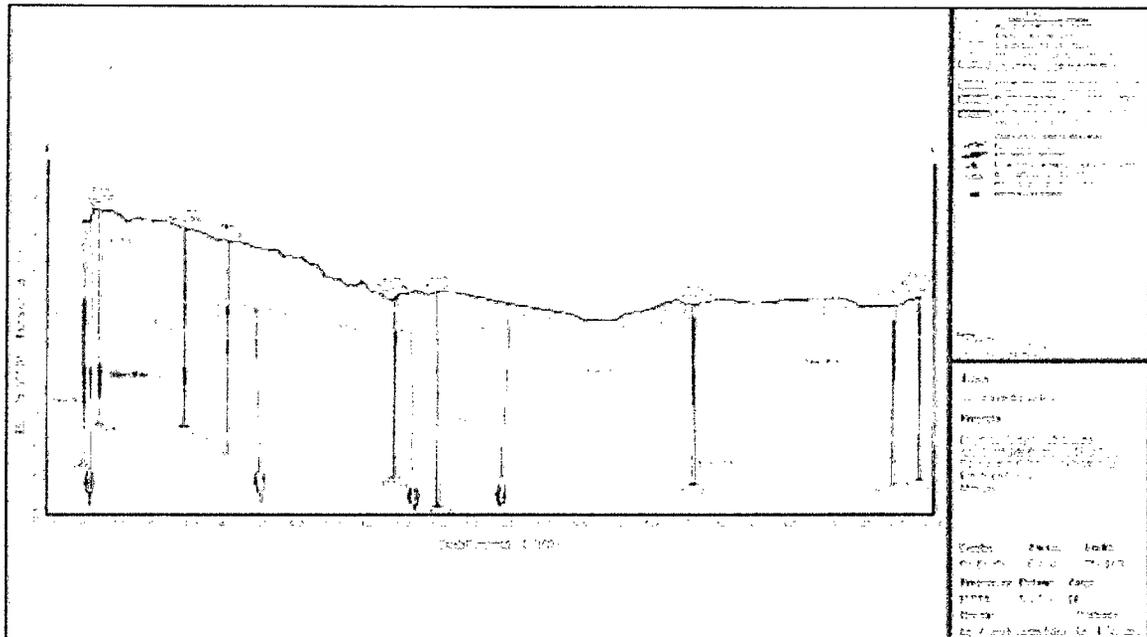


Imagen 1.3.2. Sección geológica F-F' en la que se observa la interpretación de la correlación estratigráfica entre El Bajío sur y parte del acuífero de Atemajac (con base en GEOEX-SIAPA 2003; López y Clausen, 2005).

1.3.2 Movimiento o flujo del agua subterránea

El movimiento del agua subterránea es un factor condicionado por tres fuerzas principales: las diferencias de gradiente hidráulico (que para acuíferos libres, con cierto grado de homogeneidad e isotropía se rige por ley de Darcy), el flujo vertical entre cuerpos semiconfinados y en menor medida y a nivel poral, por la atracción molecular y las diferencias de densidad (Fetter, 2001). Por ende, existen dos factores en la composición geológica que determinan la velocidad de movimiento (o flujo) del agua por el subsuelo: la porosidad y la conductividad hidráulica. La porosidad es la particularidad que tiene un material geológico de contener intersticios (o espacios pequeños entre el material). La conductividad hidráulica es la facilidad que tiene un material geológico para permitir el paso del agua (Rascón and Román 2005).

Existen además tres principales sistemas de flujo de agua subterránea que se establecen de acuerdo con la forma del terreno y la geología presente: local, intermedio y regional (ver Imagen 1.3.3). Una topografía abrupta producirá varios sistemas locales donde el agua entra y sale en el mismo valle. En algunos casos parte del agua de recarga podrá descargar en otro valle localizado a un nivel topográfico menor, esto definirá un sistema intermedio. Los sistemas regionales se desarrollan a mayor profundidad y van de las partes más altas a las zonas de descarga más bajas de la cuenca (Rascón and Román 2005).

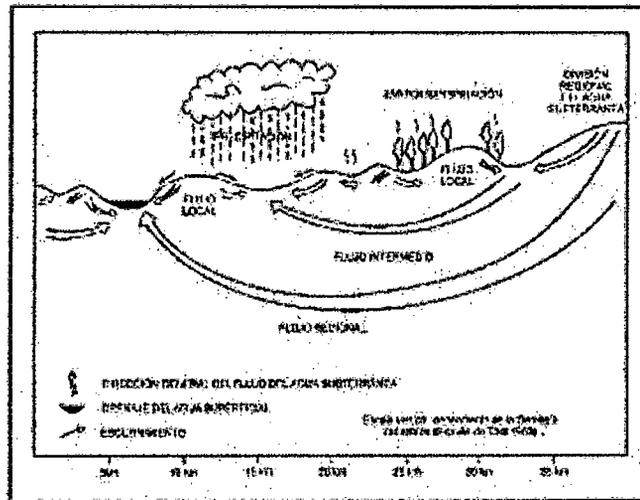


Imagen 1.3.3. Diagrama básico de flujo del agua subterránea

1.3.2.1 Flujo del agua subterránea en El Bajío

Como se mencionó anteriormente, el agua de lluvia que escurre superficialmente de La Primavera a la zona de El Bajío, infiltra gran parte de sus aportaciones. Ahí de manera natural el escurrimiento se dirige hacia la mitad norte, puesto que se trata de la parte topográficamente más baja. En ese sector de la cuenca de El Bajío se encuentran los siguientes rasgos geológicos más característicos (López, J.; MIA Centro JVC):

- Acumulaciones más potentes de Toba Tala dentro de la estructura colapsada.
- Un engrosamiento de las brechas y rolitas del grupo Guadalajara Inferior.
- La intersección de la estructura este-oeste Colomos con la estructura colapsada de El Bajío de la Arena.

La Toba Tala favorece la rápida infiltración de las aportaciones directas dada su alta conductividad hidráulica y alta capacidad de almacenamiento. El agua es conducida vertical y lateralmente en el medio poroso del suelo hasta llegar a niveles saturados y recargar acuíferos libres y colgados.

Desde estos niveles colgados y posterior a las temporadas de lluvia, continúa el proceso de recarga efectiva de acuíferos de extensión regional, cuyos niveles freáticos se encuentran a varias decenas de metros de profundidad por debajo del nivel del terreno, bajo presión atmosférica y ciertas condiciones semiconfinadas localizadas (Clausen, Valdivia et al. 2009).

Los diferentes estudios señalan que la combinación de los depósitos piroclásticos de El Colli y las rocas piroclásticas de la Toba Tala en esta zona, presentan alta conductividad hidráulica. La configuración tectónica ha generado áreas de gran espesor de rocas piroclásticas que confieren una gran capacidad de almacenamiento de agua en medio granular, por lo que en la porción inferior de esta zona y en la parte superior del Grupo Guadalajara Inferior se registra el movimiento lateral del agua subterránea en acuíferos libres a semiconfinados de mayor conductividad: En El Bajío se registran espesores de cerca de 350 m. de formaciones piroclásticas de "extraordinarias y particulares características hidroestratigráficas" por su porosidad y elevada conductividad hidráulica, que permiten un almacenamiento considerable de agua subterránea, así como una importante recarga lateral del acuífero de Atemajac (GEOEX-SIAPA 2003).

Parte del flujo subterráneo del acuífero libre y colgados que se recargan en El Bajío, es captado por pozos y el sistema de galerías filtrantes diseñado por fray Pedro Antonio Buzeta a finales del siglo XIX y alimenta los tanques de Colomos administrados por el SIAPA, para ser distribuida para riego urbano, uso doméstico e industrial (López, Clausen; 2005).

El engrosamiento de la Toba Tala y las riolitas del grupo Guadalajara Inferior, coinciden con la típica geomorfología en cañadas de los Colomos. Estas dos unidades se han estimado con la mayor capacidad de flujo. La coincidencia del grupo Guadalajara Inferior con una estructura tectónica mayor (Colomos), sugiere un incremento en el fracturamiento que favorece el flujo de agua subterránea a través de esta zona.

De este modo y dado que no se cuenta con información de perforaciones o pozos de monitoreo directos que permitan cuantificar los procesos antes señalados, o bien construir un nuevo modelo conceptual, se deduce un esquema conceptual (Imagen 1.3.4).

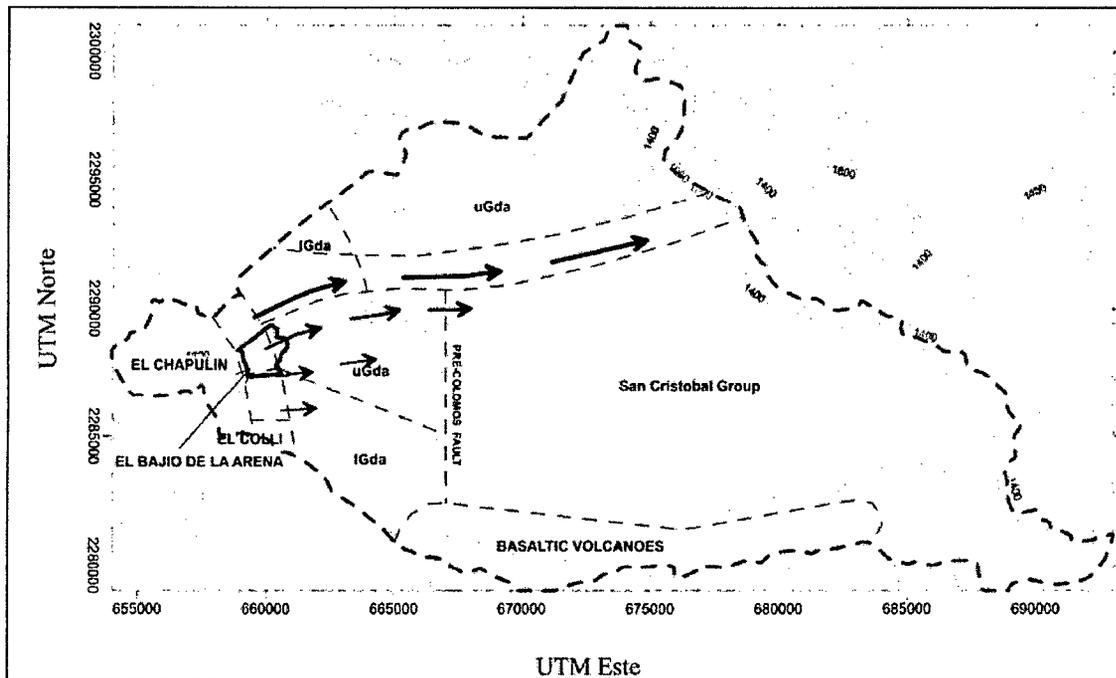


Imagen 1.3.4 Modelo conceptual de movimiento del agua subterránea con respecto al predio JVC. Se observa el control estructural sobre el flujo regional del agua subterránea al norte del predio de JVC (MIA JVC, Clifton Associates, 2003).

Las fronteras impermeables al flujo subterráneo están constituidas al Norte por cerros formados de rocas volcánicas de los grupos Guadalajara Superior e Inferior, al Sur por la Cadena Volcánica Sur de Guadalajara, hacia el Este el Río Santiago y hacia el Oeste el Complejo Volcánico La Primavera (CVLP) (López, J.E.; MIA Centro JVC). Se estima que la mayor parte del flujo de agua subterránea regional desde El Bajío ocurre en general de Oeste a Este, fluyendo los mayores volúmenes precisamente por la estructura Colomos que se observa en la Imagen anterior entre el cerro de El Chapulín hacia el cañón del Santiago en el Este. Esta descarga está asociada principalmente a la zona de contacto entre la Toba Tala y el Complejo Volcánico Basal subyacente y controles topográfico-estructurales, pero principalmente al marcado cambio en las características hidráulicas de las unidades hidroestratigráficas (GEOEX-SIAPA, 2003; López, Clausen; 2005).

La principal fuente de recarga en tiempos geológicos e históricos ha sido el agua de lluvia y gran parte de la descarga actual es la extracción por bombeo. El movimiento regional del agua subterránea que antes de la generación de nuevos gradientes hidráulicos locales generados por el bombeo ocurría naturalmente de oeste a este, se ha modificado formando notables e irregulares conos de abatimiento en el área de influencia de El Bajío sobre el acuífero Atemajac (Secretaría de Medio Ambiente para el Desarrollo Sustentable (SEMADES) 2009); López, J.E.; MIA Centro JVC).

1.3.3 Distribución del agua en el subsuelo en El Bajío con respecto a la distribución regional

El gradiente de los niveles piezométricos presentaba al año 2003 niveles estáticos cercanos a los 1575 msnm, muy cerca del límite del CVLP y aproximadamente 1500 msnm antes de la descarga, en el cañón del río Santiago (ver Imagen 1.3.5). El gradiente hidráulico es cercano al 1% al poniente de la zona de Los Colomos y este gradiente se incrementa a cerca del 2% cercano a la descarga sobre el río Santiago. Los niveles estáticos presentaban un bajo piezométrico en la estructura Colomos (~1,480 msnm) con gradiente de 1 a 2%, coincidente con la discontinuidad litológica y estructural Colomos, evidenciando el sistema regional de flujo¹⁶.

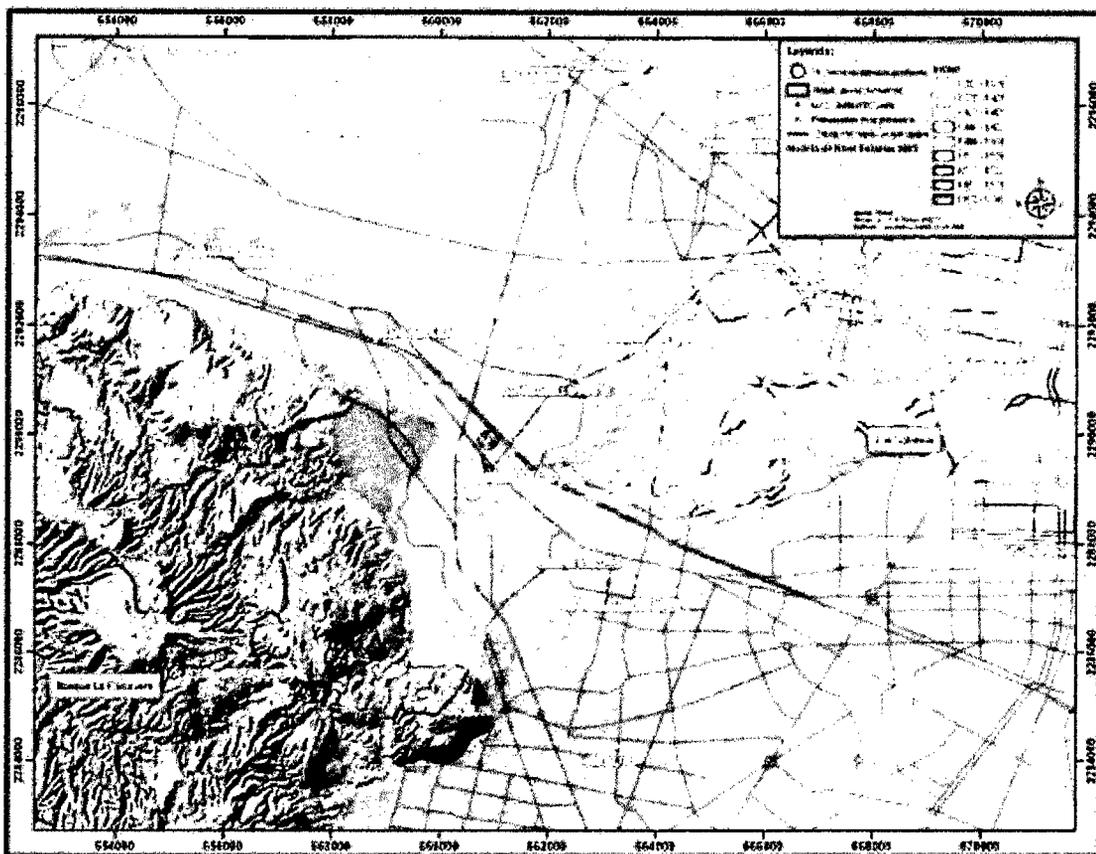


Imagen 1.3.5. Modelo de nivel estático 2003 (con base en SIAPA-GEOEX, 2003 y SEMADES, 2009)

En las últimas décadas el gradiente hidráulico y las configuraciones piezométricas han sufrido variaciones significativas en su comportamiento debido a las tasas de extracción

¹⁶ Estudio Hidrogeológico para el predio denominado La Coronilla en Zapopan, Jalisco, 2004. Documento inédito.

de agua del acuífero, en relación con el continuo crecimiento de la mancha urbana y el consecuente incremento de bombeo desde pozos de abastecimiento urbano e industrial. Durante el período de 1996-2003, en el sector del acuífero dentro de la parte alta de la subcuenca de Atemajac se registraron abatimientos promedio cercanos a los -2.20 m/año (Secretaría de Medio Ambiente para el Desarrollo Sustentable de Jalisco (SEMADES) 2009).

SEMADES (2009) señala que en la zona de influencia de conos de abatimiento más importante, el acuífero libre superior de la parte alta de la subcuenca de Atemajac estaría prácticamente agotado existiendo aún reservas en el acuífero semiconfinado inferior emplazado en rocas volcánicas fracturadas pre-Tala. En la imagen siguiente se muestra un modelo de los flujos de agua subterránea (Imagen 1.3.6).

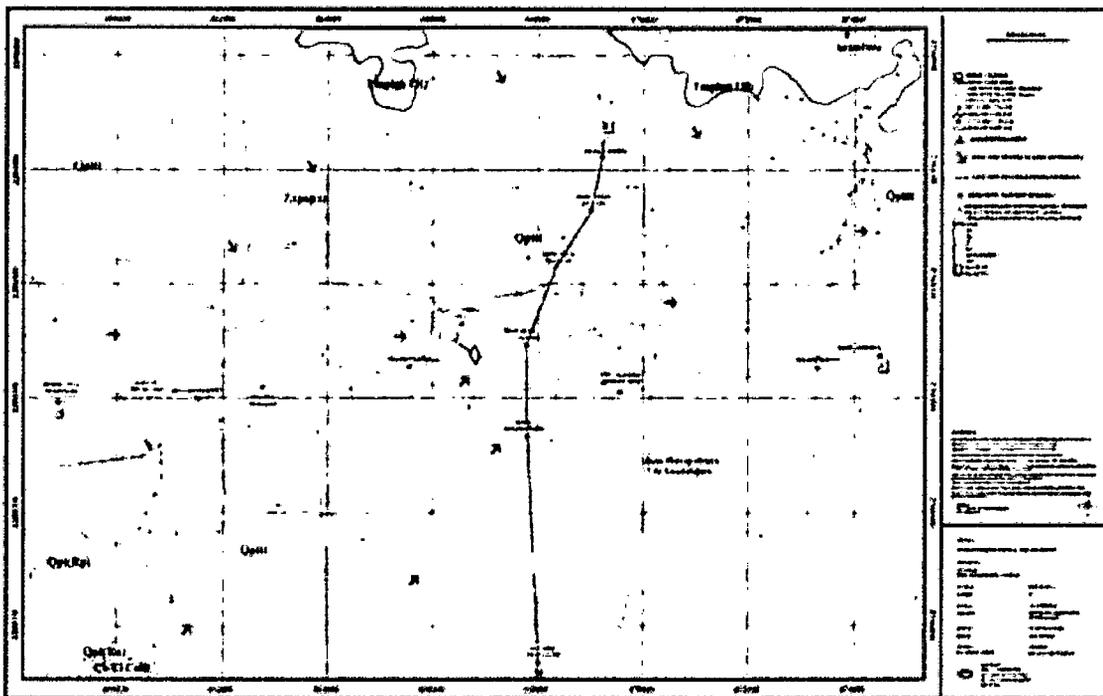


Imagen 1.3.6. Estructuras geológicas y modelo de flujo del agua subterránea hacia la zona de descarga en Colomos, identificado como "sitio" (con base en López y Clausen 2005; y SIAPA-GEOEX, 2003).

En el mismo documento con base en trabajos específicos anteriores realizados por GEOEX (2003) y López y Clausen (2005), se reconoce que la zona de El Bajío, conformada por dos subcuencas denominadas Bajío de la Arena y Rancho Contento, aportan caudales considerables al acuífero de Atemajac (Imagen 1.3.6). Además, se establece que: "las condiciones hidrogeológicas e hidrogeoquímicas favorables, la disponibilidad de excedentes de agua en temporada de lluvias y la escasa actividad antropogénica en las partes altas de las subcuencas como la de El Bajío, incrementan las posibilidades de

implementar sistemas de recarga artificial en estas áreas que ayudarían a mejorar las condiciones de sobreexplotación de los acuíferos y alcanzar una gestión más racional del recurso”. (Imagen 1.3.7)

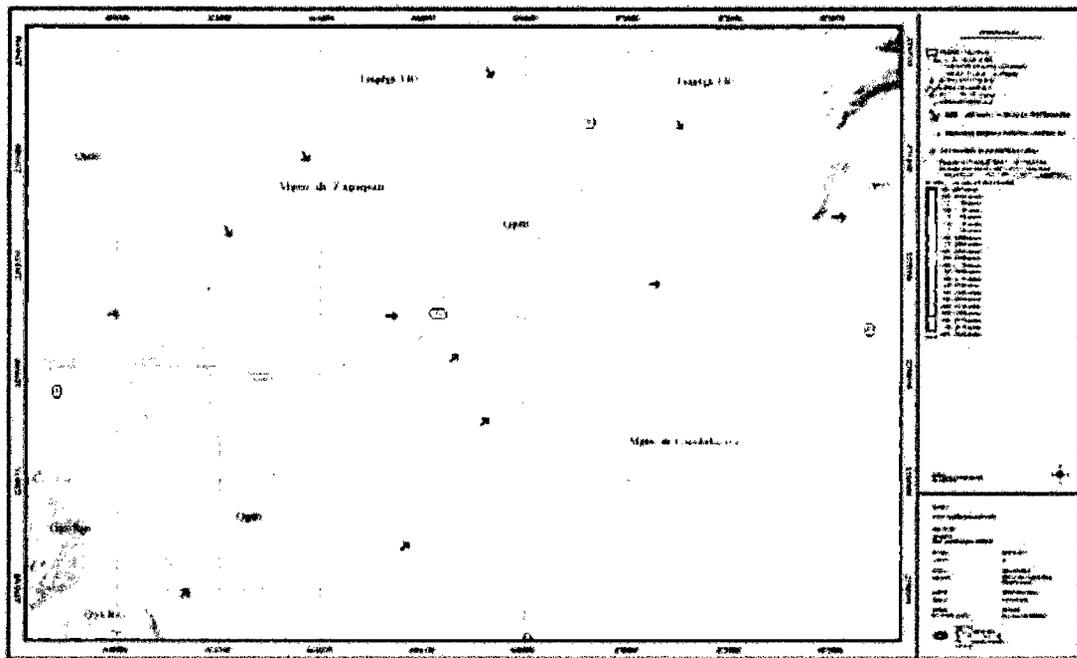


Imagen 1.3.7. Topografía, estructuras y modelo de flujo del agua subterránea hacia la zona de descarga en Colomos, identificado como "sitio" (con base en López y Clausen 2005; y SIAPA-GEOEX, 2003)

Servicios Ambientales Hídricos (SAH) de La Primavera y de El Bajío del Arenal

1.3.4.1 Servicios de los ecosistemas y bienestar humano

Dentro de la región de El Bajío se generan de manera conjunta y sinérgica diversos servicios ambientales hídricos, debido a sus características hidrogeológicas, topográficas y la adyacencia al Bosque de La Primavera y a la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG).

Como servicios ambientales o servicios de los ecosistemas, podemos entender que son todos aquellos beneficios que brindan los ecosistemas a las poblaciones humanas (comunidades, familias, economías, etc.) (Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA) 2005). Se definen también como los beneficios intangibles que proporcionan los distintos ecosistemas por el simple hecho de existir y estar a disposición de la sociedad (Baró, Expósito et. al. 2008).

En general, se han dividido a los servicios de los ecosistemas en cuatro grandes grupos, que incluyen los siguientes servicios:

1. **Servicios de aprovisionamiento:** tales como alimento, agua dulce, madera y fibra, combustible, etc.;
2. **Servicios de regulación:** tales como la regulación del clima, regulación de crecidas, de inundaciones, control de erosión y de sedimentación, de sequías, regulación de enfermedades, purificación de agua, fertilización de los suelos;
3. **Servicios de apoyo:** tales como formación de suelos, ciclos de nutrientes y producción primaria,
4. **Servicios culturales:** tales como elementos estéticos, educativos, de tipo recreativo, espiritual, religioso y otros beneficios no materiales que brindan los ecosistemas.

Los servicios hídricos de los ecosistemas engloban una serie de componentes del bienestar humano que están relacionados con el agua y que dependen de los ecosistemas. La efectividad de la relación entre servicios ambientales y el bienestar, son altamente dependientes de su gestión (MEA, 2005). En el marco regulatorio mexicano, los servicios hídricos ya se encuentran definidos por la Ley de Aguas Nacionales (2004) como "...los beneficios de interés social que se generan o se derivan de las cuencas hidrológicas y sus componentes, tales como regulación climática, conservación de los ciclos hidrológicos, control de la erosión, control de inundaciones, recarga de acuíferos, mantenimiento de escurrimientos en calidad y cantidad, formación de suelo, captura de carbono, purificación de cuerpos de agua, así como conservación y protección de la biodiversidad;...".

Los procesos de recarga, conducción y almacenamiento de los cuerpos de aguas subterráneas y acuíferos, como los que ocurren dentro de El Bajío, ofrecen funciones y servicios útiles al ser humano y al medio ambiente; retienen agua en época de estiaje, sequía o futuros escenarios de cambio climático, descargan y abastecen cursos de agua, lagunas, manantiales y humedales; mantienen la estabilidad estructural de los sedimentos superficiales en zonas donde el terreno es inestable, disminuyen la vulnerabilidad a la contaminación antrópica y actúan como un recurso hídrico fundamental para satisfacer demandas básicas de agua de calidad para el ser humano en todas sus actividades¹⁷. Según la Declaración de Alicante (2006) "las aguas subterráneas han proporcionado grandes beneficios a muchas sociedades en las últimas décadas a través de su uso directo como fuente de agua potable, mediante su utilización en la agricultura de regadío y el desarrollo industrial e, indirectamente, a través del

¹⁷ El agua subterránea es la única fuente permanente en 50% del territorio mexicano, es la fuente preferencial para los sectores urbano, industrial y rural, aún en las regiones lluviosas. Sustenta el riego de dos millones de hectáreas, suministra un 70% del agua requerida en ciudades y abastece a la gran mayoría de los desarrollos industriales y a casi la totalidad de la población rural. CONAGUA 2006, IV Foro Mundial del Agua, "Disponibilidad de agua subterránea en México" Ing. Rubén Chávez Guillén.

http://www.worldwaterforum4.org.mx/sessions/FT5_33/DISPONIBILIDAD%20DE%20AGUA%20SUBTERRANEA%20EN%20MEXICO.pdf

mantenimiento del ecosistema y de los flujos de agua”; su aprovechamiento, además, “...supone con frecuencia un medio rápido y asequible de combatir la pobreza y garantizar la seguridad alimentaria”.

En algunos casos sin excluir a El Bajío, la inadecuada explotación de los recursos subterráneos y los impactos no deseados de ciertas prácticas de uso del suelo han producido efectos adversos tales como la degradación de la calidad del agua, el daño a los ecosistemas acuáticos, el descenso excesivo de los niveles de agua subterránea y, en consecuencia, la subsidencia del terreno y la desaparición de humedales (Declaración de Alicante, 2006).

1.3.4.2 Servicios ambientales hídricos del Bosque La Primavera a los sistemas de aprovechamiento de agua subterránea que se encuentran en El Bajío y hacia la zona de descarga

Para el territorio de El Bajío, el Bosque de la Primavera genera distintos servicios ambientales de importancia. De los distintos trabajos de investigación desarrollados en el bosque y su zona de influencia, se destacan los siguientes servicios ambientales de la APFF de La Primavera:

- Secuestro de carbono
- Regulación del clima de la región
- Servicios ambientales vinculados con la biodiversidad
- Formación y conservación de suelos
- Servicios culturales
- Servicios de aprovisionamiento de combustible, y
- Servicios hídricos

Como principal servicio ambiental hídrico que brinda el Bosque La Primavera a la región de El Bajío y sus alrededores, se destaca la captación de las precipitaciones regionales y el drenaje superficial y subsuperficial en territorio de cobertura boscosa y en ausencia de fuentes antrópicas de contaminación. El agua de lluvia (aproximadamente 240 mm³ anuales) que precipita sobre el territorio de cobertura natural, satura sistemas de fracturas y drena de manera natural, -manteniendo su buena calidad a través de una extensa y densa red de drenaje- hacia la zona periférica del bosque, en la que por cambio de pendiente y por presencia de mayores espesores de depósitos sedimentarios permeables, se favorece su infiltración hasta los niveles saturados de acuíferos colgados, libre y semiconfinados de extensión regional.

A través de la captación, transporte y mantenimiento de la buena calidad del agua en su drenaje por el Área Protegida del Bosque, se genera un potencial hídrico superficial relevante que termina recargando acuíferos con agua meteórica de buena calidad para consumo humano en los valles de Atemajac-Tesistán (incluyendo la ZMG), Toluquilla y Etzatlán-Ahualulco, y de manera indirecta en el Valle de Ameca, todos en la zona central del Estado de Jalisco (Dirección Ejecutiva del Bosque La Primavera 2009). El sentido general de los flujos se muestra en la imagen siguiente (Imagen 1.3.8).

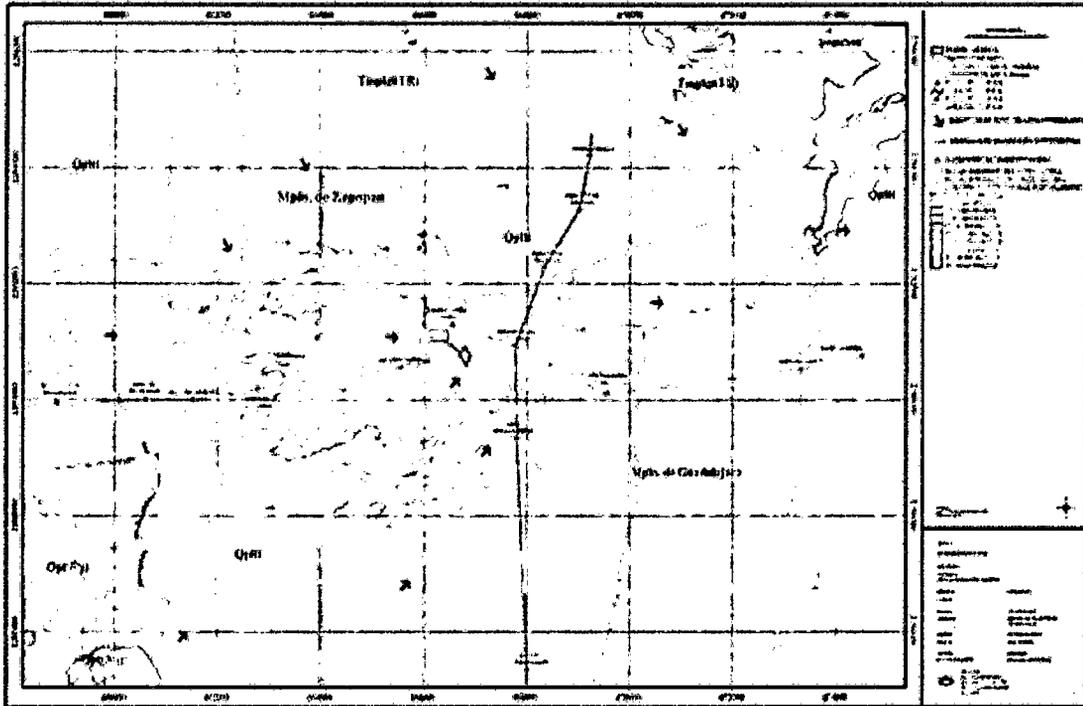


Imagen 1.3.8 Domas de El Chapulín, El Colli (en la parte inferior izquierda, estructuras geológicas, morfología del terreno y modelo de flujo del agua subterránea hacia la zona de descarga en Colomos, identificado como "sitio" (con base en López y Clausen 2005; y SIAPA-GEOEX, 2003)

Este tipo de servicios hídricos disponibles en la región podrían ser afectados si las funciones hidrológicas del bosque, tales como la intercepción de las lluvias, los escurrimientos y/o la infiltración en el suelo, son modificados.

1.3.4.3 Servicios ambientales de El Bajío del Arenal y del acuífero Atemajac

En el caso particular de El Bajío del Arenal, los componentes superficiales y subterráneos del ciclo hidrológico del sistema, prestan servicios ambientales hídricos a los habitantes de la ZMG entre otros por la recarga histórica de agua de buena calidad al acuífero de Atemajac. Por las características geohidrológicas particulares, los servicios ambientales hídricos más relevantes de El Bajío son los que se mencionan a continuación:

Servicio de escurrimiento, captación, y retención de agua y sedimentos. El agua precipitada sobre extensiones importantes del Bosque La Primavera escurre hacia El Bajío, depositando parte de su carga sedimentaria en cauces, terrazas y en forma de abanicos aluviales en los quiebres principales de pendientes, entrando a la zona baja del piedemonte de los domos volcánicos y en la depresión de El Bajío del Arenal. Los depósitos aluviales y coluviales no consolidados en los que predominan piroclastos retransportados, en su mayoría pumicíticos de granulometría media a gruesa dominante; alcanzan espesores de varias decenas de metros y por su composición granular y alta porosidad efectiva y retención pelicular, favorecen la filtración y retención temporal del agua (GEOEX-SIAPA 2003), reduciendo la evapotranspiración.

Servicio de recarga y almacenamiento de grandes cantidades de agua. Las características granulares de los depósitos piroclásticos recientes de abanicos aluviales, remoción en masa y depósitos coluviales dominantes en el sector occidental de El Bajío, favorecen la infiltración, conducción hidráulica vertical en el medio poroso y la recarga efectiva de niveles saturados colgados y drenaje lateral por diferencias de carga hidráulica (López, Clausen; 2005).

Desde los niveles colgados, con posterioridad a las temporadas de lluvia, continúa el proceso de recarga efectiva de acuíferos de mayor extensión cuyo nivel freático –o piezométrico- se encuentra a varias decenas de metros de profundidad por debajo del nivel del terreno, bajo presión atmosférica y ciertas condiciones semiconfinadas localizadas. No se cuenta con información de perforaciones o pozos de monitoreo directos que permitan cuantificar estos procesos, ni que requieran cambiar este modelo conceptual hidrogeológico construido desde el año 2003 (Clausen, Valdivia, et al. 2009).

Los materiales piroclásticos granulares porosos de la Toba Tala alojan acuíferos de transmisividad hidráulica importante. En El Bajío, se registran espesores de cerca de 350 m. de formaciones volcanoclásticas de extraordinarias y particulares características hidroestratigráficas, con alta conductividad hidráulica que permiten un almacenamiento considerable de agua subterránea dado su amplio espesor y que generan una importante recarga lateral del acuífero de Atemajac. Cuya subyacencia a unidades holocenas de elevada capacidad de infiltración vertical favorecerían las posibilidades de recarga inducida y artificial de agua de buena calidad (GEOEX-SIAPA 2003). La disponibilidad de excedentes de agua en temporada de lluvias y la escasa actividad antrópica en las partes altas de las microcuencas que desembocan en el territorio abarcado por el Plan Parcial de El Bajío, incrementan las posibilidades de recarga con agua de buena calidad en condiciones hidrogeológicas e hidrogeoquímicas favorables.

Servicios de aprovisionamiento de agua de buena calidad para consumo humano. De acuerdo a líneas de investigación regional, las aguas subterráneas representan entre un 25 y 40% del agua potable del mundo, y una de las fuentes principales de agua potable para cerca de la mitad de las megalópolis del mundo y cientos de otras ciudades de grandes tamaños (Baró, Expósito et. al. 2008). En la mayor parte de los sectores del

acuífero Atemajac, se ha determinado que es excelente para uso público urbano e industrial (GEOEX-SIAPA 2003), aunque no se cuenta con datos hidroquímicos y de monitoreo de distintos niveles hidroestratigráficos en el mismo acuífero.

Servicio de regulación de inundaciones. Por tratarse de una cuenca cerrada de origen tectónico, las avenidas de los cursos de agua que allí descargan y los volúmenes de crecida por precipitaciones locales han quedado allí retenidos desde tiempos históricos, reduciendo daños a la infraestructura y a la salud humana aguas abajo en la cuenca del Atemajac. En la zona de cambio importante de pendiente de El Bajío, se han generado depósitos sedimentarios de piroclastos y rocas volcánicas transportados desde La Primavera, conformando abanicos y depósitos de planicie aluvial de alta permeabilidad que favorecen la infiltración del agua de lluvia y de los cursos de agua superficiales que allí descargan.

Servicio de regulación de sedimentos. El Bajío es una zona de depósito de aluviones lo que significa que reduce el arrastre de sedimentos hacia la ZMG. La retención de avenidas y carga sedimentaria reduce riesgos geomorfológicos e hidrológicos en gran parte de las zonas urbanizadas aguas abajo.

Servicio de regulación de sequías. Los depósitos aluviales y piroclásticos superficiales y los potentes espesores de Toba Tala identificados en los estudios hidrogeológicos presentan características granulométricas y escasa compactación, lo cual se traduce en una alta porosidad efectiva y permeabilidad, permitiendo una rápida infiltración del agua de los escurrimiento y de las precipitaciones locales, y reduciendo su evapotranspiración. La gran transmisividad del acuífero, el potente espesor granular y sus características hidrogeológicas han permitido almacenar desde tiempos geológicos e históricos importantes volúmenes de agua subterránea, disponibles para su aprovechamiento sostenible durante temporadas de sequías sucesivas (GEOEX-SIAPA 2003).

Servicio de abastecimiento de manantiales. Parte del agua subterránea del acuífero libre y de los colgados que se recargan en El Bajío aflora posteriormente en distintos manantiales localizados gradiente abajo, como son los afloramientos presentes en el área de Los Colomos. Parte del flujo subterráneo en condiciones freáticas sería captado por pozos y el sistema de galerías filtrantes diseñado por fray Pedro Antonio Buzeta a finales del siglo XIX y alimenta los tanques de Colomos administrados por el SIAPA, para ser distribuida para riego urbano, uso doméstico e industrial.

Servicios de tipo recreativo. Los afloramientos del acuífero parcialmente recargado en El Bajío favorecen al sustento y desarrollo del Bosque de Los Colomos y la vegetación riparia del río Atemajac, aprovechados como parques y sitio de recreación.

Servicio de regulación de la integridad del Bosque La Primavera. Debido a su función como área de amortiguamiento entre el bosque protegido y la zona urbana.

Dentro de la investigación de éste documento no se identificaron esquemas o instrumentos concretos que describan detalladamente estos servicios y que busquen la valoración económica y social explícita de los mismos para garantizar su permanencia, desde el enfoque de *servicios ambientales*, como lo serían los esquemas de *pagos por servicios ambientales (PSA)*.

La falta de instrumentos que se enfoquen en la promoción directa de la conservación, bajo la premisa de que la creciente escasez de los servicios ambientales, antes ofrecidos de manera gratuita por la naturaleza, se vuelven sujetos potenciales de comercialización, está provocando una desarticulación entre los desarrollos urbanos y los componentes del bienestar de la gente sustentados en los servicios ambientales¹⁸.

Dicha desarticulación se traduce en la falta de puentes, entre los intereses de los propietarios de la tierra y los usuarios de los servicios. Puentes que se desarrollen bajo la estructura de mercado donde se establezca un convenio contractual, directo y condicionado que asegure prácticas orientadas hacia la conservación y restauración de los ecosistemas (Wunder, 2005).

A pesar de que internacionalmente se identifican varios casos exitosos que avalan la aplicabilidad del instrumento de pago por servicios como un instrumento efectivo de gestión y manejo de recursos hídricos, en El Bajío no se observan evidencias que pudieran marcar la pauta para establecer un convenio entre los dueños de la tierra que prestan los servicios, los usuarios de los mismos y un tercero mediador, ya sea una dependencia de gobierno o una organización no gubernamental, que funcione como el ente encargado de identificar los servicios y regular los pagos ya sean directos o indirectos¹⁹.

A continuación se detallan algunos procesos naturales relacionados con los servicios hídricos de los cuerpos de agua subterránea que se recargan, regulan y conducen desde El Bajío como parte del acuífero Atemajac, que son referidos y regulados en este Plan, dadas las condiciones geológicas particulares de El Bajío del Arenal y que serían susceptibles de ingresar a un esquema de pago por servicios ambientales hídricos para su adecuada gestión y conservación.

1.3.4.4 Procesos de recarga natural de acuíferos en El Bajío

Dado que la principal fuente de abastecimiento de agua en esta zona son los pozos de extracción, la recarga del acuífero es un elemento indispensable para garantizar la permanencia del servicio de provisión de agua de buena calidad en El Bajío y parte de la ZMG.

¹⁸ El concepto de PSA surge en el contexto del nuevo paradigma de conservación basado en el bienestar de la gente, generado después del Informe Brundtland (1987) y de la conferencia de Río (1992).

¹⁹ Administrados a través de un fondo para la conservación.

En general la recarga natural es el proceso regular de abastecimiento de agua de los acuíferos, se describe como la resultante del equilibrio entre la infiltración y los procesos de evapotranspiración y evaporación que sufre el agua ya sea de origen pluvial, de ríos, arroyos, lagos, lagunas o cualquier otro cuerpo de agua sobre la tierra. La protección y gestión integral de esta recarga natural, así como la promoción de una recarga artificial controlada, contribuyen al mantenimiento del ciclo hidrológico local y regional y a la protección de la calidad del agua potable extraída del acuífero.

La principal fuente de recarga natural de los acuíferos colgados y del acuífero de Atemajac en El Bajío -tanto en tiempos geológicos e históricos como en la actualidad- ha sido y es la percolación de los escurrimientos superficiales temporales provenientes del Bosque La Primavera y de la precipitación captada directamente en la cuenca. Este fenómeno de recarga natural del acuífero se ve favorecido particularmente en El Bajío por ser una cuenca endorreica de origen tectónico que permite que los sistemas de drenaje subdendríticos paralelos se infiltren en sedimentos superficiales de depósitos aluviales, depósitos piroclásticos y tobas, y que luego migren verticalmente a través de la zona vadosa (o de aireación) hasta alcanzar cuerpos de agua subterránea colgados y acuíferos libres, aumentando el volumen de los niveles saturados.

La particularidad de El Bajío en cuanto a su potencial de recarga natural posee una justificación en términos geológicos. El origen tectónico de la depresión de El Bajío ha permitido la acumulación de hasta cientos de metros de estos materiales granulares porosos en los últimos miles de años (ver Imagen 1.3.9). A grandes rasgos parte del municipio de Zapopan, al noroeste de la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG) se asienta sobre una estratigrafía superficial similar a la descrita para El Bajío, es decir, una estratigrafía compuesta por Toba Tala, depósitos piroclásticos y depósitos aluviales. Sin embargo en El Bajío se identifican espesores importantes de estratos de piroclastos gruesos -autóctonos y redepositados aluvialmente- de elevada permeabilidad, como resultado de la cercanía con el complejo volcánico que los originó. Es entonces que se asume que los estratos de piroclastos gruesos cercanos a El Colli tienden a ser más potentes y que los depósitos aluviales generados por los cauces de los arroyos que descienden de La Primavera al piedemonte, como el Arena Chica y El Arenal, son de mayor espesor.

Esta heterogeneidad se ve reflejada en la variación de la porosidad²⁰ (40% a 80%) y por lo tanto, en las condiciones de mediana a alta permeabilidad identificadas en la zona. Por lo que, siendo éstas propiedades inherentes al proceso de recarga natural, las características de infiltración y recarga de El Bajío responden a un conjunto de fenómenos hidrogeológicos muy particulares que favorecen a una alta infiltración y recarga.

²⁰ Se identifican almacenamientos de materiales piroclásticos granulares porosos que pueden alcanzar hasta los 350 m. de espesor y presentar elevada conductividad hidráulica. Estudio Geohidrológico Atemajac-Toluquilla. Guadalajara, Jal. GEOEX-SIAPA (2003).

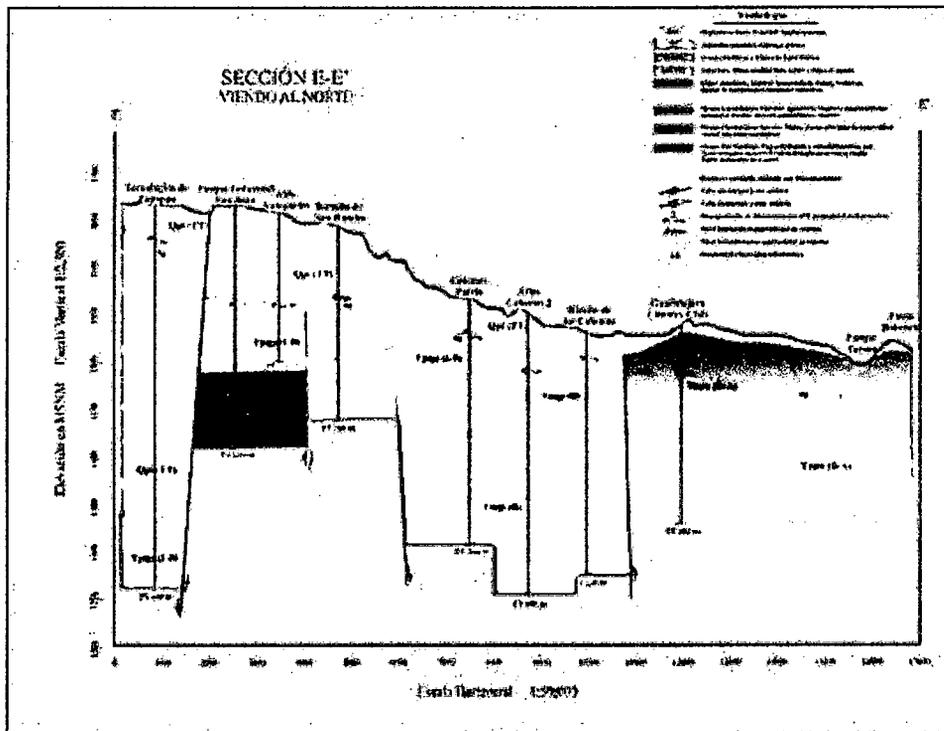


Imagen 1.3.9. Sección geológica E-E'. Se observa la interpretación de la correlación estratigráfica entre El Bajío norte y parte del acuífero de Atemajac (con base en GEOEX-SIAPA 2003).

Durante los últimos años el potencial de recarga natural de la región se ha visto alterado debido a fenómenos detonados por la urbanización y actividades de extracción de material geológico. Estos agentes de cambio, de manera sinérgica, han provocado que la recarga actual en El Bajío ya no se considere solamente de tipo natural, sino que tiene componentes de tipo artificial o inducida. Dichos agentes directos de cambio incluyen:

- La impermeabilización por construcción de edificios, estacionamientos y calles.
- Instalación de infraestructura para el suministro y drenaje del agua.
- Desvío y conducción del agua que drena a través de los cursos esporádicos naturales que escurren desde los domos de La Primavera hacia la depresión tectónica de El Bajío.
- La limitación de las condiciones de percolación del agua pluvial

- El aumento de los niveles de extracción, y de la profundidad relativa de los niveles piezométricos, sin contar con registro y control.
- En menor medida, la reducción de la cobertura vegetal que actualmente asegura la calidad del agua.

A raíz de estas modificaciones a la morfología del terreno y por ende a la recarga natural, en El Bajío se han realizados algunas adaptaciones para captar e infiltrar el agua de manera focalizada e inducida. Estas adaptaciones comprenden dos socavones, uno al norte del *estadio OMNILIFE* y otra al sur, conformados como lagunas de captación, almacenamiento e infiltración del agua. Los datos técnicos y de monitoreo de estas infraestructuras, como los detalles estructurales, la tasa de infiltración, la recarga neta, las pérdidas por evaporación y el origen (tratada, pluvial, escurrimientos, etc.) y la calidad del agua infiltrada, no se encuentran sistematizados a la fecha.

Para caracterizar adecuadamente el funcionamiento de cada uno de las estructuras de conducción del agua pluvial y de los socavones identificados en El Bajío y para reconocer los posibles efectos de estas obras en el ciclo hidrológico local y regional, es necesario realizar un monitoreo²¹ y generar la siguiente información de forma constante y permanente para evitar efectos contrarios²² para los cuales fueron diseñadas estas obras:

- ~ Capacidad de infiltración y recarga neta.
- ~ Volumen de escurrimiento
- ~ Volumen de precipitaciones sobre el sitio.
- ~ Profundidad de la recarga efectiva
- ~ Calidad del agua previa a la infiltración
- ~ Periodos de residencia
- ~ Circulación subterránea
- ~ Reacciones con la roca de caja y calidad hidrogeoquímica

La falta de monitoreo sistematizado genera también incertidumbre en cuanto a la capacidad de éstos socavones como mecanismos efectivos de recarga y manejo sustentable del agua subterránea, entendido desde un marco integral que abarque tanto la recarga, como el reúso y la retención. La falta de vinculación entre la recarga y los otros

²¹ Ver sección de monitoreo de agua subterránea.

²² Daños estructurales, alteración de la dinámica hidrológica del acuífero, contaminación del agua subterránea.

dos elementos (reusó y retención) indica que no existen evidencias que permitan concluir que en El Bajío se cuenta con una lógica de gestión que busque la maximización del aprovechamiento sustentable del agua subterránea bajo una visión enfocada en el equilibrio entre la adaptación al cambio climático, el aseguramiento al acceso equitativo al agua, el desarrollo económico y la integridad del medio ambiente.

Como ya se ha descrito, las características hidrogeológicas e hidrogeoquímicas de El Bajío han permitido una eficiente recarga natural de agua de buena calidad a lo largo del tiempo, por lo que se estima que el desarrollo de una recarga artificial técnica e integralmente planeada en esta zona no representa grandes dificultades desde un punto de vista hidrogeológico, y permitiría avanzar elementos de gestión del territorio estratégicos:

- Restauración de acuíferos sobreexplotados.
 - Conservación y/o percolación de las aguas de escorrentía y de tormentas, mejorando el control de crecidas e inundaciones en futuras zonas urbanas o de riesgo para la infraestructura.
 - Protección y mejora de la calidad del agua subterránea, aprovechando la capacidad de la zona no saturada para retener potenciales contaminantes.
 - Utilización de acuíferos como red de distribución y almacenamiento del agua (embalses subterráneos).
 - Mezcla de agua de distintas calidades, favoreciendo la mejora y el abastecimiento de fuentes mixtas de agua para uso primario
 - Tratamiento terciario de aguas residuales bajo esquemas de humedales artificiales, por ejemplo.

1.3.4.5 Fuente de abastecimiento de agua de buena calidad como resultado de los procesos de captación, escurrimiento, recarga y retención

El servicio de aprovisionamiento de agua de buena calidad para uso urbano, industrial, agrícola y de riego de ornamenta y recreación, no es un servicio cuyo origen sea un proceso aislado. Por el contrario, es un servicio que se relaciona con los servicios de escurrimiento, captación, y retención de agua y sedimentos y con el servicio de recarga y almacenamiento de grandes cantidades de agua mencionado anteriormente.

Por lo tanto su permanencia depende de la conservación de una serie de condiciones hidrológicas y geohidrológicas, así como del desarrollo de una gestión integral que vigile

los riesgos potenciales, la vulnerabilidad²³ a la contaminación y que permita fortalecer la relación entre servicio ambiental y bienestar humano.

En cuanto a la alteración de la calidad del agua subterránea, existen dos posibles causas, las anomalías endógenas o naturales, y las anomalías externas o antrópicas. Las primeras dependen de la composición de los materiales geológicos²⁴ y las últimas provienen de la infiltración inducida de un agente o sistema contaminante por derrames, riego o pérdidas, de conducciones en mal estado.

En un estudio elaborado para el proyecto del Centro JVC localizado en el Bajío del Arenal se realizaron 5 muestreos de agua subterránea, cuya finalidad fue detectar la calidad del agua y clasificarla por tipo de familias según los materiales subterráneos existentes en la ZMG. Con respecto a los resultados de los muestreos, se identificó que en la zona urbana de Guadalajara se presentan en general tres tipos de familias de agua (MIA Centro JVC):

1. Familia cálcica: obedece a la presencia de las rocas con contenido anormal de carbonato de calcio (CaCO_3), compuesto que posiblemente es de origen secundario y presente con más persistencia hacia la parte oriental de la ZMG.
2. Familia magnésica: se origina por el predominio de rocas volcánicas básicas ricas en minerales ferromagnesianos.
3. Familia sódica: grupo más abundante de las familias, cuya clasificación confirma la calidad y origen del agua subterránea, ya que el sodio (Na) es originado por el agua de lluvia de reciente infiltración. Adicionalmente se observa que el área que cubre esta familia de agua es la que tiene mayor capacidad de almacenamiento de acuerdo con la geología del subsuelo, agua que por sus características fisicoquímicas favorables se cataloga como de buena calidad y apta para consumo humano. Este tipo particular de agua es el que se encuentra dentro de la zona de El Bajío del Arenal.

En general, a pesar de que la composición de los materiales geológicos encontrados en la ZMG y en particular en El Bajío posibilitan la presencia de aguas subterráneas de buena calidad, adecuadas para el uso doméstico, industrial, la irrigación y otros usos (sin requerir de tratamiento). La experiencia en las últimas décadas ha demostrado que a pesar de contar con menos amenazas de afectación química, los cuerpos de agua subterránea no son inmunes a la contaminación. Por otro lado, la experiencia internacional y local indica que una vez contaminada el agua subterránea por agentes químicos, biológicos o radiológicos son, casi siempre, difíciles de limpiar y las

²³ Ver sección 3.1.5

²⁴ El agua al infiltrarse y transitar por el subsuelo con una velocidad de flujo laminar determinado, va liberando o aceptando iones durante el trayecto tortuoso poral, situación que modifica sus características fisicoquímicas y estructura molecular, cambios que finalmente son el reflejo de la composición química de las diferentes unidades litológicas por las cuales fluye el agua subterránea

posibilidades de remediación implican un alto costo económico (Fetter, 1999 ; Baró, Expósito et al. 2008).

Es así que la creciente urbanización y la falta de una adecuada protección del acuífero podría aumentar su vulnerabilidad y provocar la contaminación del mismo a través de:

- La infiltración de lixiviados producto de la interacción del agua de lluvia y de residuos sólidos, líquidos o lodos
- Aguas residuales transportadas por medio de conducciones y obras de drenaje defectuosas
- Descargas directas de aguas residuales domésticas o industriales y de actividades agrícolas
- Infiltración de pesticidas y fertilizantes desde jardines, parques y zonas de producción agrícola
- Operación inadecuada de pozos sépticos o de absorción que permiten el ingreso de agua superficial o agua subterránea poco profunda contaminada
- Tanques de almacenamiento subterráneo no herméticos

De las anteriores fuentes contaminantes en áreas urbanas y periurbanas se suelen percolar sustancias agentes patógenos como: nitratos o amonio, cloruros, sulfato, boro, arsénico, metales pesados, carbono orgánico disuelto, hidrocarburos aromáticos y halogenados, pesticidas, entre otros.

Es entonces importante resaltar que en la zona de influencia hidrogeológica de El Bajío en particular, la alta permeabilidad que favorece la recarga, a su vez favorece la infiltración y percolación de químicos de riesgo u otro tipo de contaminantes. La elevada conductividad hidráulica vertical, y la matriz silíceo de la zona vadosa, requieren de monitoreos específicos para la determinación de las medidas más efectivas de protección y uso de acuíferos que permitan un control efectivo del acuífero.

1.3.4.6 Servicio de alimentación y flujo a manantiales y pozos de extracción gradiente abajo

Como ya se mencionó, el agua subterránea de los acuíferos someros colgados de El Bajío aflora en distintos manantiales donde la baja topografía se interseca con el nivel freático poco profundo, como en los localizados en el bosque de Los Colomos y en el lecho sedimentario (subálveo) de los cursos de agua locales (incluyendo a las subcuencas de los arroyos La Campana y Atemajac). Este afloramiento de agua es captado a través de dos sistemas principales de galerías filtrantes y de manantiales que datan de finales del siglo XIX donde se registran caudales permanentes cercanos a los 200 litros por segundo, los

cuales tradicionalmente se han venido utilizando para abastecimiento público urbano (Clausen, Valdivia, et al. 2009).

Los sistemas de galerías cumplen la función de captar mediante la filtración a través de las paredes de ladrillo filtrantes, el agua subterránea somera que aflora en distintos manantiales localizados sobre la actual Avenida Patria y el agua subterránea que fluye a través los sedimentos del cauce (subálveo) del arroyo Chochocate. Ambas redes de captación y conducción descargan sus aguas en los dos tanques almacenadores de Colomos.

El acuífero que alimenta estos manantiales está alojado en los materiales piroclásticos porosos y en la Toba Tala que poseen intercalaciones de espesores delgados de suelos enterrados y niveles de sedimentos redepositados por acción fluvial. Es un acuífero somero colgado con condiciones libres, posee alta conductividad hidráulica y la profundidad a la que se encuentra varía entre 1 y 15 m. dependiendo de las variaciones topográficas del área. Este acuífero se recarga lateralmente a través de la infiltración del agua de lluvia en El Bajío de la Arena (López, Clausen; 2005) y éste a su vez recarga lentamente al acuífero profundo desde su sección inferior.

1.3.5 Vulnerabilidad del acuífero y protección de las fuentes de agua potable

1.3.5.1 Vulnerabilidad del acuífero a la contaminación

El agua subterránea puede contaminarse a través de la infiltración desde la superficie, por inyección de contaminantes a través de pozos de inyección (incluyendo sistemas sépticos), o por sustancias que ocurren naturalmente en el suelo o rocas por el cual fluye. El agua superficial es vulnerable a contaminación tanto por flujo en la superficie, como por la recarga de agua subterránea en cuerpos de agua superficial o corrientes de agua, diseminando la contaminación a una fuente de agua superficial (Environmental Protection Agency U.S. (EPA) 2004).

Tanto la teoría como la experiencia internacional señalan que a gran escala la evaluación del peligro de contaminación del agua subterránea y las estrategias de protección de la misma, tienen que ser promovidas por los entes reguladores del agua o del ambiente (o aquellas agencias, departamentos u oficinas de gobiernos nacionales, regionales o locales, encargados de realizar esta función). Sin embargo, es importante que la atención se focalice a la escala y nivel de detalle de evaluación y protección de fuentes de abastecimiento de aguas específicas (Foster, Hirata et al. 2002).

El estudio que permite identificar los elementos de peligro de contaminación del agua subterránea, es conocido como evaluación de la vulnerabilidad del acuífero y se sustenta en la revisión de la interacción entre los siguientes aspectos (Foster, Hirata et al. 2002):

- La vulnerabilidad a la contaminación del acuífero: consecuencia de las características naturales de los estratos que lo separan de la superficie del suelo, es decir, el entorno hidrogeológico natural.
- La carga contaminante que se aplica, será o podría ser aplicada en el medio subterráneo como resultado de la actividad humana, teniendo consecuencias adversas sobre el acuífero.

Cabe mencionar que existen 2 visiones distintas de la vulnerabilidad (Auge, 2004):

1. *Vulnerabilidad específica*: en ella se agrupa tanto el comportamiento y las características específicas del medio como el tipo y la carga del contaminante, así como el concepto de riesgo²⁵. Depende de 3 factores principales:
 - El proceso de la ingestión o inserción y el tiempo de recorrido del agua (y/o fluido contaminado) a través de la zona no saturada y en dirección hacia la zona saturada del sistema acuífero.
 - La dinámica de flujo del agua (y/o del flujo contaminado) en la zona saturada.
 - La concentración residual del contaminante una vez que éste alcanza la zona saturada, comparada con la concentración original, lo que indica la capacidad del acuífero en la atenuación del impacto del contaminante.
2. *Vulnerabilidad intrínseca*: se considera a la vulnerabilidad como una propiedad referida exclusivamente al medio (tipo de acuífero y cobertura, permeabilidad, profundidad, recarga, etc.), sin tener en cuenta la incidencia de las sustancias contaminantes. Éste tipo de vulnerabilidad es función de:
 - La inaccesibilidad de la zona saturada en un sentido hidráulico
 - La capacidad de atenuación de los estratos por encima de la zona saturada

Debido a que las definiciones de vulnerabilidad son variadas, existen diferentes metodologías utilizadas para valorar la vulnerabilidad de un acuífero a la contaminación. En esencia, la mayoría de las metodologías coinciden en determinar la vulnerabilidad en función de las características intrínsecas del medio, tales como:

²⁵ Concepto de riesgo: según Foster (1987) el riesgo es el peligro de deterioro de la calidad de un acuífero por la existencia real o potencial de sustancias contaminantes en su entorno, Vrba y Zaporozec (1994) lo definen como el peligro de contaminación del agua subterránea respecto a un contaminante o familia de contaminantes de características y comportamientos similares (nitratos, hidrocarburos livianos o pesados, plaguicidas, materia orgánica, fenoles, metales, etc.).

- ~ *Depth*-profundidad del nivel freático o piezométrico (D)
- ~ *Recharge* - recarga efectiva (R)
- ~ *Aquifer*-litología del acuífero(A)
- ~ *Soil*-tipo de sedimentos (S)
- ~ *Topography* – topografía (T)
- ~ *Impact*-litología de la sección subsaturada (I)
- ~ *Hydraulic conductivity* -conductividad hidráulica del Acuífero (C)

Algunas de las metodologías utilizadas para la evaluación de la vulnerabilidad de un acuífero son: DRASTIC, SINTACS, GOD, EPIK, EKv, $\Delta hT'$, AVI, BGR, Lixiviación de pesticidas, entre otros.

Para determinar el nivel de vulnerabilidad del caso particular del acuífero localizado en la región de El Bajío del Arenal se utilizó el método DRASTIC. Éste fue desarrollado por Aller *et. al.* (1987) para la Agencia de Protección al Ambiente de Estados Unidos (EPA) con el objetivo de evaluar la *vulnerabilidad intrínseca* de los acuíferos.

Este método se basa en la asignación de índices que van de 1 a 10, de acuerdo a las características y el comportamiento de las variables consideradas en el acrónimo DRASTIC (descritas previamente). El índice 1 indica la mínima vulnerabilidad y el 10 la máxima. Además, a cada variable se le asigna un peso o ponderación de acuerdo a la influencia respecto a la vulnerabilidad.

Para el peso ponderado se emplean índices entre 1 y 5, en donde el 5 es el mayor valor para la profundidad del agua (D) y la litología de la sección subsaturada (I), y 1 es el menor valor para la topografía (T). Ambos índices se multiplican y luego se suman los 7 resultados, para obtener un valor final o índice de vulnerabilidad, cuyos extremos son 23 (mínima) y 230 (máxima), en la práctica el índice dominante varía entre 50 y 200.

La aplicación de éste método a las condiciones particulares del acuífero localizado en el subsuelo de la región de El Bajío del Arenal, arrojó como resultado un **valor de vulnerabilidad de 179**, lo que significa según la valoración DRASTIC un **grado de vulnerabilidad ALTO**.

VULNERABILIDAD GENERAL

Grado vulnerabilidad	Valor DRASTIC
Muy bajo	23-64
Bajo	65-105
Moderado	106-146

Alto	147-187
Muy alto	188-230

Los valores de alta vulnerabilidad son consecuencia de las características geohidrológicas particulares que confluyen en la región; tal es el caso del alto nivel de recarga (entre 178 y 254 mm/año), los tipos de sedimentos, la litología del acuífero y la naturaleza de la zona no saturada (caracterizadas por el modelo como gravas y arenas), la baja pendiente topográfica (0-2%) y la alta conductividad hidráulica ($>9.5 \times 10^{-2}$). Bajo éste modelo, la clasificación del acuífero de la zona de estudio no alcanza el grado de muy alta vulnerabilidad debido a que la profundidad del mismo supera los 30 metros²⁶, lo que de alguna manera según este modelo, disminuye en cierto grado las probabilidades de que un contaminante alcance el acuífero.

Para comparar los resultados del anterior modelo, se consideraron otros modelos de medición de la vulnerabilidad como el EKv, que fue desarrollado por Auge (1995) y se enfoca en una vulnerabilidad cualitativa que únicamente incluye como variables a la profundidad y la permeabilidad vertical de la zona saturada, bajo este modelo la vulnerabilidad del acuífero obtiene un *grado de vulnerabilidad medio*, sin embargo este modelo no considera que la matriz de cenizas volcánicas presentes en esta zona posee una composición silícica, con bajas concentraciones de materia orgánica y pocas arcillas por lo que las posibilidades de atenuación natural por medios fisicoquímicos o microbiológicos son muy bajas.

Bajo el método GOD, desarrollado por Foster (1987) que considera el modo de confinamiento u ocurrencia del agua subterránea, la litología de la zona no saturada y la profundidad del agua subterránea, se obtiene una vulnerabilidad alta. Tanto a este modelo como a los anteriores habría que añadir la variable de la distancia desde la posible fuente contaminante hasta la fuente de extracción (pozos), que en este caso es muy reducida debido que en la misma zona de El Bajío en donde se presenta la recarga, también se presenta la extracción.

A pesar de que los resultados arrojan valores de alta vulnerabilidad, en la zona no se cuenta con sistemas o redes de monitoreo que a través de la recolección, análisis y almacenamiento de datos se vigile la calidad del agua, se controlen los impactos de la extracción del agua subterránea y se arrojen datos hidrogeológicos tanto de la *condición básica inicial* como de las *variaciones en el tiempo del acuífero* con el fin de garantizar la permanencia de los servicios ambientales hídricos. Estos datos, específicamente los cambios en los niveles piezométricos del acuífero y los flujos de extracción, obtenidos a partir del monitoreo permitirán a su vez reforzar y mejorar las políticas de gestión integral del agua subterránea en la región.

²⁶ Se han registrado niveles freáticos de alrededor de 90 m. por debajo del nivel del terreno y en el pozo Bajío de la Arena 5 JVC se registró un nivel estático a 56 m. de profundidad (MIA JVC)

El monitoreo de agua subterránea en El Bajío puede llevarse a cabo inicialmente a través de los pozos de extracción localizados en la región, sin embargo es importante complementar con una red de pozos dedicada exclusivamente al monitoreo que además de poner atención en el diseño técnico, la implementación del sistema y la interpretación de los datos, también promueva que los usuarios realicen un auto-monitoreo.

En este sentido, las características particulares identificadas hasta este momento en El Bajío, como es la alta vulnerabilidad a la contaminación en contraste con la importancia de los servicios ambientales hídricos (recarga y provisión de agua de buena calidad), justifican la necesidad de establecer el territorio regulado por el Plan Parcial una gestión integral apoyada en herramientas especializadas para el manejo y control del agua subterránea y la protección de fuentes de agua. Entre las herramientas de gestión se encuentran los pagos por servicios ambientales hídricos, la recarga inducida y artificial, la red de monitoreo y la protección de las fuentes.

1.3.5.2 Protección de las fuentes de agua potable

Las buenas prácticas ambientales y urbanas internacionales, como la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, (*Environmental Protection Agency, EPA*) hacen un especial hincapié en esta última herramienta, la *protección de fuentes de agua*, y define este término como “los esfuerzos para proteger abastos de agua potable, sea de agua superficial o de agua subterránea”. La protección de fuentes de abasto de agua existentes es la forma más prudente de proteger la salud pública, y mantener los costos de tratamiento a un mínimo (Environmental Protection Agency U.S. (EPA) 2004).

La EPA propone elementos de gestión para la protección de las fuentes. La primera de ellas, es la implementación de una “Evaluación de fuentes de abasto de agua” que provea información importante para llevar a cabo los programas de protección. Según la EPA, la evaluación de la fuente, para considerarse completa, tiene que incluir cuatro componentes:

- La demarcación del área a proteger (AP), que es la porción de la cuenca hidrográfica o acuífero de agua subterránea que puede contribuir con contaminantes al suministro de agua.
- La identificación de todas las fuentes significativas potenciales de contaminación (focos de contaminación) del agua potable dentro del AP.
- La determinación de la susceptibilidad y vulnerabilidad de fuentes identificadas.
- La distribución al público de los resultados de la evaluación del agua de la fuente.

De acuerdo con la EPA, si bien la evaluación de fuentes de abasto de agua es un primer paso importante para proteger la fuente de agua potable, un programa de protección

requiere estrategias para manejo en campo basados en la participación de la comunidad en general.

En Estados Unidos el Programa de Evaluación de Fuentes de Abasto de Agua no es reglamentario a nivel federal, sino que puede ser reglamentado a niveles estatales y locales. En México, no existe actualmente algún caso en el que se haya elaborado un programa de este tipo a nivel federal, estatal o municipal aunque algunos estados y municipios han implementado programas piloto (INE, 2008).²⁷ En algunos municipios del estado de Jalisco se han declarado Áreas Municipales de Protección Hidrológica, como la Barranca del río Santiago en Zapopan y el Bosque de Colomos, en Guadalajara.

En este sentido, resulta especialmente relevante destacar el proceso ya explorado por las autoridades del Estado de Jalisco para declarar a la subcuenca hidrológica Atemajac como Área Natural Protegida en la categoría de Área Estatal de Protección Hidrológica, con fundamento en la clasificación del artículo 44 de la LEEPA²⁸ y su artículo 49: “Las áreas estatales de protección hidrológica son aquellas destinadas a la preservación de ríos, manantiales y aguas subterráneas, a través de la protección de cuencas, áreas boscosas, llanuras y todas aquellas áreas que tengan impacto en las fuentes de producción y/o abastecimiento de agua”.

Se trata de un Área Natural Protegida de carácter estatal bajo la categoría de protección hidrológica, y tendría una extensión cercana a los 75 km² (7,500 has.) basándose en las dimensiones de la parte alta de la subcuenca hidrológica Atemajac, localizada en el sector norte de la Zona Metropolitana de Guadalajara, particularmente dentro de los municipios de Guadalajara y Zapopan. (Imagen 1.3.10).

²⁷ En algunos estados, sin embargo, se comienzan a presentar iniciativas que resaltan la protección de la fuente de agua potable. En el estado de Jalisco, por ejemplo, se declaró a la Sierra del Águila como Área de Protección Hidrológica.

²⁸ Ley Estatal del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente del Estado de Jalisco

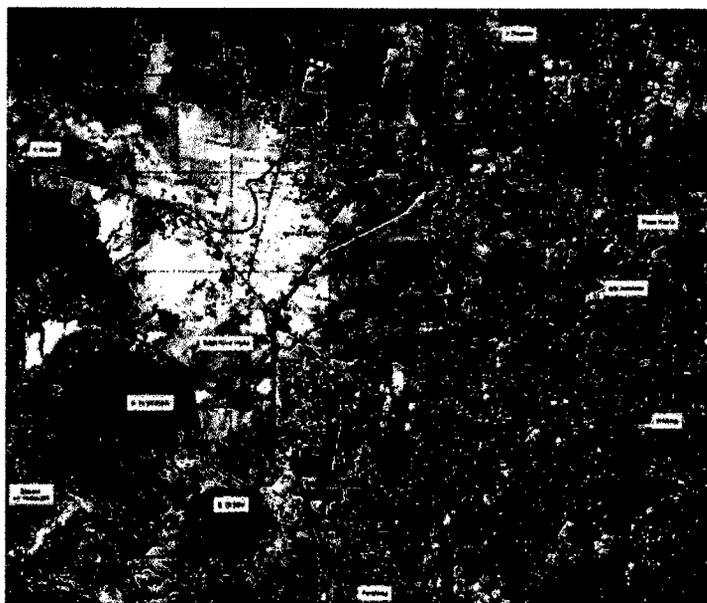


Imagen 1.3.10. Cuenca hidrográfica superficial de Atemajac (parte alta), sobre ortofotografías INEGI (SEMADES, 2009).

El polígono del Área de protección hidrológica de la subcuenca del arroyo Atemajac incluye el área del Bajío por ser una zona de gran relevancia para la infiltración de agua y debido a la relación existente entre la descarga en los Colomos y la recarga y flujo desde El Bajío, ya señalada a lo largo de este documento.

En la definición y redacción del AEPH se retoma a la letra el artículo 30 del Reglamento de Protección al Medio Ambiente y Equilibrio Ecológico para el municipio de Zapopan, el cual inclusive en su Exposición de Motivos expresa que: “Una importante función reguladora del clima zapopano desempeñan las zonas dedicadas a la explotación agropecuaria, donde principalmente se encuentran **áreas de recarga de los mantos acuíferos**, siendo de interés público cuidar que **no se contaminen los mantos freáticos** y que se asegure la importante infiltración de aguas pluviales a los mismos”.

Al respecto cabe destacar que, además de esta consideración, el Modelo de Ordenamiento Ecológico Territorial del Estado, documento técnico para el Municipio de Zapopan y su mapa, contempló la zona de El Bajío como de uso predominante agrícola (estudio escala 1:250,000 actualizado a 2008).

Siguiendo el principio de proteger la fuente de recarga, retención, conducción y abasto de agua subterránea y no solamente la zona donde aflora o de donde es extraída, en el año 2008 la Secretaría de Medio Ambiente para el Desarrollo Sustentable del estado de Jalisco, dio a conocer los alcances y los detalles hidrológicos e hidrogeológicos en los que se basaba el proyecto de Área Natural Protegida, “cuyo principal objetivo es la

recuperación y preservación del acuífero de Atemajac” (Informador Redacción/AMB 2009).

En mayo del 2009 el *Estudio geológico, geomorfológico, hidrogeológico e hidrológico para el Área de protección hidrológica de la subcuenca del arroyo Atemajac*, elaborado por consultores e investigadores de la Universidad de Guadalajara y del ITESO, fue entregado a la SEMADES.²⁹

1.3.6 Sobreexplotación, disminución de calidad y minería del agua subterránea

En el pasado, las grandes obras hidráulicas habían sido, prácticamente en su totalidad, acciones colectivas financiadas por organismos gubernamentales. Por el contrario, el agua subterránea ha sido, y continúa siendo aprovechada mayoritariamente de modo individual o por pequeñas organizaciones (Llamas, 2004).

Hasta hace 40 o 50 años, el volumen de agua subterránea extraído a través de los usuarios previamente mencionados, fue relativamente reducido, sin embargo, en el último medio siglo se han logrado grandes avances en la tecnología de perforación de pozos y en los sistemas de bombeo. Estos dos factores han contribuido a un notable abaratamiento de los costos de instalación de sistemas de extracción del agua subterránea, induciendo el aumento de esta práctica especialmente en los países áridos o semiáridos (Llamas 2004).

Desde a mediados del siglo XX, se registra ya la preocupación por controlar las extracciones de agua subterránea en México:

“Cuando la explotación de los aprovechamientos de agua del subsuelo existentes resulte perjudicial al interés público, o a dichos aprovechamientos, sea porque se pongan en peligro de agotamiento los mantos acuíferos, porque se impida o reduzca considerablemente la explotación de otros aprovechamientos, porque el uso de las aguas del subsuelo perjudique la fertilidad de las tierras, o cuando por otras causas así lo exija el interés público, la Secretaría de Recursos Hidráulicos oyendo a los interesados, propondrá al Ejecutivo la reglamentación que estime más adecuada para que la explotación se haga de manera de evitar tales prejuicios” (Diario Oficial, 3 de enero de 1948 en (Lanz Cárdenas, 1982)

La recarga del agua subterránea proviene en general de la precipitación y de los cuerpos de agua superficial, pero la tasa de extracción, depresión del nivel por acción del hombre, podría exceder la tasa de recarga natural, conduciendo a la reducción del recurso. Algunos acuíferos, especialmente en regiones áridas y semiáridas, han sido recargados en tiempos geológicos o históricos, bajo condiciones climáticas o hidrológicas diferentes a las

²⁹ Esta Secretaría habría de turnarlo a la Secretaría General de Gobierno para su análisis jurídico, luego seguiría la consulta pública y, de avanzar el proceso, el Gobernador del Estado debería emitir la declaratoria de protección.

actuales. Se suele establecer que por el tiempo de retención y flujo, parte de los acuíferos se componen de agua subterránea fósil, también conocida como paleo-aguas, que fue almacenada en largos períodos pasados en condiciones no reproducibles. La reducción de estas reservas de agua subterránea es comparable a la actividad minera, de ahí que se utilice comúnmente el término de "minería del agua subterránea".³⁰

La acelerada demanda de agua en los últimos 15 años, suplida de manera importante por la explotación de los recursos hídricos naturales, ha significado una fuerte presión sobre los acuíferos de agua subterránea. A futuro esta situación podría agravarse, como consecuencia de los nuevos requerimientos que impone el sistema de abastecimiento actual con débil énfasis en el control de la demanda y el desarrollo de mercados de agua residual tratada (INE, 2008).

En México, los ríos más caudalosos se encuentran al sur, mientras que los polos industriales están en el centro y el norte; los máximos de precipitación pluvial se localizan en el sur y en la costa de golfo, y los desarrollos poblacionales más importantes están en el altiplano mexicano; más del 60% del país presenta condiciones de áridas a semiáridas (Rodríguez and Campos 2005). Todos estos elementos complejizan aún más la disponibilidad y la distribución de recursos hídricos en México, que depende en más de 60% del agua subterránea (Rodríguez and Campos 2005).

Se documentan casos regionales críticos en relación a los riesgos relacionados con la ausencia de gestión sustentable y minería del agua subterránea, regiones donde este recurso representa un recurso importante en el abastecimiento de agua. Un caso es el Distrito Federal, donde alrededor de 1500 pozos registrados captan agua de los acuíferos del Valle de México y de la cuenca del Lerma, aportando 85% del total consumido en la capital mexicana (Global Net 2002).

Otro caso de relevancia internacional es el la Comarca Lagunera. La ausencia de una gestión adecuada del agua subterránea en la Región Laguna, en Coahuila, permitió el incremento inmoderado de perforaciones y el desordenado proceso de su explotación y uso. Un estudio geohidrológico del Acuífero Principal-Región Laguna estableció en el 2003 que la comparación entre extracción y recarga presentaba un déficit en su balance de casi 570 hm³ anuales (Valdés Perezgasga 2008). La gran tasa de sobreexplotación requirió de la CONAGUA intentar controlar esta situación a través de las siguientes medidas (Hernández Alvarado, 2008):

³⁰ En este sentido, el caso de la región Laguna, en el estado de Coahuila, es paradigmático a nivel nacional. La Laguna, enclavada en una región desértica, es una cuenca lechera que cuenta con al menos 30 establos de grandes dimensiones y alrededor de 7 establos más en construcción. Para producir cada litro de leche se emplean cerca de 2,500 litros de agua, y en esta zona lechera se producen aproximadamente siete millones de litros de leche diarios Valdés Perezgasga, F. (2008). "Transectos." Ríos del Desierto.

Participación de los usuarios en el manejo del recurso a través de la formación de un Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS) del Acuífero Principal con participación de distintos usuarios.

- Control de las extracciones a través de un programa de instalación de medidores volumétricos
- Diseño y operación de un plan de manejo ³¹

Guadalajara, la segunda ciudad más importante de México, se abastece de agua a partir de los acuíferos de Atemajac y de Toluquilla, del lago de Chapala³², de los acuíferos de Toluquilla y Atemajac y de la presa Calderón, según datos de la CEA Jalisco (Gleason 2008).

Al no existir prioridad de abastecimiento y control por calidad y potencial uso, las fuentes subterráneas de suministro de agua en Guadalajara, se encuentran sobreexplotadas, el balance del agua subterránea de los acuíferos de dónde se abastece la ciudad actualmente es negativo, es decir, los acuíferos se encuentran sobreexplotados (CEA Jalisco 2009).

El caso hídrico Guadalajara despertó el interés internacional por la compleja relación entre agua pluvial, acuíferos, inundaciones y abastecimiento de agua potable. Un proyecto de investigación interinstitucional entre universidades, centros de investigación, gobiernos locales y centros de planeación de Jalisco y de distintas regiones de Alemania compitió por fondos europeos de investigación aplicada en mega-urbes del futuro y medio ambiente. Este proyecto tiene "como propósito generar conocimientos, contextos de acción y lineamientos estratégicos para promover un más sustentable abastecimiento de agua, saneamiento y manejo de aguas pluviales" (PlaceMeg 2006).

La zona conurbada de Guadalajara se caracteriza por una tendencia sostenida de rápido crecimiento, que la posiciona entre las áreas de mayor desarrollo urbano del país (PlaceMeg 2006). El lago de Chapala, el más grande de México, ha sido una fuente importante de abastecimiento de Guadalajara por alrededor de cinco décadas. Los niveles históricos del lago de Chapala, mostrados en la "**Almacenamientos históricos del lago de Chapala 1934-2004**" (Imagen 1.3.11), presentan dos periodos críticos en el siglo pasado. El nivel más bajo se alcanzó en 1954 después de años de sequía continua y creciente demanda del agua a lo largo de la cuenca, principalmente para irrigación. El lago recuperó

³¹ Según Hernández Alvarado, en la Laguna no hay evidencias de avance en la aplicación de las medidas anteriormente mencionadas, ya que se continúa extrayendo más agua de la legalmente concesionada.

³² La proporción del suministro proveniente del lago varía de acuerdo al periodo de tiempo. En la última década ha sido entre el 50 y el 80 por ciento. (Von Bertrab, É. and P. Wester (2005). "Gobernabilidad del agua en México. La crisis de agua en Guadalajara y el destino del Lago de Chapala."

su condición después de varios años de buena precipitación. El segundo periodo de declive, que comenzó en 1979, tiene menos que ver con bajas precipitaciones y más con el hecho de que la demanda de agua a lo largo de la cuenca Lerma-Chapala ha excedido su capacidad natural de recuperación (Von Bertrab and Wester 2005). El futuro del lago de Chapala dependerá fuertemente del manejo que se le dé al agua de la cuenca en su totalidad.

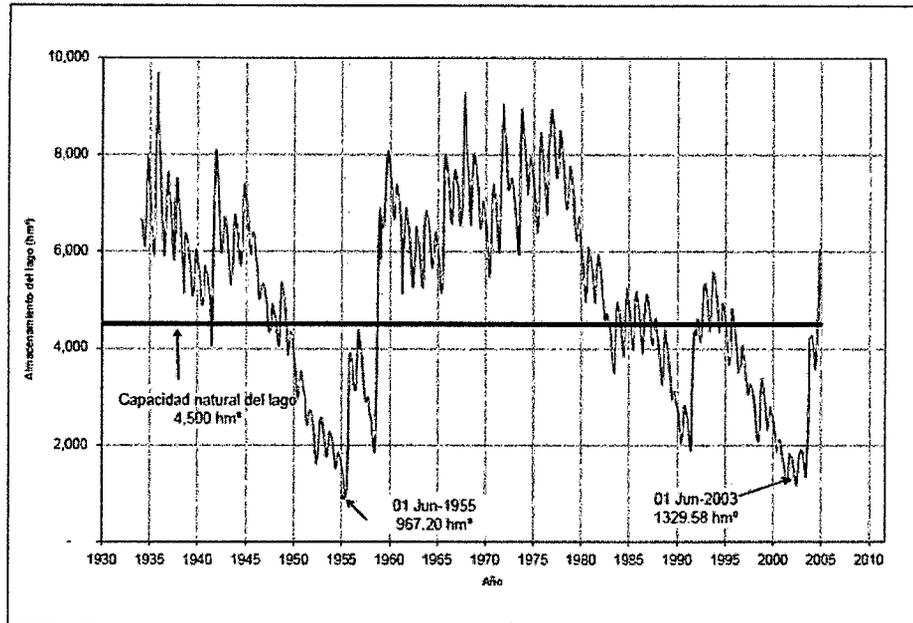


Imagen 1.3.11. Almacenamientos históricos del lago de Chapala (1934-2004) (Von Bertrab and Wester 2005)

Queda claro que dado el nivel actual de dependencia que tiene Guadalajara con el lago de Chapala, el abastecimiento a futuro de la ciudad estará condicionado a un manejo integral y más sustentable del lago y del resto de los recursos hídricos. Por otro lado, los años húmedos y de elevado nivel del agua superficial del agua, como fue el caso del año 2010, representan una oportunidad relevante con respecto a la recarga artificial de acuíferos. Siguiendo casos y buenas prácticas internacionalmente reconocidas, en los años húmedos, el agua potabilizada del Lago de Chapala adecuadamente gestionado, representa una fuente de agua para recargar acuíferos mediante técnicas como las propuestas por la Organización Mundial del Agua Subterránea, la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (International Association of Hydrogeologist, IHA) en espesores granulares propicios (IAH Commission on Management of Aquifer Recharge, 2009). Uno de los sectores de la zona periurbana actual de la ZMG de buen potencial geológico e hidrogeológico para la recarga inducida y artificial es El Bajío.

En este contexto, el agua en Guadalajara no se limita a su aspecto cuantitativo de abastecimiento y consumo. Los criterios de calidad que debe cumplir según su uso (agua potable, industrias alimentarias, uso recreativo, conservación de flora y fauna, uso agrícola e industrial, entre otros) complejiza el aspecto cualitativo del abastecimiento (Gloobal Net 2002).

El consorcio internacional de investigación del Placemeg generó resultados que destacaron, por ejemplo, que la naturaleza de la administración del agua en Guadalajara, las incertidumbres alrededor el marco institucional y las limitaciones de conceptualización convencional de un gran sistema técnico requiere de un nuevo enfoque de gestión y administración de los recursos hídricos (PlaceMeg, 2006).

1.3.6.1 Balance de aguas subterráneas en la ZMG y El Bajío

El balance hídrico es una aplicación del principio de conservación de masa, también llamada ecuación de la continuidad, a una región dada con determinadas condiciones de contorno. Se deben determinar el total de entradas y de salidas, cuya diferencia será igual al cambio de almacenamiento de agua en el acuífero. Para realizar un balance se deberán medir los flujos de agua (caudales) y almacenamientos (niveles). Con una selección adecuada de la región y del período de tiempo, algunas medidas y términos pueden suprimirse (GEOEX-SIAPA 2003).

Al realizar un balance, se miden independientemente cada uno de los términos de la ecuación de balance. Algunas veces se tienen errores inevitables, por falta de medidas suficientes o de una metodología adecuada, por lo que existe un error de cierre, en función de los errores en los diferentes términos (Custodio and Llamas 1996).

1.3.6.2 Balance de aguas subterráneas del acuífero Atemajac

Un acuífero tiene recargas, descargas y almacenamiento. Entre otros factores las recargas son producto de la infiltración y las descargas de la evapotranspiración y de la extracción directa del acuífero por medio de pozos de bombeo. Interactuando éstas dos últimas en un determinado tiempo, ocurre una variación de volumen o masa del almacenamiento. El balance de un acuífero tiene como objetivo principal la determinación del volumen de recarga (GEOEX-SIAPA 2003).

A continuación se presenta el balance oficial más reciente de aguas subterráneas del acuífero Atemajac, reportado el 28 de agosto de 2009 en el Diario Oficial de la Federación, con datos correspondientes a una fecha de corte en el Registro Público de Derechos de Agua al 30 de septiembre de 2008 (Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) - Subdirección General Técnica -Gerencia de Aguas Subterráneas- Subgerencia de Evaluación y Ordenamiento de Acuíferos 2009).

Entrada horizontal de agua subterránea

Estas entradas están representadas en parte por el flujo subterráneo horizontal (Eh) provenientes de la zona de recarga en un frente de 18.10 km, localizado en las estribaciones de la sierra de La Primavera al oeste de la Zona Metropolitana de Guadalajara. Las entradas horizontales (Tabla 1.3.1) resultaron en 0.1358 m³/s, o bien, **4.2 hm³/año** (Millones de metros cúbicos anuales), mediante las curvas equipotenciales de máximo valor, las transmisividades y canales de entrada considerados (planos y tablas de los estudios de Ariel y Lesser).

Tabla 1.3.1. Entradas horizontales.

Canal	Longitud (m)	Gradiente (m)	Transmisividad (m ² /s)	Gasto (m ³ /s)
1	4800	0.0031	0.0005	0.0074
2	3300	0.0091	0.0005	0.0150
3	3000	0.0125	0.001	0.0375
4	2900	0.0105	0.001	0.0304
5	4100	0.0111	0.001	0.0455
Sumas	18100			0.1358

Continuando con las entradas, se tiene también la recarga vertical (Rv), que para este caso se considera como incógnita, por ser el parámetro más inconsistente en su determinación.

Recarga inducida

Se tienen aportaciones por fugas de los sistemas de agua potable y alcantarillado de la zona metropolitana de Guadalajara (Rpap y Rpd); la correspondiente a infiltración por pozos de absorción (Rpa), construidos desde hace muchos años, tanto en las casas, como en la vía pública y áreas ajardinadas, que a la fecha es obligatorio por el reglamento de construcción municipal. Por otra parte se tienen las aportaciones por excedentes de agua de regadío (Rrr). Todos estos parámetros se describen a continuación.

El abastecimiento de agua potable a la ZMG incluye 7.5 m³/s del Lago de Chapala, 3.0 m³/s de pozos del SIAPA y 0.30 m³/s de pozos de fraccionamientos como organismos operadores particulares. Tomando en cuenta el estudio de evaluación de pérdidas en el sistema de distribución de agua potable de la ZMG, realizado por el SIAPA en 1994, se considera un 42.98% de pérdidas y aplicando el coeficiente de infiltración Ci = 0.10, el caudal que contribuye a la recarga del acuífero resulta 0.4642 m³/s o sea un total de **14.6 hm³/año** (Millones de metros cúbicos anuales). No se consideró el suministro de la presa Calderón (1.5 m³/s) ya que la zona que abastece se localiza al norte de la ZMG, la red es relativamente nueva y el terreno donde se aloja es poco permeable.

En cuanto a las fugas por la red de alcantarillado, a los 10.8 m³/s de abastecimiento del SIAPA le sumamos 0.989 m³/s de autosuministro de las industrias y al total 11.79 m³/s le restamos 4.64 m³/s de las pérdidas del sistema de agua potable; al resultando 7.15 m³/s le aplicamos el 60% correspondiente a las descargas a la red de alcantarillado y de éste el 10% representa la cantidad que se fuga por las juntas de la tubería (0.429 m³/s), por último, a este valor le aplicamos el coeficiente de escurrimiento Ci= 0.10, obteniendo Rpd= 0.0429 m³/s, o sean **1.3 hm³/año** (Millones de metros cúbicos anuales).

Las recargas por pozos de absorción (**Rpa**) se determinaron a partir de aplicar los valores de las pruebas de permeabilidad (L/min) o de absorción (L/s/m²) en el espesor no saturado, constituido por arenas, limos, jales y gravillas. Aplicando la relación de Darcy $Q = KAi$, donde Q es el gasto estabilizado en los pozos de prueba, (i) el gradiente hidráulico unitario, al área transversal del flujo vertical, el cual depende del radio efectivo del pozo de absorción, habiéndose considerado en promedio las siguientes características: 70 cm. de radio, 8 m. de profundidad total, 6.5 m. de profundidad efectiva y la conductividad hidráulica promedio ($k = 0.003$ m/s); obteniendo $Q = 3.1416 \times (0.7 \times 0.7) \times 0.003 = 0.0046$ m³/s por los 6000 pozos en operación en el año de 1990 y por 60 tormentas con duración de 30 minutos, se determinó una recarga de **2.9 hm³/año** (Millones de metros cúbicos anuales).

Los retornos de riego (**Rrr**) no se consideran por ser mínima la superficie bajo riego y por considerar que la evaporación absorbe las excedencias de riego pesado o de demasías.

Evapotranspiración

En este acuífero se considera que no se tienen pérdidas por evapotranspiración ya que la única zona donde se tienen niveles estáticos someros (0 a 3 m.), es en las inmediaciones del parque Agua Azul y la mayor parte de la superficie del terreno no conserva su condición original, pues se cubrió con la carpeta asfáltica de la ciudad, además de que el área es muy pequeña, despreciándose este parámetro.

Manantiales (Sm)

Como salida del acuífero se consideraron las descargas por manantiales (Tabla 1.3.2). Se consideran aproximadamente de 529 L/s, o bien, **16.7 hm³/año** (Millones de metros cúbicos anuales).

Tabla 1.3.2. Salidas por manantiales.

Nombre	Gasto (L/s)	Nombre	Gasto (L/s)
Colomos 1 y 2	234	Irene Robledo	2.7
La experiencia	50	Parque Tucson	7.28
Las pilitas 1**	15	El Chorrillo	0.9
Las pilitas 2**	5	Lavado de Carros	0.53
Las pilitas 3**	4	Caja de agua	11.08
Las pilitas 4	3	Vía FFCC y C. Oleoducto	10.65

Las pilitas 5	2	Ricardo Flores Magón	6.59
Las pilitas 6	1	Manantial Alberta	7
Belisario-R. Janeiro	3.27	La Jollita	2.05
Ojo de agua Osorio	2	1º de Mayo	23.41
Los Camachos 1,2,3	22.93	San Eugenio	0.48
Oblatos**	6	Plaza Polanquito	2.13
Agua Caliente	25	Baños Oblatos	7.18
La Soledad**	12	Sta. Cruz de las Huertas	5.05
San José	7	Manantial Tonalá	7.88

Bombeo (B)

Los usuarios potenciales son los organismos operadores de agua potable y los industriales, después los agrícolas, servicios, pecuario, múltiples y al final el doméstico. El mayor número de aprovechamientos se tiene en el municipio de Guadalajara, en segundo orden en el de Zapopan, seguido por el de Tlaquepaque y finalmente en Tonalá. La extracción total a través de 1509 aprovechamientos es del orden de **159.5 hm³/año** (Millones de metros cúbicos anuales).

Salidas horizontales (Sh) (Tabla 1.3.3). Esta descarga está representada por las salidas hacia el río Santiago en la Barranca de Oblatos, interpretada por la forma de las curvas de menor valor en el plano de curvas de flujo subterráneo de 1990, considerando los canales 1 a 5 del plano N° VI-10 y Transmisividades plano VI-8 del Estudio de Ariel Consultores, S. A de C. V, resultando 0.286 m³/s, o sea, **9.0 hm³/año** (Millones de metros cúbicos anuales).

Tabla 1.3.3. Salidas horizontales.

Canal	Longitud (m)	Gradiente (m)	Transmisividad (m ² /s)	Gasto (m ³ /s)
1	3600	0.004000	1.0	0.0144
2	2700	0.013636	1.0	0.368
3	4200	0.010000	1.0	0.0420
4	2900	0.004167	1.0	0.0121
5	5800	0.002632	1.0	0.0153

Cambio de Almacenamiento (ΔS)

Este factor se determinó a partir del plano VI-4 del estudio Ariel Consultores, S. A. de C. V. de 1990 de curvas de evolución de los niveles estáticos del agua subterránea correspondientes a un intervalo de tiempo de 16 años 1981 de Geocalli y 1997 de Lesser, elaborado por la Subgerencia Técnica Regional y adoptando un coeficiente de almacenamiento de 0.13, se determinó un volumen drenado Vd= -37.9 hm³/año (Millones de metros cúbicos anuales), aplicado a una área de 145.78 km² un abatimiento promedio de 2.0 m/año.

Ecuación de balance

Cambio de almacenamiento del acuífero = Recarga (suma de entradas) Total de - Descarga Total (suma de salidas)

Entradas

Eh = 4.2 hm³/año

Rv = Incógnita

Rpap = 14.6 hm³/año

Rped = 1.3 hm³/año

Rpa = 2.9 hm³/año

Salidas

B = 159.5 hm³/año

M = 16.7 hm³/año

Sh = 9.0 hm³/año

Aplicando la ecuación de balance: Rv = 185.2 – 23.0 – 37.9 = 124.3 hm³/año.

La recarga total resulta en: 23.0 + 124.3 = **147.3 hm³/año**

En la Tabla 1.3.4, se presenta un resumen con los datos del balance de aguas subterráneas:

Tabla 1.3.4. Balance de aguas subterráneas para el acuífero de Atemajac.

Recarga natural por lluvia	124.3 hm ³ /año
Entradas horizontales	4.2 hm ³ /año
Total de recarga natural	128.5 hm ³ /año
Recarga inducida (público urbano)	14.6 hm ³ /año
Recarga inducida por pozos de absorción + otros	4.2 hm ³ /año
RECARGA TOTAL	147.3 hm³/año
Salidas horizontales	9.0 hm ³ /año
Extracción total	159.5 hm ³ /año
Manantiales	16.7 hm ³ /año
DESCARGA TOTAL	185.2 hm³/año
Cambio de almacenamiento	-37.9 hm ³ /año

Disponibilidad de agua subterránea

Disponibilidad de agua subterránea en unidad hidrogeológica (Disp)	=	Recarga media (Rtma)	total anual	-	Descarga natural comprometida (Dnc)	-	Volumen concesionado de agua subterránea (Vconc)
--	---	----------------------	-------------	---	-------------------------------------	---	--

Recarga total media anual (Rtma)

Es igual a la suma de recargas consideradas (23.0) más la recarga vertical (124.3) determinada en la ecuación de balance que se planteó y para un intervalo de un año, resultando igual a **147.3 hm³/año** (Millones de metros cúbicos anuales).

Descarga natural comprometida (Dnc)

Es la suma de volúmenes de agua concesionados (utilizados) de los manantiales y del caudal de los ríos alimentados por una unidad hidrogeológica, que están comprometidos como agua superficial para diversos usos y de las descargas que deban de conservarse para no afectar unidades hidrológicas aguas abajo o destinados para sostener el gasto ecológico. $Dnc = 9.0 + 16.7 = 25.7 \text{ hm}^3/\text{año}$ (Millones de metros cúbicos anuales).

Rendimiento permanente (Rp)

Se le denomina a la recarga total media anual menos la descarga natural comprometida. $Rp = Rtma - Dnc = 147.3 - 25.7 \text{ hm}^3/\text{año} = 121.6 \text{ hm}^3/\text{año}$ (Millones de metros cúbicos anuales).

Volumen concesionado de aguas subterráneas (VConc)

Se determinó sumando los volúmenes de agua asignada y concesionada por CNA, mediante títulos registrados en el REPDA. Para el caso de este acuífero la información proporcionada por la Subgerencia de Administración del Agua al 31 de mayo de 2005 es de $123.013137 \text{ hm}^3/\text{año}$.

Disponibilidad de aguas subterráneas (Disp)

Es la determinación de volúmenes medios anuales de agua disponibles, que tendrán derecho a explotar, usar o aprovechar los interesados, adicional a la extracción ya concesionada y a la descarga natural comprometida, sin poner en peligro los ecosistemas.

$$\text{Disponibilidad} = Rp - V\text{Conc} = 121.6 - 123.013137 = - 1.413137 \text{ hm}^3/\text{año}$$

El valor indica que no existe disponibilidad de aguas subterráneas. Por lo tanto, “no podrán otorgarse nuevas concesiones o asignaciones para extraer volúmenes adicionales, a fin de lograr la estabilización del acuífero mediante el manejo racional del recurso” (Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) - Subdirección General Técnica -Gerencia de Aguas Subterráneas- Subgerencia de Evaluación y Ordenamiento de Acuíferos 2009).

1.3.6.3 Comparación de resultados de distintos balances recientes

A continuación se presenta la **Tabla 1.3.5** que muestra los resultados obtenidos en los estudios de GEOEX (1996) y GEOEX (2003) con el fin de comparar los resultados presentados anteriormente, de 2008.

Tabla 1.3.5. Comparación de resultados del acuífero Atemajac (Mm³)

Datos	Eh	Rv	Sh	$\pm \Delta S$
GEOEX (1996)	133.835	230.739	- 116.236	248.339

GEOEX (2003) ³³	43.450	42.166	- 123.796	- 38.180
CONAGUA (2008)	4.2	124.3	- 9.0	- 37.9

De lo anterior se destaca la variabilidad de resultados sobre el recurso estratégico agua subterráneo. Siendo El Bajío un sector territorial importante en la dinámica del acuífero, se destaca que para su gestión sustentable, es necesario realizar estudios hidrogeológicos precisos con el fin de establecer un completo diagnóstico ambiental, social y económico del acuífero.

Con base en la mejor información hidrogeológica local se pueden establecer las líneas estratégicas de acción para la gestión del agua subterránea y territorio, proporcionando los elementos para la regularización específica y sustentable de la recarga, la vulnerabilidad y los aprovechamientos (IAH, 2010). La toma de decisiones deberá tomarse sobre un esquema de manejo adaptativo, sostenida por monitoreo periódico específico; en el marco de la integración y sustentabilidad del acuífero y la zona de El Bajío en el marco institucional del Banco del Agua existente en el ámbito de gestión del Organismo de Cuenca Lerma Santiago Pacífico, con el fin de transparentar y proporcionar seguridad y certeza jurídica, motivando a los usuarios a realizar operaciones reguladas de transmisión de derechos ante la autoridad del agua y contribuyendo a un desarrollo compatible con el carácter estratégico del recurso hídrico.

1.3.6.4 Sobreexplotación de los acuíferos en la ZMG

El acelerado crecimiento demográfico e industrial de los asentamientos que alberga la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG) y zonas urbanas aledañas, generan demandas cada vez mayores de agua para satisfacer múltiples necesidades, incluyendo el uso público urbano, demandas que debido a la insuficiencia de fuentes superficiales, deben ser satisfechas mediante el aprovechamiento de agua subterránea (Comisión Estatal de Agua y Saneamiento CEAS Jalisco 2004).

La sobreexplotación de los acuíferos provoca que el nivel de agua baje, que cambie la consistencia del suelo y la capacidad de carga que tiene éste para sostener lo que se encuentra sobre el mismo provocando hundimientos o agrietamientos (Comisión Estatal de Agua y Saneamiento CEAS Jalisco 2004).

Según un artículo del Instituto Nacional de Ecología, el volumen total extraído a nivel nacional supera al volumen concesionado en 80% de los casos (Ávila, Muñoz et al. 2005)

³³ Información sobre cómo fueron calculados a detalle cada uno de los términos del balance geohidrológico de la cuenca de Atemajac elaborado por GEOEX y el SIAPA, se incluye en *Anexos*.

Como se mencionó anteriormente en este documento, la principal fuente de recarga a nivel regional es el agua de lluvia y la escorrentía superficial; pero es importante señalar que la fuente de descarga con mayor crecimiento es la extracción por bombeo. El movimiento del agua subterránea que ocurría naturalmente de oeste a este, se ha modificado, formando notables e irregulares conos de abatimiento en distintas partes del acuífero que controlan líneas de flujo subterráneo en importantes zonas de acuífero de Atemajac (López, Clausen, et al. 2005).

El acuífero de Atemajac puede ser analizado a través de herramientas de gestión propuestas por Banco Mundial (BM). De acuerdo a lineamientos del Banco Mundial³⁴, las etapas de desarrollo y necesidades de gestión en un acuífero importante se clasifican de la siguiente manera (Banco Mundial, Tuinhof et. al. 2002-2006):

- **Etapas 0 - Situación de partida:** La disponibilidad y accesibilidad de agua subterránea con suficiente cantidad y calidad exceden ampliamente la demanda pequeña y dispersa.
- **Etapas 1 - Estrés incipiente:** Incremento de bombeo del acuífero, pero pocos usuarios.
- **Etapas 2 - Estrés importante:** Expansión rápida de extracciones con impactos en el régimen natural y fuerte dependencia de varios grupos interesados en el recurso.
- **Etapas 3A - Desarrollo inestable:** Extracción excesiva incontrolada con deterioro irreversible del acuífero y conflictos entre grupos interesados.
- **Etapas 3B - Desarrollo estable muy intenso:** Extracción intensa, pero con equilibrio firme entre grupos interesados competitivos y necesidades ambientales.

De acuerdo con esta clasificación, se consideraría que el acuífero de Atemajac se encuentra en la **Etapas 2 - Estrés importante**, ya que se presume que el acuífero no ha llegado a un deterioro irreversible, pero se sabe que la rápida expansión de las extracciones está teniendo un serio impacto en el régimen natural.

La zona que ocupa el acuífero de Atemajac se encuentra vulnerable y amenazada por factores de perturbación antrópica que inciden tanto en la calidad de sus aguas como en el riesgo de sobreexplotación que sufre en los distintos periodos (Clausen, Valdivia et al. 2009). El acuífero libre de la subcuenca de Atemajac está prácticamente agotado existiendo aún reservas en el acuífero semiconfinado inferior emplazado en rocas volcánicas fracturadas pre-Tala. De acuerdo a los resultados del balance de aguas subterráneas del acuífero de Atemajac, se calculó un cambio de almacenamiento medio

³⁴ Nota 1 «Gestión de Recursos de Agua Subterránea» de la Serie de Notas Informativas del GW-MATE: The Groundwater Management Advisory Team (Equipo Consultivo de Gestión del Agua Subterránea).

anual negativo de 3.65 Mm^3 , lo cual implica un abatimiento medio anual del nivel estático de -2.21 m . Situación que evidencia el grado de deterioro continuo que presenta actualmente el acuífero (GEOEX-SIAPA 2003). Esta situación requiera de nuevas formas de reglamentar la transmisión de derechos de aguas subterráneas, así como optimizar el control de extracción del recurso en todos sus usos (PlaceMeg,2006). Se hace necesario, antes de que el grado de deterioro de este acuífero que aloja aguas de buena calidad para usos diversos sea irreversible, establecer un régimen de protección preventiva y de uso sustentable de estas reservas hídricas estratégicas (Clausen, Valdivia et al. 2009).

1.3.6.5 Censo de aprovechamientos

Según el Plan Parcial de Protección Hidrológico de Colomos, en la cuenca hidrológica de Atemajac existen aproximadamente 1,220 obras de abastecimiento, de los cuales 784 son pozos y 423 norias. En la sección de *Anexos* se presenta la tabla con los aprovechamientos existentes dentro de la subcuenca de Atemajac (considerando la delimitación de la subcuenca hidrológica superficial). Asimismo se muestran sus características principales en cuanto a su tipo (pozo o noria) y ubicación. Es posible que exista un mayor número de aprovechamientos y que no se tienen registrados por ser irregulares o porque no se permitió el acceso para su censo (GEOEX-SIAPA, 2003).

En la Imagen **Aprovechamientos registrados en CONAGUA** (Imagen 1.3.12) se puede observar la ubicación y distribución espacial de algunos de los aprovechamientos dentro de la zona de influencia hidrogeológica de El Bajío (Clausen, Valdivia et. al. 2009).

Los pozos y norias de abastecimiento censados en el valle de Atemajac–Tesisán, alcanzan profundidades de hasta 500 m, con niveles estáticos medidos a profundidades de hasta 150 m. Pozos y norias que en general presentan caudales muy variables de 2 a 83 L/s, con predominio de gastos superiores a 15 L/s (GEOEX-SIAPA, 2003).

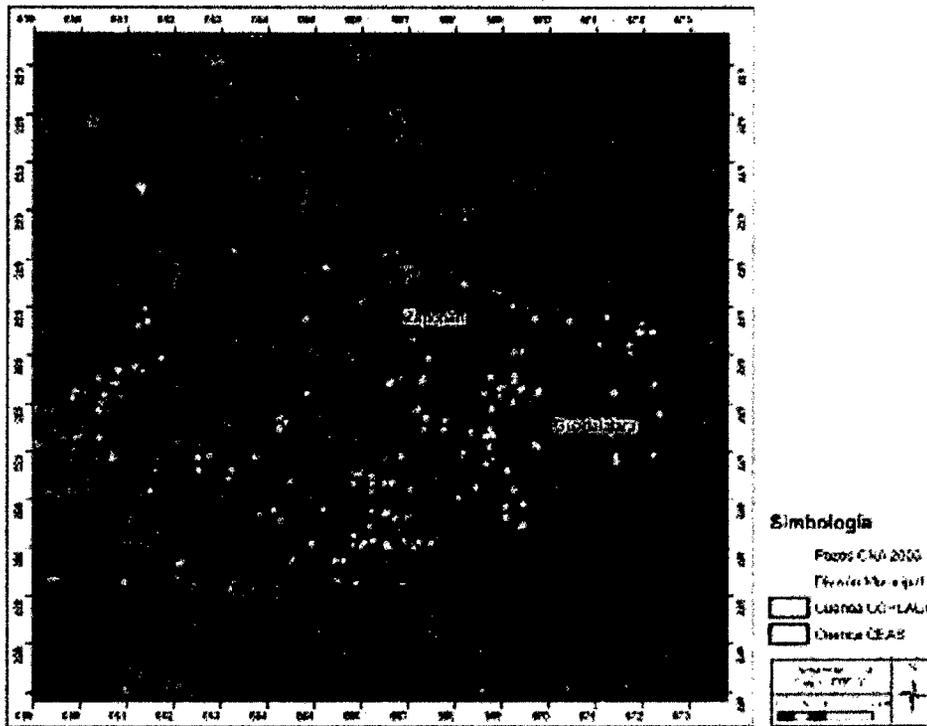


Imagen 1.3.5. Aprovechamientos registrados en CONAGUA dentro de la parte alta de la subcuenca del arroyo Atemajac.

1.3.8 Tendencias de protección y gestión sustentable del agua subterránea

1.3.8.1 Gestión Integral del agua subterránea

La gestión sustentable del agua o también conocida internacionalmente como la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH), es un proceso de promoción del manejo y gestión coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados, que pretende ser una herramienta flexible para abordar los desafíos relacionados con el agua y optimizar la contribución de este recurso en el camino del desarrollo sustentable (Global Water Partnership (GWP), 2008).

La GIRH puede abordarse como una estrategia para evitar o resolver conflictos relacionados con los recursos hídricos, tanto superficiales como subterráneos y para lograr 3 objetivos clave en relación con el agua: *equidad, eficiencia, sostenibilidad*.

Dentro de la GIRH, de acuerdo a los lineamientos internacionales es importante que la gestión de los recursos hídricos contemple una visión que integre la dinámica del agua subterránea y superficial, debido a que forman parte de un mismo ciclo hidrológico y mantienen una relación directa entre sí (Banco Mundial, H. Garduño, et al. 2002-2006). Desafortunadamente, dentro del Bajío no existe información suficiente y actualizada sobre su hidrología subterránea y superficial, que permita generar un modelo conceptual claro y preciso sobre la dinámica del agua en la región. No existe un acervo de datos

cuantitativos georreferenciados sobre la distribución, calidad, captación, escurrimientos, extracción, recarga, entre otros parámetros hidrológicos importantes, que ayuden a formular propuestas de gestión integral del recurso hídrico en la zona.

Los acuíferos cuentan con un gran valor ambiental, que brindan agua de la mejor calidad a aproximadamente la mitad de la población mundial (Umbría, 2009) y son las principales reservas de agua dulce aprovechable dentro de los centros de población. Además son sistemas capaces de almacenar corrientes y/o escurrimientos de agua superficial, que en determinado momento puede ser utilizada para amortiguar la variabilidad de la disponibilidad del agua superficial y los ciclos de sequía. Sin la existencia de este recurso hídrico, muchos centros grandes de población no existirían como tales, o por lo menos no lograrían abastecer la demanda de agua para sus poblaciones. Según datos del Banco Mundial (Banco Mundial, Foster et. al. 1998) las aguas subterráneas juegan un papel esencial en el bienestar económico y social de muchas urbes del mundo, pues más 150 millones de habitantes en América Latina dependen directa o indirectamente de manantiales, pozos y norias, que han sido preferidas como fuentes del recurso hídrico por las redes de abastecimiento de agua potable a causa de sus costos relativamente bajos y su alta calidad. Estas dos últimas características que la convierten en un recurso ambiental muypreciado, a la vez también la convierten en un recurso vulnerable, ya que propician el incremento de su demanda y por consecuente, su explotación para usos privados domésticos, agrícolas e industriales. Esta amenaza puede verse reflejada en El Bajío como en otros sitios relevantes para la recarga y la protección de los acuíferos, ya que su próxima urbanización traerá consigo un incremento en la demanda del recurso hídrico, y en consecuencia, un aumento en la extracción de agua y en la instalación de nuevos pozos de aprovechamiento.

A pesar de este precedente y de los planes próximos de urbanización en El Bajío, no existen indicios claros de que se estén considerando dentro de la administración actual del agua las bases que dictan los organismos que a nivel internacional se encuentran en la vanguardia de la gestión sustentable del agua subterránea en zonas urbanas. Este tipo de organismos, además de establecer los lineamientos sobre la GIRH, han desarrollado herramientas útiles para que las instituciones responsables de la administración de los recursos hídricos emprendan acciones que fomenten este nuevo modelo de gestión.

Algunas de los elementos base para la GIRH propuestos por el Banco Mundial, que no se han incluido dentro de la administración actual del agua subterránea en El Bajío y sus proximidades, se presentan en la imagen 1.3.14.

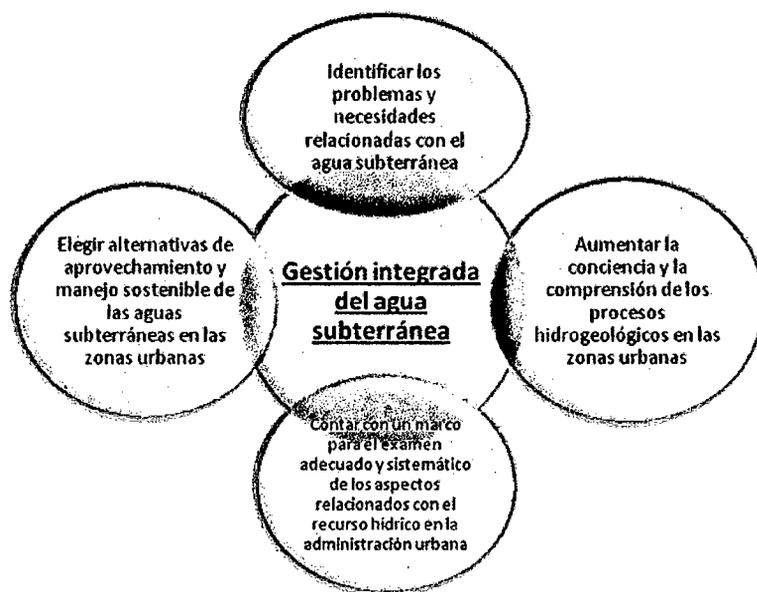


Imagen 1.3.6. Puntos base para la Gestión integral de recursos hídricos subterráneos de acuerdo al Banco Mundial (Banco Mundial, Foster et al. 1998).

Para lograr los puntos presentados en la figura anterior en la gestión actual del agua se requiere de un esfuerzo mayor a los que se realizan actualmente, en el que se consideren la modificación y aplicación de nuevas herramientas legislativas, económicas, políticas y de participación ciudadana, en las que participen todos los actores involucrados (las autoridades responsables de la administración del recurso, los usuarios, concesionarios, desarrolladores urbanos y los expertos en el tema del agua), y se encuentren basadas en los lineamientos y mejores prácticas internacionales, para asegurar que las acciones realizadas dentro de la zona se dirijan hacia la GIRH.

Otros elementos guía que a nivel mundial se han establecido como principios rectores para la GIRH, son los Principios de Dublín (Moriarty, P., Butterworth, J., Batchelor, C., 2006), los cuales fueron formulados en 1992 durante la Conferencia de Dublín³⁵ (Ver Tabla 1.3.6).

³⁵ Conferencia internacional que precedió a la primera Cumbre de la Tierra sobre el Desarrollo Sostenible (Río de Janeiro, 1992). Este evento puede considerarse como el parteaguas que determina a la GIRH como la contribución de la comunidad del agua al diálogo del desarrollo sostenible.

Tabla 1.3.6. Los principios de Berlín (Moriarty, P., Butterworth, J., Batchelor, C., 2006)

Principios de Dublín	
Principio 1: <i>El agua dulce es un recurso finito y vulnerable, esencial para sostener la vida, el desarrollo y el medio ambiente</i>	<p>Requiere de:</p> <ul style="list-style-type: none"> •Un enfoque holístico que concilie el desarrollo económico y social, y la protección de los ecosistemas naturales. •Una gestión eficaz que establezca una relación entre el uso del suelo y el agua a lo largo de una cuenca hidrológica o un acuífero.
Principio 2: <i>El desarrollo y la gestión del agua debe basarse en un enfoque participativo, involucrando a los usuarios, los planificadores y los responsables de las decisiones a todos los niveles</i>	<ul style="list-style-type: none"> •Promover mayor conciencia de la importancia del agua en los responsables de las políticas y público en general. •Que las decisiones se tomen en el nivel más bajo apropiado: consultas públicas y participación de los usuarios en la planificación e implementación de los proyectos del agua.
Principio 3: <i>La mujer desempeña un papel fundamental en el abastecimiento, la gestión y la protección del agua</i>	<ul style="list-style-type: none"> •Políticas que empoderen a la mujer para que participe en todos los niveles de los programas de recursos hídricos.
Principio 4: <i>El agua tiene un valor económico en todos sus diversos usos en competencia y debería reconocérsele como un bien económico</i>	<ul style="list-style-type: none"> •Reconocer ante todo el derecho fundamental de todo ser humano a tener acceso al agua pura y al saneamiento por un precio asequible. •La gestión del agua, en su condición de bien económico, es un medio importante para lograr el uso eficaz y equitativo del agua, y de alentar la conservación y protección de los recursos hídricos.

En la fecha de elaboración de este Plan Maestro no existieron evidencias de que la gestión del agua subterránea local se estuviera adaptando a las características del territorio, hidrológicas y socioeconómicas particulares de El Bajío como en el acuífero de Atemajac en general³⁶. Por otro lado, no se registró información que documentara tendencias de implementación de buenas prácticas para la mejora de la relación del territorio de Zapopan y la administración de los recursos hídricos.

³⁶ Los lineamientos y guías internacionales no pueden ser tal cual la solución para todos los casos ya que cada situación hidrogeológica requiere de un enfoque diferente debido a que sus variables y actores son distintos. El agua subterránea es un recurso bastante complejo, pues sus características hidrológicas son muy peculiares y específicas de acuerdo a las condiciones geológicas, económicas y socio-ambientales de cada acuífero.

Además de estos cuatro principios clave, existen diversas guías que han desarrollado las instituciones internacionales especializadas en la gestión sustentable del agua. Una de estas guías es el proyecto del Centro Internacional de Agua Potable y Saneamiento³⁷ (IRC) llamado *Enfoques prometedores en la gestión de los recursos hídricos en el sector de agua y saneamiento* (en Visscher et al, 1999), el cual contiene puntos de trabajo útiles para la GIRH en el sector agua y saneamiento (Moriarty, P., Butterworth, J., Batchelor, C., 2006) que no se han considerado para el manejo de los recursos hídricos en la región:

- 1- La gestión de la zona de captación y la protección de la fuente para asegurar la sostenibilidad del abastecimiento.
- 2- El uso eficiente del agua y la gestión de la demanda para minimizar la necesidad de desarrollar nuevas fuentes.
- 3- Reconocer y estimular los usos múltiples del agua.
- 4- Promover la participación de todos los grupos de interés en la toma de decisiones, poniendo especial énfasis en la participación activa de los usuarios.
- 5- Incluir los asuntos de género y equidad a lo largo de todo el ciclo de gestión.
- 6- Asignar precio al suministro del agua para desalentar el desperdicio y a la vez asegurar el acceso a una necesidad mínima para todos.

El actual manejo del agua subterránea dentro de la subcuenca de El Bajío y el acuífero al que pertenece, carece de la integración de la dimensión socioeconómica que debe incluirse en la gestión sustentable del agua subterránea, así como de sus características hidrogeológicas específicas. Esta consideración se puede lograr a través de la valoración de las actividades que dependen de éste recurso hídrico, los beneficios que brinda a las personas y el papel ecológico que juega, dejando en claro los servicios que otorga a la sociedad; y a través del conocimiento sobre los aspectos técnicos y administrativos del acuífero que en la actualidad no se tienen claros, como ser:

- Una caracterización completa del funcionamiento del acuífero que incluya un cuadro conceptual sobre las interacciones entre agua subterránea y superficial³⁸, y los efectos que se producen a causa de la reducción de la recarga (aunque es posible iniciar la planificación de la gestión con la información disponible, siempre y cuando se considere un **monitoreo adecuado**).
- Una identificación de las amenazas específicas del acuífero ocasionadas por el estrés de la extracción.

³⁷ International Water and Sanitation Centre (IRC).

³⁸ Ver en la sección Sobreexplotación y Minería del agua en este mismo documento y recomendaciones de la EPA sobre "Evaluación de fuentes de abasto de agua"

- Un marco legal regulatorio que establezca las restricciones y condicionantes específicas, como la implementación de áreas de protección de zonas de infiltración, limitación de volúmenes de extracción, programas de monitoreo de pozos, etc. El cual evite la sobreexplotación del acuífero y la minería del agua, cuide la calidad del agua subterránea y contribuya a que su distribución sea más equitativa.
- Identificación de las instituciones y/o órganos consultivos y de gestión que vigilen y apliquen el marco regulatorio (CONAGUA, SIAPA, Consejos Técnicos de Agua Subterránea, entre otros).

Otro marco de referencia más cercano para evaluar la actual administración del agua en la región de El Bajío, son los objetivos específicos que establece el Programa Hídrico Visión 2030 del Estado de Jalisco, a los cuales el gobierno del Estado de Jalisco y las instituciones responsables del manejo del agua se encuentran comprometidos a desarrollar estrategias y acciones que permitan alcanzarlos. Algunos de estos objetivos, que aún no se venían reflejados en las prácticas de gestión del agua actuales en la región y en el estado, se enlistan a continuación (SEMARNAT-CONAGUA, 2009):

- Incrementar el acceso y calidad de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento, así como reducir las fugas en los sistemas de agua potable de los centros urbanos.
- Aplicar acciones que permitan reducir la demanda y mejorar la gestión del agua, incluyendo el ajuste de las tarifas a su verdadero valor económico en el Estado.
- Mejorar la eficiencia en el uso del agua en los sectores agrícola y público-urbano para mitigar los efectos de sobreexplotación en los mantos freáticos.
- Implementar una estrategia específica para proteger, conservar y recuperar los acuíferos que constituyen un patrimonio y una reserva esencial. Esto mediante la aplicación de incentivos económicos y la concertación entre usuarios para valorar los recursos explotados y disminuir el nivel de bombeo.
- Promover el manejo integrado y sustentable del agua en cuencas y acuíferos, así como restaurar y conservar la calidad del agua superficial y subterránea.
- Promover un mejor conocimiento sobre el funcionamiento de los sistemas de aprovechamiento, tanto en cantidad como en calidad, para así poder mejorarlo. Lo anterior, mediante una colaboración más estrecha entre el gobierno del Estado y los municipales, incorporando a los distintos sectores de la sociedad usuaria.
- Consolidar la participación de los usuarios y la sociedad organizada en el manejo del agua y promover la cultura de su buen uso.

- Evaluar los efectos del cambio climático en el ciclo hidrológico, con el fin de definir estrategias que permitan adaptar el desarrollo regional a las necesidades climáticas predominantes y sus efectos en el medio ambiente.
- Crear una cultura contributiva y de cumplimiento de la Ley de Aguas Nacionales en materia administrativa (considerando que deben tomarse en cuenta la actualización del padrón de usuarios, la medición correcta de volúmenes utilizados, la medición correcta de las descargas a cuerpos receptores y de los usuarios que deben ser objeto del sistema de recaudación y de incentivos).
- Sanear y reutilizar las aguas residuales

Además de lo anterior, si se toman en cuenta los elementos de gestión de agua que ya se han establecido dentro de los planes de desarrollo que gobiernan a la región, como el Plan de Desarrollo Municipal Zapopan 2007-2011, el Plan Parcial de Desarrollo Urbano BAJIO NORTE y el Plan Parcial de Desarrollo Urbano BAJIO CENTRO, se puede evidenciar que existen varias líneas de acción y elementos pendientes para que la administración del agua en El Bajío se encamine hacia una GIRH. Algunos de estos elementos se mencionan a continuación:

- En el **Plan de Desarrollo Municipal Zapopan 2007-2011** se establece en el punto 3.4.5. *Línea de acción: Bosque de la Primavera* que deben:
 - *Establecerse con los gobiernos federal y estatal la política ambiental para la conservación y cuidado del bosque de La Primavera.*
 - *Reforzarse las tareas de inspección y vigilancia para evitar invasiones y construcciones irregulares en el Bosque de la Primavera.*
 - *Realizarse las gestiones necesarias ante los gobiernos federal y estatal para revisar la situación jurídica del Bosque de la Primavera.*
- En el **Plan Parcial de Desarrollo Urbano BAJIO NORTE**, en cuanto a infraestructura para el agua potable se contempla se debe:
 - *Realizar un estudio para obtener las soluciones de dotación de agua potable.*
 - *Completar el sistema para el abastecimiento de agua potable*
 - Resolver la carencia de agua potable e infraestructura hidráulica.
- En el Plan Parcial de Desarrollo Urbano BAJIO CENTRO (P. 16) dentro del rubro de Agua Potable se señala que se debe resolver la carencia de agua potable e infraestructura hidráulica en el Subdistrito Urbano ZPN-9/16.

Considerando las herramientas, objetivos y lineamientos anteriores se infiere que es necesario desarrollar y consensuar el instrumento político-administrativo para garantizar el equilibrio de los cuerpos de agua subterránea colgados y del acuífero al que recarga y pertenece El Bajío, para que su sobreexplotación y contaminación no lleguen a ser el factor limitante en el desarrollo socioeconómico local en el corto, mediano y largo plazos. Por otro lado, la reversión de tendencias de deterioro del estado de calidad hidroquímica y transmisibilidad puede convertirse en ejemplo estratégico de la eficiente coordinación y concertación en un marco de sustentabilidad y compatibilidad en la gestión del agua.

1.3.8.2 Gobernanza del agua subterránea

Durante las últimas décadas a nivel internacional y nacional han surgido conflictos que han puesto en crisis los modelos de gestión de las aguas subterráneas y superficiales. En México (incluyendo a Jalisco) los modelos de gestión se han vinculado a un modelo horizontal-centralizado, enfocado en acciones dirigidas a satisfacer la demanda del agua mediante la construcción de infraestructura, sin tomar en cuenta las implicaciones socio-ambientales que esto pudiera tener, poniendo en riesgo la dinámica natural del ciclo hidrológico.

En el caso del acuífero de Atemajac, considerado como el más **sobreexplotado** de toda la ZCG (CEA, 2009), al que aporta lateralmente la recarga desde El Bajío, el modelo de gestión y gobernanza de agua subterránea que se ha implementado, así como la creciente urbanización, han colocado al sistema hídrico subterráneo en una situación de vulnerabilidad compleja en la que:

- Aumenta la sobreexplotación por el incremento de pozos de aprovechamiento sin regulación basada en monitoreo adecuado.
- Disminuyen los niveles de infiltración y recarga debido, entre otras cosas, a las alteraciones de las zonas de recarga originales y a las modificaciones en los escurrimientos provenientes del Bosque La Primavera.

La mejor manera para iniciar una política con enfoque de GIRH es abordar problemas reales y específicos y lidiar con ellos de forma directa. En el caso de El Bajío estos problemas reales y específicos pueden resumirse en tres cuestiones principales:

- 1- La falta de protección de los escurrimientos superficiales y las zonas de recarga originales de los cuerpos colgados y del acuífero libre.
- 2- La falta de monitoreo y regulación para hacer sostenible la extracción del agua subterránea de buena calidad.
- 3- La elevada vulnerabilidad a la contaminación.

Se podrían derivar potenciales conflictos, manejables desde la implementación de un modelo de gobernanza del agua que tome como referencia las bases ya establecidas internacional, nacional y estatalmente, en materia de gobernanza y manejo integral de los recursos hídricos. Un modelo de gobernanza premiado internacionalmente incluye cuatro categorías del agua que facilitan su gestión integral (Arrojo, 2006) como algunas de las incorporadas en la Directiva Marco de la Unión Europea (UE), que establece un marco comunitario para la protección y la gestión del agua (UE, 2000)³⁹ y las propuestas por la declaración Europea por una Nueva Cultura del Agua⁴⁰:

- ***El agua-vida: agua para la vida, primer nivel de prioridad.***

Es aquella agua que proporciona las bases para la supervivencia, tanto de los seres humanos como de los demás seres vivos. Esta agua debe ser reconocida y priorizada de forma que se garantice la sustentabilidad de los ecosistemas y el acceso de todos a cuotas básicas de agua de calidad, como un *derecho humano*⁴¹.

- ***El agua-ciudadanía⁴²: agua para actividades de interés general, segundo nivel de prioridad.***

Agua que contribuye a reforzar las funciones de salud y cohesión social, como la brindada por los servicios de abastecimiento de agua y saneamiento, que debería situarse en un segundo nivel de prioridad, en conexión con los derechos sociales de la ciudadanía y con el interés general de la sociedad, para manejar el recurso como un servicio público accesible para todos.

- ***El agua-negocio: agua para el crecimiento económico, tercer nivel de prioridad.***

Es el agua que cumple funciones económicas legítimas, ligadas a actividades productivas, en conexión con el derecho individual de cada cual a mejorar su nivel de vida. Es injustificable éticamente que por tales usos se cuestionen derechos y funciones de las categorías anteriores.

- ***El agua-delito: agua para negocios ilegítimos, cuarto nivel de prioridad.***

³⁹ La Unión Europea (UE) establece un marco comunitario para la protección y la gestión del agua. En una primera etapa, los Estados miembros deben identificar y analizar las aguas europeas, por cuencas y demarcaciones hidrográficas. A continuación, deben adoptar planes de gestión y programas de medidas adaptados a cada masa de agua.

⁴⁰ Declaración firmada en Madrid por cientos de científicos de la Unión Europea (UE) a principios de 2005, en la cual se establecen cuatro categorías del agua con la finalidad de facilitar su gestión integral.

⁴¹ De acuerdo a la ONU, el acceso a cuotas básicas de agua potable necesarias para una vida digna, como derecho humano, oscilan entre 30 y 40 L/persona/día.

⁴² El concepto de ciudadanía se extiende a todo el ámbito social, tanto en el medio urbano como en el rural.

Es el agua que es utilizada en usos productivos que, aún al margen de la ley, vienen imponiendo extracciones abusivas en acuíferos y ríos, vertidos contaminantes u otras circunstancias socialmente inaceptables. Tales usos deben simplemente ser evitados y perseguidos mediante la aplicación rigurosa de la ley.

Otros aspectos que deben considerarse para abordar los desafíos principales de El Bajío desde la gobernanza del agua, son la aplicación de acciones que involucren un marco organizacional y jurídico que regule el diseño e instalación de pozos, el consumo y la extracción del agua subterránea, el impacto ambiental generado por el aprovechamiento y la cantidad de pozos, así como la creación de un *Plan equilibrado del recurso de agua subterránea* que incluya un equipo profesional interdisciplinario (hidrogeólogos, ingenieros ambientales, hidráulicos, urbanistas, economistas, sociólogos, juristas, entre otros) y que esté basado en principios científicos y tecnológicos sólidos (Banco Mundial, Garduño, et al., 2006) que:

- Recomienden opciones económicamente factibles.
- Sea ambientalmente sustentable.
- Sea socialmente aceptable.
- Sea institucionalmente implementable.
- Considere los efectos del cambio climático en los escenarios futuros relacionados con la dinámica de las aguas subterráneas.

1.3.8.3 Enfoque de “3R”: Gestión local de los recursos hídricos y adaptación frente al cambio climático

Según el Programa Especial de Cambio Climático 2008-2012, “el proceso de cambio climático se perfila como el problema ambiental global más relevante de este siglo y representa a mediano y largo plazo, una de las mayores amenazas para el proceso de desarrollo y el bienestar humano. Además de producir un desplazamiento de regiones climáticas, intensificación de sequías, inundaciones, huracanes intensos, derretimiento de glaciares, aumento en el nivel del mar, entre otros efectos, incide en la pérdida de biodiversidad, así como en el deterioro de los recursos hídricos y de los servicios ambientales que proporcionan los ecosistemas” (Poder Ejecutivo Federal, 2009).

Por otro lado, el Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) y los resultados de investigaciones científicas recientes, muestran que los impactos del Cambio Climático se manifestarán diferenciadamente a nivel regional y local (Steenbergen and Tuinhof, 2009).

México tiene un papel relevante en este contexto, ya que contribuye con alrededor del 1.6% de las emisiones de gases de efecto invernadero que generan este problema y muestra además, una alta vulnerabilidad frente a sus efectos adversos (Poder Ejecutivo Federal, 2009).

Se espera que el Cambio Climático modifique el ciclo hidrológico, por lo que es necesario integrar esta importante variable en los ejercicios de planeación y gestión de los recursos hídricos. Estrategias de gestión de los recursos hídricos como la recarga de agua subterránea y la captación de agua pluvial pueden proveer amortiguamiento para las cambiantes condiciones que producirá el Cambio Climático. Propiciar una mayor capacidad de absorción y almacenamiento de agua, se convierte entonces en un factor clave para la adaptación al Cambio Climático (Steenbergen and Tuinhof, 2009).

Según el Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático se entiende por *adaptación* «los ajustes en sistemas humanos o naturales en respuesta a estímulos o efectos climáticos actuales o esperados que moderen daños o aprovechen oportunidades benéficas» (Pigueron Wirz, 2009).

La UNESCO junto con la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (IAH, por sus siglas en inglés), proponen el enfoque de 3R como una de las mejores estrategias de adaptación frente al Cambio Climático. Muchas de las herramientas propuestas dentro de este enfoque presentan soluciones que pueden mejorar la gestión de los recursos hídricos a nivel local, abordando las perspectivas económica y ambiental. El enfoque de 3R plantea maximizar la capacidad de amortiguamiento del agua subterránea y del agua de lluvia a través de la **recarga**, la **retención** y el **reúso** del agua, como herramientas fundamentales de adaptación frente a la alta variabilidad en la disponibilidad de recursos hídricos que resulte de los efectos del Cambio Climático (International Association of Hydrogeologists, 2010).

La visión de 3R permite transferir los medios y la confianza a la ciudadanía para proteger su modo de vida en respuesta al Cambio Climático y para mejorar la gestión local del agua con el objetivo de garantizar el acceso seguro a este recurso, así como el desarrollo económico y la integridad ambiental de la región (Steenbergen and Tuinhof 2009). Diversas herramientas técnicas y didácticas han sido generadas para la investigación, desarrollo e implementación de proyectos y planes locales en el marco de la recarga, la retención y el reúso del agua. El esquema geológico, hidrogeológico y el estado del arte de la planeación territorial estratégica de El Bajío (IAH Commission on Management of Aquifer Recharge, 2009). Representa un caso que puede ser modelo en el contexto de esta buena práctica internacional de hidrogeología urbana, diseño urbano y arquitectura (Dina-MAR, 2006) que incorporan medidas como son los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible, en función, el ámbito y la ubicación, observando la adecuación a la

Estos sistemas son ejemplos de herramientas urbanísticas que encadenadas convenientemente permiten mejorar el recorrido del agua. Según lineamientos españoles (Leache y Escalante, 2010), la clasificación tradicional de los mismos responde a la denominada “cadena de gestión”:

- Control en origen: evitan la escorrentía superficial y recuperan la capacidad de infiltración original.

- Transporte permeable: transportan lentamente el agua de escorrentía permitiendo la filtración, el almacenamiento, la infiltración e incluso la evaporación y oxigenación.
- Tratamiento pasivo: eliminan y descomponen los contaminantes del agua al final del recorrido.
- Medidas preventivas: encaminadas a conseguir buenas prácticas urbanas.

Diversos sistemas han sido desarrollados bajo el esquema de investigación y desarrollo con el objetivo de determinar qué zonas son susceptibles para operaciones de recarga artificial de acuíferos y gestión de la recarga artificial o Managed Aquifer Recharge (MAR), en el marco del desarrollo sostenible y bajo normas de mínimo impacto ambiental (Dina-MAR, 2006). Bajo estos conceptos, tras una fase de definición se comienza el desarrollo tecnológico que consta de las siguientes etapas:

- Fase 1: Determinación de las formaciones geológicas objetivo y estratos para la recarga artificial de acuíferos
- Fase 2: Establecimiento y control en “zonas piloto”
- Fase 3: Estudio y diseño de dispositivos específicos para lograr una alta tasa de infiltración
- Fase 4: Aspectos medioambientales:
 1. Mantenimiento de caudales ecológicos
 2. Regeneración hídrica elementos clave
- Fase 5. Divulgación y educación ambiental

LAS COMUNIDADES BIÓTICAS: CONTENIDOS Y DINÁMICAS

Vegetación

1.4.1.1 Sistema de clasificación de vegetación y de ecosistemas

Los ecosistemas terrestres presentes en el Occidente de México han sido severamente afectados por la actividad humana. De acuerdo con las estimaciones de Castellano-Rosas (2007), en la parte occidental de la Faja Volcánica Transversal Mexicana las superficies que ocupan los ecosistemas completamente transformados por la intervención antrópica llegan en promedio a 44%. El Bajío no es una excepción, el grado de transformación de sus ecosistemas supera por mucho el promedio mencionado. El carácter de transformación de los ecosistemas en el Bajío no es uniforme, fluctúa desde muy alto hasta relativamente bajo.

Una gran variabilidad en carácter de alteración antrópica de los ecosistemas del Bajío es una consecuencia de su ubicación entre dos espacios muy distintos: por un lado existe espacio completamente transformado y urbanizado de la Zona Metropolitana de Guadalajara, por otro lado existe un espacio natural relativamente bien conservado con presencia de los ecosistemas naturales de APFF "Bosque La Primavera". En la zona del Bajío la mancha urbana todavía no entra en contacto directo con la APFF, siendo el Bajío una zona de transición y amortiguamiento que existe entre la ciudad y el bosque. Penetración de la ciudad al bosque, muy notable en algunos otros sitios de contacto entre ambos (e. g. Pinar de la Venta, Ciudad Bugambilias, límites del Cerro el Colli), no se presenta de manera importante en la región del Bajío.

El marco de clasificación de ecosistemas por el tipo de hábitat, que toma en cuenta el carácter de intervención humana es útil para determinar el estado actual y dinámica de procesos bióticos en el Bajío. En el análisis de ecosistemas con respecto a la alteración antropogénica, una característica importante es la permanencia, repetitividad e intensidad del disturbio, ya que la respuesta de los ecosistemas es distinta a disturbios esporádicos y disturbios permanentes. Particularmente, en el caso de que el disturbio actúe en un periodo corto y después desaparece la reacción del ecosistema será una sucesión autogénica secundaria de vegetación natural. Cuando la fuente de disturbio permanece en el sitio o el disturbio antropogénico es repetitivo y frecuente, se establecen las condiciones propias de una sucesión secundaria desviada (Challenger, 1998). En caso de los disturbios muy intensos y persistentes se puede hablar sobre la transformación completa de un ecosistema a forma de un ecosistema artificial.

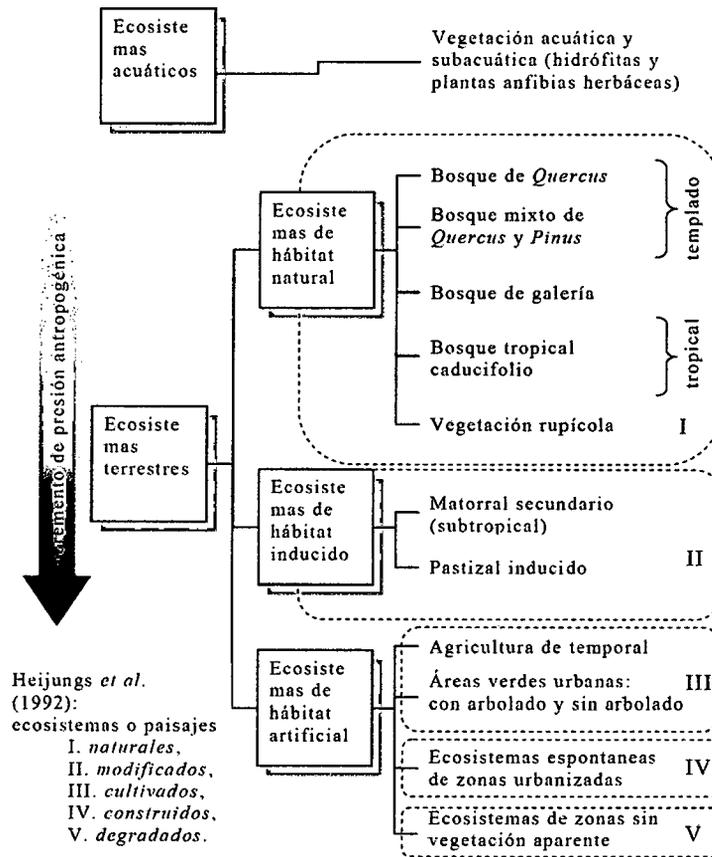
Las categorías en análisis de uso del suelo y vegetación se organizan jerárquicamente de acuerdo con naturaleza y con carácter de alteración de los ecosistemas por actividad. En el presente estudio fue aceptada una clasificación de los ecosistemas por su grado de alteración por disturbios, expresado como tipo de hábitat de los organismos en una ecosistema (Begon et. al. 2006; Wiedma et. al., 2001). De acuerdo con la clasificación de los tipos de hábitat utilizada, reconocemos los ecosistemas acuáticos y ecosistemas terrestres, los últimos pueden pertenecer al hábitat natural, hábitat inducido o hábitat artificial (imagen 1.4.1.1.1). En la elaboración de las clases seguimos los criterios de Sistema de Clasificación de Cobertura del Suelo (LCCS) de FAO en su fase dicotómica (Di Gregorio & Jansen 2000). Con propósitos ilustrativos se realizó la comparación de clases con un esquema de clasificación cualitativa de sistemas ecológicos de Heijungs et. al. (1992). La relación entre los clases de uso de suelo, tipos de vegetación y clasificación de sistemas se resume en la tabla 1.4.1.1.1.

Los ecosistemas terrestres se subdividen por pertenencia a tres tipos de hábitat:

- Ecosistemas con tipo de hábitat natural, definidos por la presencia de vegetación natural en fase clímax sea climático o edáfico o en las fases tardías de sucesión primaria; estos ecosistemas no están alterados en forma significativa por disturbios antropogénicos recientes y mantienen su estructura y dinámica

naturales características para su tipo de vegetación. Estos son los ecosistemas de mayor valor desde punto de vista de conservación del medio ambiente y de la biodiversidad.

- Ecosistemas con tipo de hábitat inducido estos cuentan con su vegetación en fases iniciales y medios de sucesión autogénica secundaria, o en sucesión desviada por presencia de fuentes de disturbios antropogénicos de baja o moderada intensidad.
- Ecosistemas con tipo de hábitat artificial son los que están bajo una permanente presencia de disturbio antropogénico intenso, la vegetación de estos ecosistemas está compuesta por elementos iniciales de sucesión, plantas con estrategia ecológica R (ruderal) y elementos cultivados, los cuales están específicamente asociados con prácticas humanas. Los ecosistemas de hábitat artificial son de menor valor para la conservación de la biodiversidad (Begon et. al. 2006). (Imagen 1.4.1 y Tabla 1.4.1)



Fuente: clasificación de tipos de hábitat de Begon et al., 2006, clasificación de paisajes de Heijungs et al. 1992, con modificaciones.

Imagen 1.4.1. Esquema jerárquico de ecosistemas terrestres y acuáticos con agrupación por tipo de hábitat (Begon et al. 2006) ilustrada con asignación en el esquema de Heijungs et al. (1992).

Tabla 1.4.1. Categorías de uso del suelo y tipos de de vegetación por tipo de hábitat en el Bajío y en sus alrededores.

TIPO DE HÁBITAT (Begon et al. 2006)	CATEGORÍA DE USO DEL SUELO	TIPO DE VEGETACIÓN	ECOSISTEMAS O PAISAJES (Heijungs et al. 1992)	PRESENCIA DE ÁRBOLES	Considerado en clasificación de uso del suelo con métodos de percepción remota

TIPO DE HÁBITAT (Begon et al. 2006)	CATEGORÍA DE USO DEL SUELO	TIPO DE VEGETACIÓN	ECOSISTEMAS O PAISAJES (Heijungs et al. 1992)	PRESENCIA DE ÁRBOLES	Considerado en clasificación de uso del suelo con métodos de percepción remota
NATURAL	Bosque mixto de <i>Quercus</i> y <i>Pinus</i> (BQP)		Natural	si	si
	Bosque de <i>Quercus</i> con elementos de bosque tropical caducifolio (BQ+BTC)		Natural	si	si (fuera del Bajío en el Cerro el Colli)
INDUCIDO	Matorral inducido (subtropical)		Modificado	no	si
	Pastizal inducido		Modificado	no	si (categoría "pastizal inducido" y parte de categoría "pastizal inducido seco / agricultura")
ARTIFICIAL	Agricultura de temporal	Cultivada y arvense	Cultivado	no	si (parte de categoría "pastizal inducido seco / agricultura")
	Arbolado cultivado	Cultivada y arvense	Cultivado	si	si
	Pastizal cultivado (césped)	Cultivada y arvense	Cultivado	no	si
	Urbanizado	Ruderal y cultivada	Construido	no	si
	Sin vegetación aparente	-	Construido y/o degradado	no	si
ACUÁTICO	Cuerpos de agua (naturales o artificiales)	Vegetación acuática y subacuática herbácea	-	no	si

1.4.1.2 Uso del suelo y vegetación en el área de aplicación

Las categorías anteriores son pautas importantes para el acercamiento a las coberturas de suelo detectados en el Bajío. La detección de las coberturas del suelo se realizó con

base de análisis y clasificación de la imagen de percepción remota de alta resolución. La imagen para el análisis fue armado como un mosaico de escenas DigitalGlobe, que abarca la totalidad de área de aplicación y posible zona de influencia del región de Bajío a ecosistemas naturales y vegetación. El mosaico es de carácter heterocrónico, las fechas de captura de las escenas fuente todas pertenecen al año 2010, particularmente son 2010-01-25, 2010-03-09 y 2010-06-14. El mosaico fuente cuenta con la resolución espacial alta, pixel de tan solo 0.6 m. que permite realizar acercamientos a escala 1:5000 o superior, sin embargo, la resolución espectral es de tres bandas espectrales de luz visible, que limita significativamente la capacidad en detección de los clases de vegetación. La imagen fuente cuenta con la proyección UTM zona 13 Norte, datum WGS1984. La clasificación de imagen de alta resolución fue realizada combinando las técnicas de clasificación no-supervisada, supervisada, segmentación de zonas de imagen en base de texturas y clasificación experta, con el ajuste manual de conflictos entre las clases (Chen 2008, Blaschke *et. al.* 2008, Richards & Jia 2006, Leica Geosystems 2008).

Los resultados de análisis de los datos de percepción remota han confirmado alto grado de transformación de ecosistemas en el área de aplicación (Tablas 1.4.2. y 1.4.3). Los ecosistemas naturales de estado clímax están representados exclusivamente por el bosque mixto de *Quercus* y *Pinus*, que se encuentra en la colindancia con APFF “La Primavera”, ocupando tan solo 3.83% del superficie de área de aplicación. El bosque mixto en el área de aplicación frecuentemente es asociado con los terrenos ligeramente inclinados, con presencia de escurrimientos superficiales. Casi tres cuartos de área de aplicación cuenta con los ecosistemas inducidos por una constante y repetitiva perturbación: matorrales inducidos y pastizales inducidos.

En la imagen de satélite (Imágenes 1.4.2 y 1.4.3) con las fechas de invierno y primavera, los terrenos con pastizal seco son indistinguibles de los terrenos donde se practica la agricultura de temporal (particularmente campos de maíz). La cobertura de agricultura de temporal no supera 15% de superficie de área de aplicación. Los ecosistemas completamente transformados y artificiales de los sitios urbanizados superan la quinta parte de la superficie, casi 15% de área de aplicación corresponden a los sitios urbanizados con construcciones o infraestructura o terrenos desmontados recientemente con vegetación ausente. Los 6.45% de área de aplicación corresponde a ecosistemas artificiales de áreas verdes urbanos, tanto con presencia de arbolado, como únicamente herbáceas. La urbanización del Bajío se concentra actualmente en cercanía con el anillo periférico de la ZMG y carretera federal No. 15, Fraccionamiento Rancho Contento, Universidad Cuauhtémoc, Ciudad Judicial, Estadio JVC, proyecto Villa Panamericana y Fraccionamiento Ayamonte. Los restantes 0.26% pertenecen a escasos cuerpos de agua, de ellos es de carácter natural, representa los restos de humedal más extenso en el pasado reciente, está ubicado en la parte más baja del Bajío en la cercanía con el anillo periférico frente de Concentro.

Tabla 1.4.2. Las superficies de ecosistemas por tipo de hábitat en área de aplicación.

Tipos de hábitat	Superficie (%)	Superficie (ha)
Natural	3.83%	48.78
Inducido	74.48%	948.09
Artificial	21.43%	272.74
Acuático	0.26%	3.29
TOTAL	100.00%	1272.89

Tabla 1.4.3. Las superficies de categorías de uso de suelo en área de aplicación.

Clase de uso del suelo en Bajío	Superficie (%)	Superficie (ha)
Bosque mixto de <i>Quercus</i> y <i>Pinus</i>	3.83%	48.78
Matorral inducido	13.85%	176.32
Pastizal inducido y/o agricultura de temporal	60.63%	771.77
Sin vegetación aparente	11.57%	147.23
Urbanizado	3.41%	43.35
Arbolado cultivado	4.97%	63.30
Pastizal cultivado (césped)	1.48%	18.85
Cuerpos de agua	0.26%	3.29
TOTAL	100.00%	1272.89

Fuente: clasificación del imagen de satélite de alta resolución DigitalGlobe (mosaico heterocrónico del año 2010).

1.4.1.3 Análisis de naturalidad y de fragmentación de los ecosistemas naturales

Analizar el mapa de uso del suelo actual derivado de la clasificación de la imagen de satélite permitió realizar la evaluación de presencia de ecosistemas naturales terrestres en el área de aplicación, así como ubicar la zona de estudio.

El índice de naturalidad (INat) es la medida de presencia de ecosistemas naturales e inducido referente a la unidad mínima de desagregación o ventana de análisis. Esta unidad tiene una superficie mínima de una hectárea, elegida como una representación que se considera como fragmento del bosque de acuerdo con el criterio nacional de

bosques⁴³. El rango de *INat* es de 0 a 1, los valores altos corresponden a sitios con predominancia de ecosistemas naturales, los valores intermedios a los sitios con predominancia de ecosistemas inducidos, valores bajos a los sitios completamente transformados por actividad humana. Considerando que $a_{habitat_natural}$ es un área con hábitat natural en la ventana de análisis, $a_{habitat_inducido}$ es área con hábitat inducido es un área total en ventana de análisis (1 Ha):

$$INat = \frac{a_{habitat_natural} + 0.5 \cdot a_{habitat_inducido}}{a}$$

El patrón de índice de naturalidad (Imagen 1.4.4) resume el carácter espacial de conservación de ecosistemas en el área de aplicación.

Fragmentación de los ecosistemas naturales. En caso del área de aplicación y área de influencia se reduce la fragmentación del bosque en la APFF "La Primavera". Es necesario tomar en cuenta que el bosque en el Cerro El Chapulín, Mesa La Lobera y Cerro El Colli actualmente representa una vegetación natural continua e interconectada. La Mesa La Lobera se caracteriza por presencia de zona con un relativo decremento de densidad de árboles, causada por los incendios forestales en la última década. La fórmula utilizada para el análisis de fragmentación toma en cuenta la presencia de los ecosistemas naturales en ventana de análisis de 1 Ha, toma en cuenta área, perímetro y forma de los fragmentos.

$$IF = \frac{Nat}{a} \cdot \sum_a \frac{1}{3} \left(\frac{AREA}{AREA_{max}} + \frac{FRAC}{FRAC_{max}} + \frac{SHAPE}{SHAPE_{max}} \right)$$

$$FRAC = \frac{2 \cdot \ln(0.25 \cdot PER)}{\ln(AREA)} \quad SHAPE = \frac{PER}{PER_{min}}$$

donde *Nat* = máscara de ecosistemas naturales; *a* = marco del análisis del índice; las métricas calculadas con la aplicación FRAGSTATS 3.3: AREA (área del parche), PER (perímetro del parche), FRAC (tamaño de fractal del parche) y SHAPE (índice de forma del parche); AREA_{max}, FRAC_{max}, SHAPE_{max} = los valores de parámetros de los parches máximo para una clase en el paisaje; PER_{min} = perímetro mínimo posible de un parche en la representación del paisaje (basado en el pixel mínimo).

⁴³ En México los ecosistema se consideran de carácter forestal en caso que la cobertura de copas de árboles exceda 30%, altura mínima del dosel es mayor que 4 m. y superficie del parche sea mayor a una ha. (<http://cdm.unfccc.int/DNA/view.html?CID=140>).

Patrón de fragmentación del bosque en la parte de APFF “La Primavera” colindante con área de aplicación se puede analizar en la Imagen 1.4.5. Los espacios en el Cerro El Chapulín cuentan con el bosque continuo, aunque se observa un notable decremento de su densidad en las laderas orientales colindantes con el área de aplicación. La distribución del bosque denso en general coincide con la zonificación de la APFF, los sitios con menor densidad de arbolado corresponden a “zona de recuperación”, los mejor conservados pertenecen a “zona de uso restringido”. Situación muy distinta se observa en la Mesa La Lobera, donde el bosque se encuentra deteriorado y altamente fragmentado en la parte alta de la mesa, que originalmente contaba con el bosque conservado de “zona de uso restringido”. Evidentemente en este caso el incremento de fragmentación puede ser consecuencia del incendio forestal que afectó Mesa La Lobera en la última década, que se combina con efectos de las “zonas de aprovechamiento sustentable de agroecosistemas” colindantes con la “zona de recuperación” del bosque en esta geoforma. Cerro El Colli cuenta con el bosque continuo en la ladera norte colindante con área de aplicación, pero está prácticamente deforestado en las laderas oriental y sur.

Es un ecosistema nativo de la región de estudio y predominante en la APFF “La Primavera” (imagen 1.4.6) es el único tipo de bosque que penetra al área de aplicación en las piedemonte del Cerro El Chapulín y de la Mesa La Lobera. De manera general, es un tipo de vegetación con estrato arbóreo formado por elementos de afinidad templada. Las especies de *Quercus* y *Pinus* presentan exigencias ecológicas similares, formando comunidades mixtas en amplio rango de altitudes. De acuerdo con el punto de vista de J. Rzedowski (1978), trata de mosaicos de dos tipos de vegetación, imposibles o muy difíciles de descifrar. Otros autores reconocen el bosque mixto como un tipo de vegetación independiente (e. g. Guerrero-Nuño & López-Coronado 1997). El bosque mixto de *Quercus* y *Pinus* cuenta con el único estrato arbóreo, dosel de 8 a 25 m. Las especies de árboles perennifolios se combinan con los caducifolios. Dentro de esta comunidad frecuentemente ocurren individuos arbóreos de otros géneros (*Clethra*, *Arbutus*, *Agarista*, *Comarostaphylis* en caso del bosque colindante con área de aplicación). De acuerdo a la clasificación de la vegetación de Miranda y Hernández (1963) los tipos de vegetación que corresponden a la comunidad mixta son *encinares* y *pinares*.



Fuente: fotografía V. Shalisko en Cerro El Chapulín 2009.

Imagen 1.4.6. Bosque mixto con predominancia de *Quercus* en el Cerro El Chapulín colindante con área de aplicación.

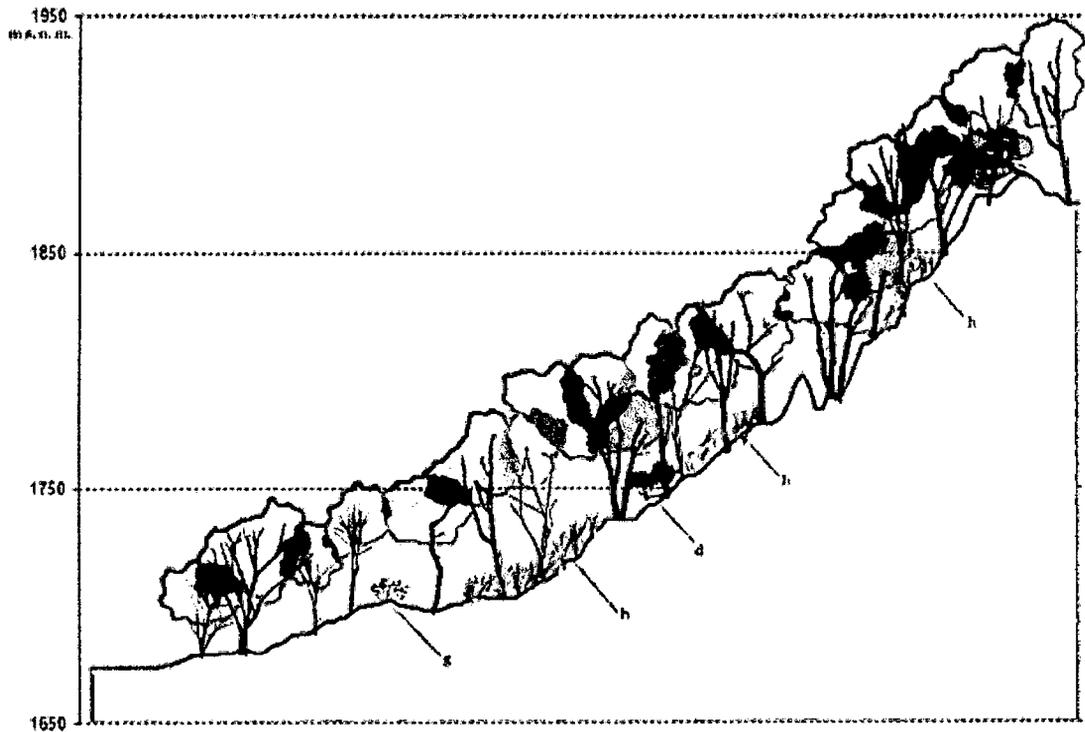
En el análisis florístico algunos de las comunidades del bosque templado en la parte de APFF “La Primavera” colindante con área de aplicación pueden considerarse como fragmentos de bosque de *Quercus* y bosque de *Pinus*. Sin embargo, en el presente fue considerado que su distinción como dos distintos tipos era incorrecta en caso del área estudiada. Los fragmentos de bosque con predominancia de *Quercus* y *Pinus* sufren una dinámica natural de cambio de composición florística en respuesta a alteraciones de los hábitat y que suceden en el bosque de manera natural (incendios forestales naturales, procesos de formación y de erosión del suelo, plagas, etc.), dichos eventos pueden incrementar o disminuir la presencia de las especies de árboles en función de estos disturbios y aleatoriamente en micro-escala. Debido a estas consideraciones, en el presente estudio fue concluido que el bosque que se observa en el Cerro El Chapulín y Mesa La Lobera puede ser clasificado como un bosque mixto, en el cual se detecta presencia de fragmentos de bosque predominantemente formados por arboles de *Quercus* y otros con dominancia de *Pinus*. Dentro del bosque mixto existen varias asociaciones típicas de las especies de árboles que se describirán posteriormente.

En la zona colindante con el área de aplicación el bosque mixto de *Quercus* y *Pinus* se observa en un rango de altitud de 1675 msnm a 2050 msnm sobre las formas de relieve irregular. La presencia de este tipo de vegetación está relacionada con condiciones

climáticas particulares que son determinantes para el clímax climático de bosque de *Quercus* y *Pinus*. Ver perfil atitudinal (Imagen 1.4.7).

En particular, en la parte baja de la sub-cuenca *Boca de la Arena–El Bajío* el clima está clasificado como (A)C(w₁) y se caracteriza por una temperatura promedio anual de 21° C aproximadamente, la variabilidad de las temperaturas promedio entre el mes más cálido y mes más frío es en orden de 7.5 °C y la diferencia de temperaturas diarias fluctúa durante el año de 18°C a 30°C, la presencia de heladas es registrada menor a 20 días al año (5-6 días en promedio), las precipitaciones suceden principalmente en verano y el porcentaje de precipitación invernal es menor al 5%, en este caso la precipitación anual es variable en intervalo de 800 mm a 1200 mm con un promedio de 988 mm por año (MIA JVC 2003). En lo que respecta a las condiciones climáticas presentes en la parte baja de la cuenca endorreica, estas son características propios para bosque con predominancia de *Quercus*, por lo que nos permite suponer que en el pasado, antes de la intervención humana, la zona del Bajío incluía zonas cubiertas por bosque de *Quercus*, posiblemente entremezclada con sabana de *Prosopis* y bosques espinosos en los sitios con drenaje deficiente. En la parte del APFF “La Primavera” colindante con área de aplicación, las condiciones climáticas se determinan por cambio de altitud y presencia de montaña, el clima es ligeramente más fresco que en la parte baja del Bajío y el rango de fluctuación diaria de temperatura es mayor. La variabilidad climática determina que el bosque mixto cuenta con variedad de asociaciones vegetales en la zona de estudio.

Específicamente en la zona de APFF “La Primavera” colindante con área de aplicación, el Bosque mixto de *Quercus* y *Pinus* es un tipo de vegetación perennifolio o parcialmente caducifolio formado por árboles de 6 a 15 m. de altura, ocasionalmente hasta 18 m, que varía desde el bosque completamente abierto hasta cerrado de acuerdo con el carácter de su fragmentación. Típicamente en este bosque se observa solo el estrato arbóreo, los arbustos son escasos y de estar presentes, son individuos que alcanzan hasta 3 m. de alto (imagen 1.4.8). En cuanto al sotobosque, este se encuentra formado por algunas plantas herbáceas que logran penetrar la gruesa capa de hojarasca, este estrato herbáceo puede ser abundante en algunos partes del bosque y escaso en otras debido a las condiciones locales en cada uno de los sitios.



[] – *Quercus resinosa* Liebm. ; [] – *Quercus magnoliifolia* Née ;
 [] – *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl. ; [] – *Clethra rosei* Britton ;
 [] – *Quercus viminea* Trel. ; [] – *Arbutus xalapensis* H.B.K. ;
 d – *Verbesina greenmanii* Urb. ; g – *Heterocentron mexicanum* Hook. & Arn. ;
 h – *Pteridium feei* (Feé) Maxon ex Faul

Fuente: MIA "Villa Panamericana" 2009, esquema elaborada por V. Shalsiko.

Imagen 1.4.7. Perfil altitudinal de la ladera noreste del Cerro El Chapulín (tamaño de árboles en el esquema esta exagerado para propósitos de visualización).

El bosque mixto se localiza en el Cerro El Chapulín y en la Mesa La Lobera en el rango de altitud de 1670 msnm a 1950 msnm presentando en la partes bajas una asociación arbórea de *Quercus resinosa* – *Pinus oocarpa*, con presencia de *Quercus magnoliifolia* en segundo plano. En las laderas expuestas al Este y de pendiente mayor (en este mismo rango de altitud) se observa la asociación de *Quercus resinosa* – *Quercus magnoliifolia*, con poca presencia de individuos de pino (*Pinus*), así mismo, en las cañadas y arroyos, en este mismo rango de altitud) se observa la asociación *Clethra rosei* – *Pinus oocarpa* con *Quercus resinosa* en segundo plano. En el rango de altitud de 1750 msnm hasta 1900 msnm existen asociaciones de *Quercus viminea* – *Quercus resinosa* – *Pinus oocarpa* y *Quercus viminea* – *Quercus resinosa* – *Chethra rosei*. En el rango de altitud de 1850 msnm hasta 1950 msnm se observa la asociación de *Quercus viminea* – *Pinus oocarpa* – *Arbutus xalapensis* – *Quercus resinosa*.



a [] – *Quercus resinosa* Liebm. ; c [] – *Quercus magnoliifolia* Née
 b [] – *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl. ; d – *Verbesina greenmanii* Urb.
 e – *Calliandra anomala* (Kunth) J.F. Macbr. ; f – *Acacia pennatula* (Schlecht. & Cham.) Benth

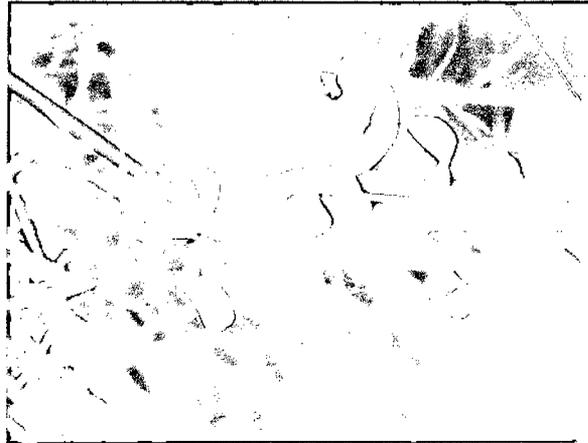
Fuente: MIA "Villa Panamericana" 2009, esquema elaborada por V. Shalsiko.
 Imagen 1.4.8. Perfil de vegetación para sitio 2 (bosque mixto de *Quercus* y *Pinus*).

En la parte más alta del cerro "El Chapulin" en la zona por encima de 1900 msnm predomina la asociación de *Pinus oocarpa* – *Arbutus xalapensis* – *Quercus viminea* – *Quercus magnoliifolia* – *Vaccinium stenophyllum* – *Comarostaphylis glaucescens*. El sotobosque en todo el rango de altitud mencionado usualmente incluye *Pteridium feei*, *Calliandra* spp., representantes de las familias Asteraceae, Poaceae y Malvaceae como elementos más abundantes. La representación esquemática de perfil del bosque mixto en la zona de estudio aparece en el imagen 1.4.8.

1.4.1.5 Bosque de *Quercus* con elementos del bosque tropical caducifolio

Es el tipo de vegetación que no fue encontrado dentro de área de aplicación, pero importante por su contribución a diversidad florística del área de influencia de flora. Presencia de los elementos de bosque tropical caducifolio es notable en el Cerro El Colli (Macías-Rodríguez & Ramírez-Delgadillo, 2000), donde elementos tropicales se distribuyen en forma de manchones aislados en rango de altitud entre 1700 msnm y 1900 msnm, sobre todo en la parte alta del cerro y en sus laderas sur y oeste. Elementos de afinidad templada, sin embargo predominan en este cerro, formando la comunidad de bosque de *Quercus* en rango de altitud entre 1700 msnm y 1950 msnm. La combinación

de bosque de *Quercus* con manchones aislados de elementos de bosque tropical caducifolio los reconocemos en el presente estudio como un ecosistema integral, sin posibilidad de separación de dos tipos de vegetación independientes.



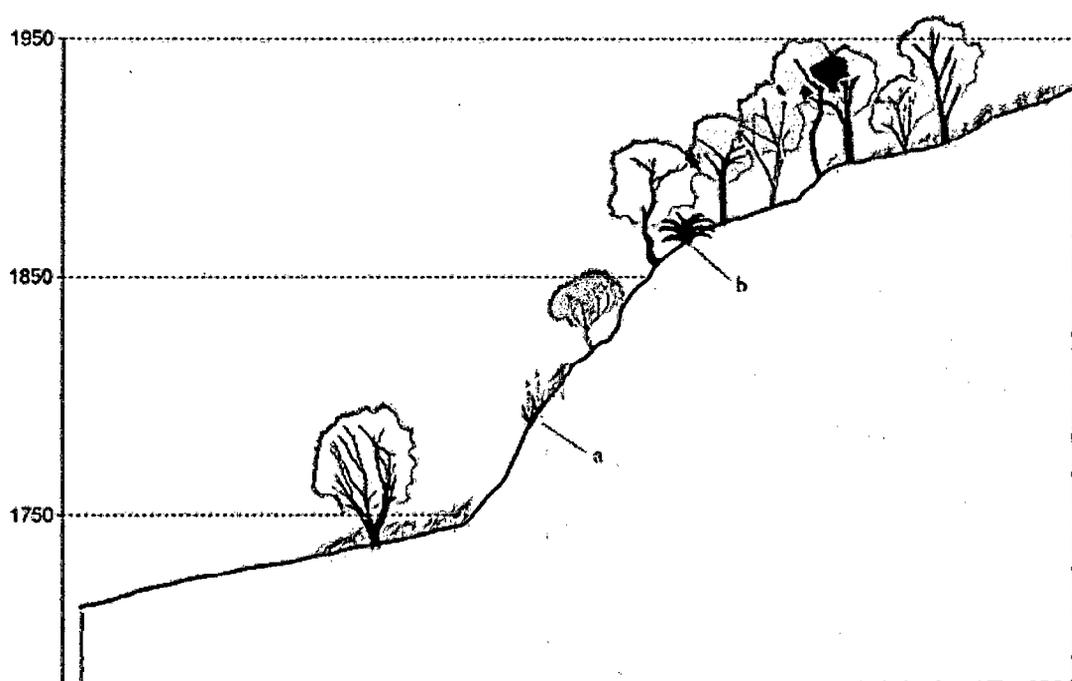
Fuente: fotografía V. Shalisko en Cerro El Colli.

Imagen 1.4.9. Bosque de *Quercus* con elementos de bosque tropical caducifolio en el Cerro El Colli colindante con área de aplicación.

Las condiciones climáticas en el Cerro El Colli son en términos generales similares a las condiciones en el área de aplicación. De acuerdo con los registros de la estación meteorológica Balcones del Sol y Colli, la precipitación anual en promedio es de 1031 mm por año, con 92% de lluvias en verano, periodo de máxima sequía es de febrero hasta mayo. Temperatura media anual es de 20.8°C, con 24.8°C en el mes más cálido (mayo) y 16.4°C en el mes más frío (diciembre) (Macías-Rodríguez & Ramírez-Delgadillo, 2000). A diferencia con el clima, los suelos y geología de este cerro son muy particulares. Cerro el Colli es la estructura geológica volcánica más joven de Sierra La Primavera, de antigüedad entre 20,000 y 30,000 años (ibid.). Cerro El Colli se caracteriza por presencia de los suelos del tipo litosol, muy someros con espesor no mayor a 20 cm, extremadamente pedregosos con abundantes afloramientos rocosos. Estas condiciones edáficas son distintas de las observadas en el Cerro El Chapulín y Mesa La Lobera, donde el espesor del suelo usualmente es mucho mayor. En consecuencia, la vegetación del Cerro El Colli es de clímax edáfico, y presenta ciertas diferencias con la vegetación de otras partes de Sierra La Primavera.

El bosque de *Quercus* cuenta con el estrato arbóreo que alcanza 10 m. de alto. En las laderas norte, noroeste y oeste del cerro a partir de altitud de 1700 msnm predomina *Quercus resinosa* asociado con escasos *Q. laeta*, *Q. gentryi*, *Q. viminea* y *Pinus oocarpa*. Entre componentes arbóreos se observan *Clethra rosei* y *Comarostaphylis glaucescens*.

Los elementos arbóreos de afinidad tropical dispersos en los manchones sobre suelos pedregosos de Cerro El Colli incluyen asociación de *Ipomoea intrapilosa* – *Diphysa suberosa* – *Lysiloma acapulcense* – *Cedrella dugesii* – *Baconia arbórea* – *Heliocarpus terebinthinaceus* entre otras especies. La vegetación del Cerro El Colli (Imagen 1.4.9), presenta una notable diferencia en comparación con el resto de APFF “La Primavera”, incluyendo algunas especies raras o endémicas (detalles más adelante en el texto).



[■] – *Quercus resinosa* Liebm. ; [■] – *Arbutus glandulosa* Mart. et Gal. ;

[■] – *Pinus oocarpa* Schiede ex Schtdl. ; [■] – *Clethra rosei* Britton ;

[■] – *Acacia pennatula* (Schlecht. & Cham.) Benth. ;

a – *Prochnyanthes mexicana* (Zucc.) Rose. ; b – *Agave guadalajarana* Trel.

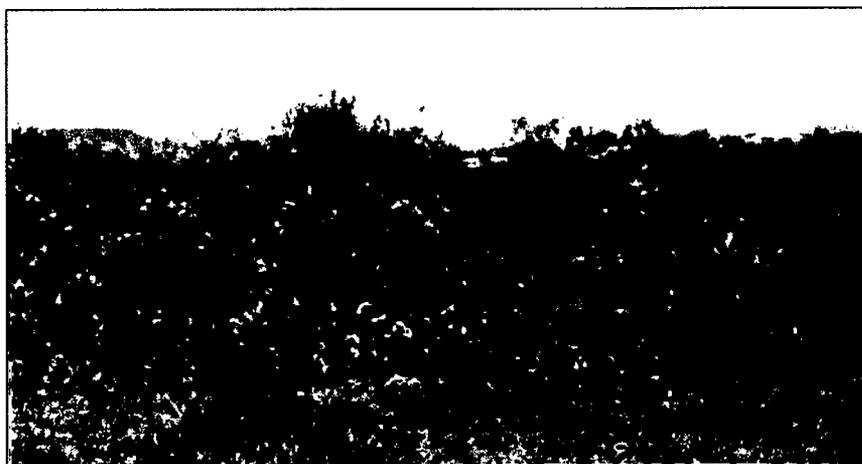
Fuente: Macías-Rodríguez & Ramírez-Delgadillo, 2000; esquema repetida y modificada por V. Shalsiko.

Imagen 1.4.9. Perfil altitudinal de la ladera norte del Cerro El Colli (tamaño de árboles en la esquema esta exagerado para propósitos de visualización).

1.4.1.6. Matorral inducido (= matorral subtropical)

Los matorrales inducidos o secundarios (Imagen 1.4.10), llegaron a ocupar la superficie hasta 14% del total de área de aplicación en el año 2010, y es un tipo de vegetación sobresaliente en las condiciones actuales del Bajío. El matorral inducido es el tipo de

vegetación que no constituye un ecosistema primario. Es vegetación inducida (ecosistema de *hábitat inducido*) en los sitios deforestados, que sufre perturbación antropogénica de baja o moderada intensidad periódicamente. Los disturbios que sufre este tipo de vegetación en la región del Bajío están relacionados con las prácticas tradicionales de uso del suelo: desmontes periódicos, quema y uso del terreno para ganadería. Siendo considerada como maleza, el matorral sufre de exterminaciones periódicas y esto determina la dinámica de su distribución y persistencia. La intensidad y frecuencia de la perturbación es particularmente importante para el estado y composición de esta vegetación, ya que se sustituye con el pastizal inducido en condiciones de perturbación muy repetitiva, o da inicio a sucesión secundaria en restablecimientos de ecosistemas nativos de la zona (e. g. bosque mixto de *Quercus* y *Pinus*, bosque espinoso) en condiciones de decremento de frecuencia de disturbios. El pastizal inducido es el tipo de vegetación que precede a este tipo de matorral en la secuencia de sucesión. J. Rzedowski no trata el matorral subtropical en forma independiente, sino que lo considera como una fase de sucesión temprana del bosque tropical caducifolio (Rzedowski & Calderón 1987). Sin embargo, en la zona del Bajío el matorral inducido no actúa obligatoriamente como fase de sucesión exclusiva de Bosque Tropical, sino que puede ser parte del proceso de recuperación de bosque mixto de *Quercus* y *Pinus*, el cual puede ser seguido en condiciones adecuadas, por la colonización de los sitios de matorral por los árboles de *Quercus* y *Pinus*.



Fuente: fotografía V. Shalisko 2009.

Imagen 1.4.10. Matorral inducido de *Baccharis salicifolia* en el Bajío.

El matorral inducido fisonómicamente es bastante variable y puede estar compuesto por plantas herbáceas y arbustos de diversos tamaños: en ocasiones son de menos de 1 m. de altura (cuando existe un agente de perturbación constante), en los sitios donde la frecuencia e intensidad de los disturbios son bajos, los arbustos pueden desarrollar hasta 5 metros de altura y considerable grosor (DAP hasta 10 cm). El matorral inducido llega al máximo de su desarrollo durante la temporada de lluvias.

En el área de aplicación los matorrales pueden ser divididos en dos sub-categorías por su composición florística: a) Matorrales asociados con sitios secos y antiguos bancos de material; b) Matorrales asociados a lugares inundables. La diferencia entre estos dos subcategorías de matorrales inducidos consiste en la presencia de distintas asociaciones florísticas. Particularmente los matorrales de los sitios secos del área de aplicación presentan una asociación de *Nicotiana glauca* – *Hyptis* spp. – *Verbesina greenmanii* – *Buddleja sessiliflora* – *Wigandia urens*, este tipo de matorral se desarrolla usualmente en los suelos clasificados como regosoles, antrosoles y faeozem. Los matorrales de los sitios con régimen de inundación cuentan con asociación de *Baccharis salicifolia* – *Buddleja sessiliflora* en el estrato arbustivo, estos matorrales por lo general se desarrollan sobre los suelos conocidos como fluvisoles. *Verbesina greenmanii* y *Wigandia urens* en ocasiones forman comunidades muy densas oligodominantes. En la parte baja de la ladera norte de Cerro El Colli ocurre asociación *Odontotrichium palmeri* – *Prochnyanthes mexicana*. En los sitios con intensa perturbación se desarrolla vegetación fisionómicamente similar a matorral, que incluye además, los elementos con estrategia ecología de R (ruderal), e. g. *Ricinus communis* y *Phytolaca icosandra*. En el estrato herbáceo predominan representantes de Asteraceae (e. g. *Bidens odorata*, *Cosmos bipinnatus*, *Tithonia tubaeformis*, *Melanpodium tepicense*, *Tagetes micrantha*) y Poaceae (e. g. *Rhynchelytrum repens*, *Cynodon dactylon*, *Cenchrus echinatus*, *Chloris virgata*).

1.4.1.7. Pastizal inducido

El pastizal inducido es un tipo de vegetación de origen secundario (ecosistema de *hábitat inducido*) que se desarrolla en los sitios deforestados con frecuente perturbación antropogénica de moderada o alta intensidad. A diferencia con el matorral inducido, la frecuencia de disturbios no permite el establecimiento del estrato arbustivo, el pastizal incluye únicamente plantas herbáceas entre las cuales predominan especies con ciclo de desarrollo corto. En la zona del Bajío los pastizales varían debido a las características microclimáticas, hidrológicas y edáficas, además de importante dependencia de perturbación. Las comunidades de pastizal inducido bien desarrollados cuentan con una alta densidad de los individuos por unidad de superficie y la altura de las plantas es de 0.5 m - 1 m. Es un tipo de vegetación muy dinámico, que responde a cambios en factores físicos del medio ambiente que suceden en transcurso del año. Particularmente, durante la temporada seca una gran parte de los pastizales de área de aplicación se ven como terrenos sin cubierta vegetal, pero estos mismos sitios pueden contar con abundante pastizal después del inicio de la época húmeda. Durante la temporada seca los pastizales quedan con poca biomasa aérea en estado vivo, ya que están formados principalmente por plantas herbáceas anuales. Así mismo, las parcelas que se usan para cultivar el maíz de temporal, se cubren con el pastizal en los tiempos de descanso del terreno. Tan solo varios semanas es un tiempo suficiente para que el pastizal inducido aparezca en cualquier sitio del Bajío donde exista el suelo, ya que el banco de semillas en el suelo es muy abundante y solo depende de presencia de humedad para inicio de desarrollo de plantas. En los datos de clasificación de uso del suelo en la Tabla 1.4.3 y en la imagen

1.4.11, una parte de las superficies que aparecen con clase “pastizal inducido seco/agricultura” actualmente cuentan con pastizales efímeros que se desarrollan en los sitios de terrenos agrícolas. Otro factor que contribuye a que en ocasiones tanto pastizales como matorrales inducidos aparezcan como espacios sin vegetación es la práctica tradicional de quema de pasto y maleza, todavía usado ocasionalmente en el Bajío.



Fuente: fotografía V. Shalisko.

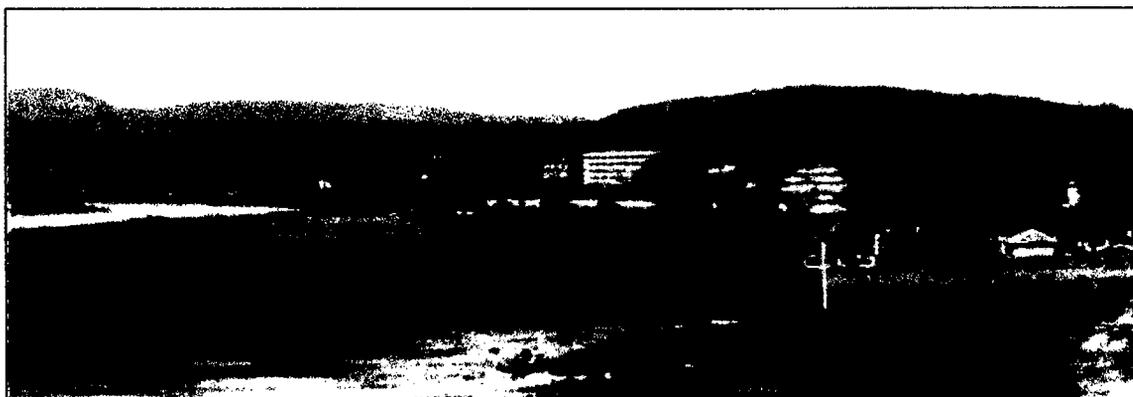
Imagen 1.4.11. Pastizal inducido con fragmentos de matorral y elementos riparios en el área de aplicación. -

Los pastizales inducidos en la zona del Bajío están formados principalmente por los representantes de las familias Poaceae, Asteraceae, Fabaceae, Euphorbiaceae, Malvaceae entre otros. Muchas de las especies comunes en los pastizales inducidos de la zona son las plantas introducidas en México o especies registrados como invasoras. Penetración de los componentes florísticos exóticos no es inusual en las zonas con extensas prácticas agrícolas, de jardinería y urbanización. Entre las especies exóticas que ocurren en forma espontánea en los pastizales inducidos del Bajío aparecen numerosos elementos con el uso en áreas verdes urbanas, además de numerosos malezas agrícolas y elementos ruderales. Consideramos que la presencia de las especies exóticas e invasoras en el Bajío representa un peligro latente para la composición florística de ecosistemas en APFF “La Primavera”, ya que es imposible prevenir dispersión de su germoplasma por los diversos agentes a los sitios en interior del Área Protegida. Las políticas de control de uso de las especies en el área de aplicación pueden ser necesarios como elemento de protección de ecosistemas en el APFF. En conclusión, un factor biótico muy importante que afecta el estado de los pastizales en la zona del Bajío en la actualidad, es la alteración de su estructura florística como consecuencia de la competencia por parte de las plantas herbáceas invasoras, las cuales han sido ampliamente introducidas como parte de las

prácticas agropecuarias en los alrededores de Guadalajara y las cuales se han escapado de cultivo.

La composición de pastizal inducido común en el área de aplicación incluye *Bidens odorata*, *Cynodon nlemfuensis*, *Dalea leporina*, *Digitaria ciliaris*, *Drymaria cordata*, *Eclipta prostrata*, *Eleusine indica*, *Eragrostis pectinacea* y *Perityle microglossa* como componentes principales. No son inusuales los especies compartidos con matorral inducido: *Cosmos bipinnatus*, *Tithonia tubaeformis*, *Melanpodium tepicense*, *Tagetes micrantha*, *Cynodon dactylon*, *Cenchrus echinatus*, *Chloris virgata*, *Rhynchelytrum repens*.

En el Bajío no fueron detectados pastizales naturales primarios, por la razón de que todas partes de la cuenca del Bajío donde potencialmente podrían estar presentes pastizales naturales de clímax edáfico, están sustancialmente alteradas por las prácticas agropecuarias, urbanización y por contaminación con los residuos. Sin embargo, la parte de la cuenca endorreica más bajas, sitio del "paleolago" en cercanía con el nodo vial Anillo Periférico–Avenida Vallarta y en los alrededores del cuerpo de agua actual detectado en el análisis de uso del suelo, es la zona donde se observan restos de los pastizales naturales húmedos (Imagen 1.4.12). Debido al estado actual de estos pastizales, es posible clasificarlos como predominantemente secundarios, con presencia de elementos de pastizales húmedos originales. Los suelos de tipo de fluvisoles y presencia de inundación del suelo son los factores que favorecen presencia de los elementos florísticos subacuáticos y tolerantes a inundación. Entre los componentes subacuáticos presentes en estos pastizales se puede mencionar *Cyperus* spp., *Aster subulatus*, *Commelina coelestis*, *Polygonum* spp.



Fuente: fotografía V. Shalisko 2004.

Imagen 1.4.12. Vista de restos de pastizal inundable natural en la parte baja del Bajío.

1.4.1.8. Vegetación arvense y ruderal

La vegetación de malezas asociada con los campos de cultivos y con asentamientos humanos corresponde a los componentes arvenses y ruderal de la flora. Estos componentes forman parte de los ecosistemas de *hábitat artificial*, ya que su presencia es determinada por continuidad de prácticas humanas.

Las plantas silvestres que crecen en los campos agrícolas se conocen como plantas arvenses o más comúnmente como malezas, ya que en ausencia de control adecuado estas plantas reducen el rendimiento de los cultivos. Por lo tanto, es una comunidad vegetal estrictamente asociada con los ambientes transformados por el hombre, que se forma como resultado de la selección espontánea del lugar desde el nacimiento de la agricultura (Espinosa-García & Sarukhan 1997). Los cultivos de temporal han sido una importante práctica en la zona del Bajío en el pasado reciente, antes de la amplia urbanización de esta zona. Aunque actualmente la agricultura en la mayoría de los terrenos ha sido abandonada, en el área de aplicación permanecen ciertos elementos florísticos relacionados con cultivos. La vegetación arvense en el área de estudio está vinculada con el cultivo de maíz (*Zea mays*) y sorgo (*Sorghum bicolor*). La comunidad arvense de estos cultivos abiertos de temporal incluye *Bidens odorata*, *Cynodon dactylon*, *Galinsoga parviflora*, *Simsia amplexicaulis* y *Tithonia tubiformis* como componentes más usuales. Estos mismos elementos pueden estar presentes en la flora durante un tiempo prolongado, aún después del abandono de prácticas agrícolas y se integran en la composición de pastizales y matorrales inducidos. Componentes arvenses no son adversos a especies de plantas utilizadas en jardinería, particularmente los especies de familia Poaceae, con uso en formación de césped. El cultivo de pasto de césped es otra ruta de entrada de los elementos de vegetación arvense en el área de estudio.

El ambiente en el cual se encuentra la vegetación ruderal en el Bajío incluye todos los sitios cercanos a las zonas urbanizadas apropiados para crecimiento de vegetación espontánea: terrenos baldíos, potreros, orillas de calles, de terracerías y de otras vías de comunicación, sitios de construcción abandonados, basureros, etc. La vegetación ruderal no presenta una composición florística muy determinada y está formada en su mayor parte por las plantas conocidas como malezas. La mayoría de las malezas que forman esta vegetación son las plantas herbáceas y solo pocas especies pueden asumir la forma de arbustos o pequeños árboles hasta 3-5 m. Estas plantas tienen la capacidad de producción de un gran número de semillas que conservan su fertilidad por años, así pueden germinar, competir y persistir en el medio ambiente intensamente modificado y perturbado. Las plantas ruderales claramente presentan una estrategia ecológica y evolutiva de tolerancia al disturbio. La abundancia de las especies que son componentes de este tipo de vegetación puede variar drásticamente de un año a otro y existe una notable dinámica de cambio de las abundancias relativas de diferentes malezas en el región causada por fenómenos naturales y por introducción de nuevas especies (Rzedowski & Calderón de Rzedowski 2004). Los elementos más frecuentes de este tipo de vegetación el área de aplicación son: *Anoda cristata*, *Aster subulatus*, *Bidens odorata*, *Bidens pilosa*, *Brassica rapa*, *Cosmos bipinnatus*, *Lantana camara*, *Lepidium virginicum*,

Oenothera rosea, *Phytolaca icosandra*, *Reseda luteola*, *Ricinus communis*, *Rumex crispus*, *Salvia* spp., *Sida abutilifolia*, *Simsia amplexicaulis*, *Solanum* spp., *Tagetes* spp., *Tithonia tubiformis* e *Ipomoea purpurea*.

1.4.1.9. Vegetación subacuática y acuática

La vegetación subacuática y acuática, conocida también como vegetación riparia forma parte de los ecosistemas de cuerpos y corrientes de agua. El Bajío, siendo una importante zona de captura e infiltración de agua, no cuenta con los cuerpos y corrientes de agua perennes, excepto un cuerpo ubicado en la parte más baja de la cuenca endorreica en cercanía con el nodo vial Anillo Periférico–Avenida Vallarta (Imagen 1.4.13). Es evidente, que el cuerpo de agua (“paleolago”) ha existido permanentemente en este sitio hasta los tiempos recientes, cuando obras relacionadas con la urbanización de la zona han modificado el carácter de escurrimientos superficiales y alteraron situación con el lago. En la actualidad, existen restos del cuerpo de agua con una superficie ligeramente superior a 2 ha.



Fuente: fotografía V. Shalisko 2004.

Imagen 1.4.13. Cuerpo de agua ubicado en la depresión de la cuenca endorreica.

En el área de aplicación existen algunos cuerpos de agua artificiales (e. g. sistemas para desvío y acumulación de agua en el predio de JVC, los fuentes y pequeños lagos en los diversos fraccionamientos del área), pero estos cuerpos de agua son intermitentes, tratados y su vegetación espontánea es virtualmente ausente y por tanto inestable.

La flora acuática y subacuática vascular está restringida actualmente al sitio de “paleolago”, incluye componentes comunes en la cuenca Lerma-Chapala y Faja Volcánica Transmexicana. La diversidad florística del cuerpo de agua efímera evidentemente se redujo por afectación antropogénica. Los especies de hidrófilas libremente flotantes, que cubren el superficie de agua actualmente, incluyen *Lemna gibba*, *Lemna aequinoctialis*, *Spirodela polyrrhiza*. Los hidrófitas enraizadas sumergidas y hidrófitas enraizadas emergentes son poco representados en actualidad, incluyen *Typha domingensis*, *Egeria*

densa, Ludwigia octovalvis, Cyperus spp., Rorippa nasturtium-acuaticum, Polygonum spp., entre otras.

El pastizal húmedo fue mencionado como una de las comunidades asociados con condiciones de inundación en la sección 1.4.1.7. Además de pastizal húmedo las comunidades subacuáticos incluyen los componentes arbóreos muy dispersos en caso del Bajío trata exclusivamente de *Salix humboldtiana* y arbustivos de *Baccharis salicifolia*, que llegan a ser localmente abundantes.

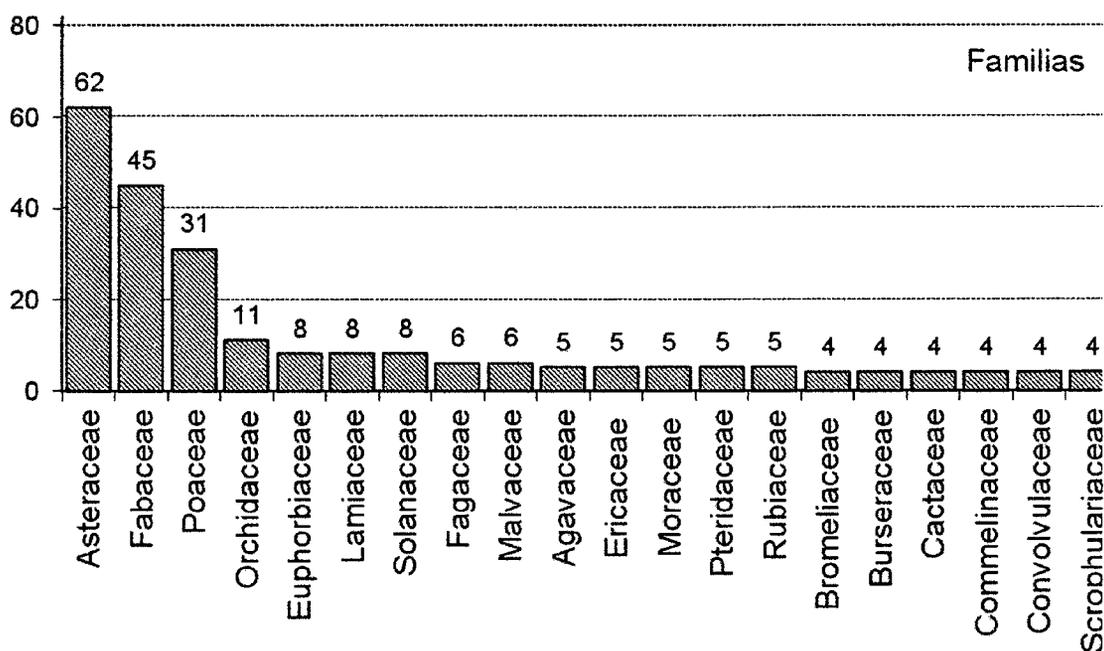
1.4.1.10. Comunidades de los microhábitats: vegetación rupícola

En la cercanía con el área de aplicación existen los sitios de microhábitat con comunidades vegetales de los escapes rocosos sustancialmente distintas en comparación con la vegetación circundante. Vegetación rupícola, asociada con afloramientos rocosos se encuentran en los límites de APFF “La Primavera” en los cerros El Chapulín, El Colli y en la mesa La Lobera. El tamaño de cada uno de estos sitios no supera los pocos metros cuadrados, como consecuencia, el hábitat para la comunidad rupícola es esencialmente restringido. Sin embargo, estos sitios no pueden ser omitidos por su importancia para el crecimiento de especies de plantas raras, endémicas y vulnerables. Los componentes florísticos presentes en este tipo de vegetación incluyen *Pitcairnia karwinski, Mammillaria jaliscana, Sedum meyranianum, Sedum jaliscana, Echeveria dactylifera, Epidendron rosilloi, Bletia tamayoana, Agave guadalajarana* y numerosos representantes de la clase Polypodiophyta. Por lo mínimo algunas de los especies de vegetación rupícola son endémicos de la región: *Sedum meyranianum* es conocido en dos sitios de Zapopan (entre ellos cerro El Colli), *Bletia tamayoana* es una orquídea terrestre conocida solo en el cerro El Colli, *Epidendrum rosilloi* es endémica del Bosque La Primavera, *Mamillaria jaliscana* una especie endémica de centro de Jalisco.

1.4.1.11 Análisis florístico

El análisis de la flora del área de aplicación y de su zona de influencia se basó en los datos bibliográficos relevantes para la zona y en las observaciones de campo. Entre los datos disponibles en literatura figuran los estudios sobre Cerro El Colli de Macías & Ramírez (2001); Cházaro & Lomelí (2002), los estudios de MIA para el estadio JVC (2003) y MIA para Villa Panamericana (2009). Fue revisado y analizado el listado florístico incluido en el Programa de Manejo del APFF “La Primavera” (SEMARNAT, 2000). Los datos sobre especies de plantas vasculares fueron verificados utilizando los fuentes como: base de datos de nomenclatura V3TROPICOS (2010), *Flora Novo-Galiciana* de R. McVaugh, colección *Flora de Jalisco* publicada por la Universidad de Guadalajara, *Flora del Bajío y Regiones Adyacentes* publicada por Centro regional del Bajío del Instituto de Ecología. Los datos propios sobre presencia de especies fueron incorporados a listado florístico (Tabla 1.4.7 en la sección 1.4.1.13).

El listado compilado incluye 346 especies de plantas vasculares que pertenecen a 229 géneros y 89 familias. Las familias y los géneros mejor representados en la flora están resumidos en la imagen 1.4.14. La distribución de los especies por tipos de vegetación sigue patrón de naturalidad de ecosistemas (imágenes 1.4.15 y 1.4.16). Mayor número de especies fue registrado en el bosque mixto de *Quercus* y *Pinus* (173 especies), elementos tropicales presentes en el Cerro el Colli incluyen 60 especies, elementos rupícolas propios de los escapes rocosos en este bosque cuentan con 26 especies; resumiendo los datos sobre el bosque fue detectado que la diversidad florística del bosque colindante con el área de aplicación es alta, con 227 especies de plantas vasculares, 84 (37.0%) de las cuales son endémicos de México y 11 (4.9%) son endémicos del Occidente de México, el endemismo total alcanza 41.9% de la composición florística.



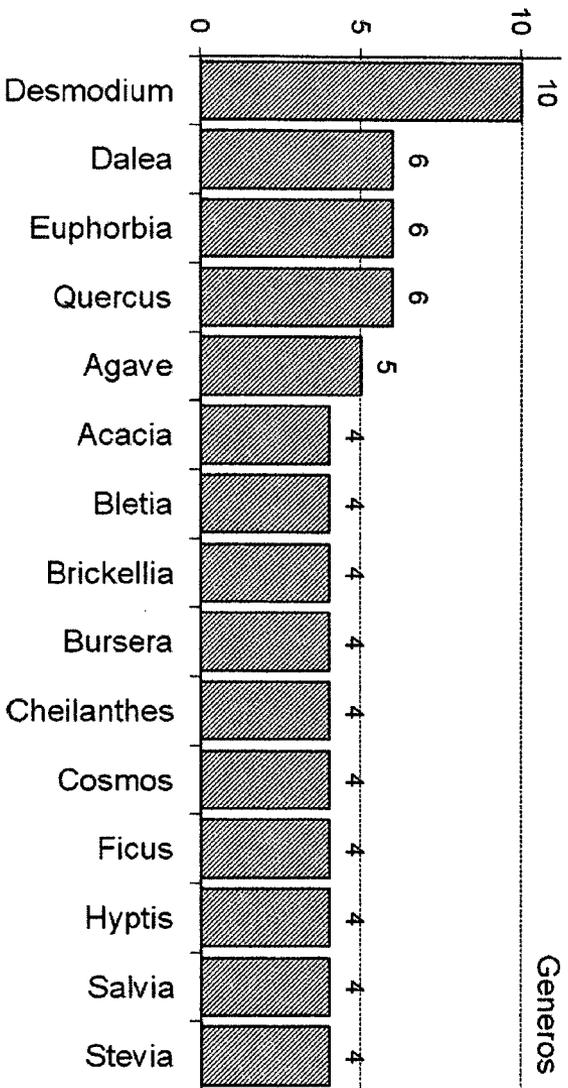
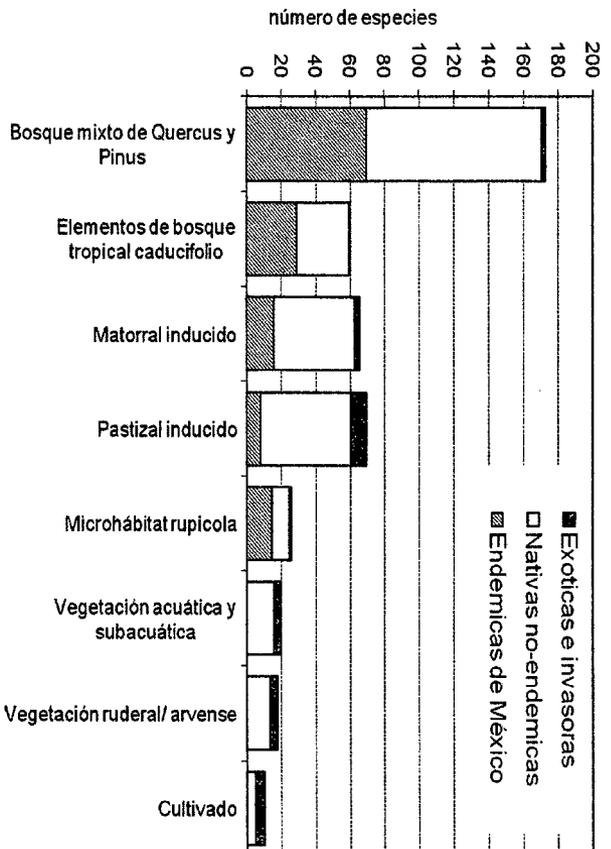


Imagen 1.4.14. Las familias y los géneros de flora vascular mejor representados en el Bajo Jalisco y en área de influencia de flora.

Fuente: Listado florístico.



Vegetación	Total especies	Nativas no-endémicas	Exóticas invasoras	Endémicas de México	Endémicas de Occidente de México	Exóticas invasoras (%)	Endémicas de México (%)	Endémicas de Occidente de México (%)
Bosque mixto de Quercus y Pinus	~180	~170	~10	~10	~10	~5.6%	~94.4%	~100%
Elementos de bosque tropical caducifolio	~50	~40	~10	~10	~10	~20%	~80%	~100%
Matorral inducido	~70	~60	~10	~10	~10	~14.3%	~85.7%	~100%
Pastizal inducido	~70	~60	~10	~10	~10	~14.3%	~85.7%	~100%
Microhábitat rupícola	~30	~20	~10	~10	~10	~33.3%	~66.7%	~100%
Vegetación acuática y subacuática	~30	~20	~10	~10	~10	~33.3%	~66.7%	~100%
Vegetación ruderal/ arvense	~30	~20	~10	~10	~10	~33.3%	~66.7%	~100%
Cultivado	~30	~20	~10	~10	~10	~33.3%	~66.7%	~100%

Bosque mixto de <i>Quercus</i> y <i>Pinus</i>	173	101	2	70	6	1.2%	40.5%	3.5%
Elementos de bosque tropical caducifolio	60	31	0	29	5	0.0%	48.3%	8.3%
Matorral inducido	66	47	3	16	2	4.5%	24.2%	3.0%
Pastizal inducido	70	53	9	8	1	12.9%	11.4%	1.4%
Microhábitat rupícola	26	10	1	15	4	3.8%	57.7%	15.4%
Vegetación acuática y subacuática	20	16	4	0	0	20.0%	0.0%	0.0%
Vegetación ruderal/ arvense	18	13	4	1	0	22.2%	5.6%	0.0%
Cultivado	10	4	5	1	0	50.0%	10.0%	0.0%
Total	346	222	13	111	12	3.8%	32.1%	3.5%

Fuente: Listado florístico.

Imagen 1.4.15. Volumen de la flora vascular por tipo de vegetación en el Bajío y en área de influencia.

Los elementos florísticos presentes en el área de aplicación incluyen 66 especies del matorral inducido, 70 de pastizal inducido, 18 especies de flora ruderal y/o arvense, 20 especies subacuáticas y acuáticas y 10 especies de plantas cultivadas. Con respecto al número de plantas cultivados, fueron considerados únicamente los especies que se distribuyen espontáneamente en el territorio del Bajío, los numerosos especies usadas en áreas verdes urbanas no se han incorporado aun a la flora de la zona de manera sustancial y no están incluidos en el análisis florístico. En resumen 150 especies de plantas vasculares pertenecen a flora espontanea de área de aplicación, de estas especies 20 (13.3%) son endémicas de México, 3 (2.0%) son endémicas del occidente de México, 12 (8.0%) son especies ajenas de flora mexicana, 11 (7.3%) están registradas como plantas invasoras (CONABIO 2009). El endemismo total es de 15.3% del volumen de flora en el área de aplicación.

Las formas de vida de plantas vasculares en la flora analizada incluyen árboles (44 especies), arbustos (53 especies), plantas herbáceas (230 especies), trepadoras y bejucos (7 especies), suculentas (12 especies), epifitas (2 especies), hidrófitas (4 especies).

Tabla 1.4.4. Afinidades florísticas de los componentes de flora de área de aplicación y del bosque colindante en área de influencia.

Afinidad florística	Área de aplicación	Ecosistemas del bosque	Toda la flora
---------------------	--------------------	------------------------	---------------

Afinidad florística	Área de aplicación		Ecosistemas del bosque		Toda la flora	
Endémicas de Occidente de México	3	2.00%	11	4.85%	12	3.47%
Endémicas de México	20	13.33%	84	37.00%	100	28.90%
México y Centroamérica	24	16.00%	61	26.87%	79	22.83%
Neotrópicos	28	18.67%	26	11.45%	51	14.74%
Norteamérica	16	10.67%	13	5.73%	24	6.94%
Américas	27	18.00%	15	6.61%	36	10.40%
Cosmopolita	19	12.67%	7	3.08%	23	6.65%
Exótica	12	8.00%	2	0.88%	13	3.76%
Total especies	150		227		346	

El análisis de las afinidades florísticas de plantas registradas en el listado permite evaluar el valor de la flora en el área de estudio y resumir la distribución de sus componentes (tabla 1.4.4). El área de aplicación cuenta con un porcentaje elevado de los componentes de flora exóticos, cosmopolitas o de amplia distribución en Américas. La contribución de endémicas es más bajo que el promedio de México (que es en orden de 30% de la flora según Rzedowski 1978). A diferencia con el área del estudio, el bosque incluye una mayor contribución de plantas autóctonas y endémicas de México (imagen 1.4.17), casi 4% de flora del bosque son endémicas estrictas del Occidente de México. La contribución de componentes de amplia distribución es relativamente baja en los ecosistemas del bosque. Se puede concluir, que la flora del área de aplicación no es única y cuenta con los componentes florísticos predominantemente sin problemas de sobrevivencia, pero la flora del bosque colindante es de alto valor e incluye una importante contribución de los componentes con distribución restringida, plantas endémicas y raras.

1.4.1.12 Especies de flora con estatus de protección

La flora en el área de aplicación y del bosque incluye varios componentes que están listados en los reglamentos nacionales e internacionales relacionados con la protección de especies (tabla 1.4.5).

A nivel nacional la Norma Oficial Mexicana actual NOM-059-SEMARNAT-2001 establece *Cedrela dugesii* S. Watson (Meliaceae) como especie endémica sujetas a protección especial (Pr). De acuerdo con la norma, sujetas a protección especial (Pr) se consideran aquellas especies o poblaciones que podrían llegar a encontrarse amenazadas por

factores que inciden negativamente en su viabilidad, por lo que se determina la necesidad de propiciar su recuperación y la conservación de poblaciones de especies asociadas. Esta planta endémica de Occidente de México está asociada con los fragmentos de bosque tropical caducifolio en el Cerro El Colli.

A nivel internacional existen dos documentos aplicables: el Convenio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES) con tres Apéndices y la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales (IUCN). En el Apéndice II de CITES para México están declarados todas las especies de familia Cactaceae, excluyendo las especies que están incluidos en Apéndice I y género *Pereskia*. En los sitios de muestreo fueron observadas 15 especies: orquídeas *Bletia amabilis* C. Schweinf., *Bletia ensifolia* L. O. Williams, *Bletia* sp., *Bletia tamayoana* Rosillo ex Soltero, *Epidendrum rosilloi* Hágsater, *Habenaria* aff. *clypeata* Lindl., *Habenaria diffusa* Rich. & Gal., *Habenaria jaliscana* S. Watson, *Malaxis* sp., *Spiranthes aurantiaca* (Lex.) Hemsl., *Spiranthes pyramidalis* Lindl. y cactaceae *Cephalocereus alensis* (Weber) Britt. & Rose, *Mammillaria jaliscana* (Britton & Rose) Boedeker, *Opuntia jaliscana* Wendl., *Opuntia robusta* Wendl. ex Pfeiff. Estas especies se asocian con el bosque mixto de *Quercus* y *Pinus*, fragmentos de bosque tropical caducifolio y específicamente con los afloramientos rocosos en los cerros El Chapulín, El Colli y mesa La Lobera. Los apéndices I, II y III de la Convención son listas de especies que ofrecen diferentes niveles y tipos de protección ante la explotación excesiva. En el Apéndice II de este documento figuran especies que no están necesariamente amenazadas de extinción pero que podrían llegar a estarlo a menos que se controle estrictamente su comercio.

En este Apéndice figuran también las llamadas "especies semejantes", es decir, especies cuyos especímenes son objeto de comercio semejante a los de las especies incluidas por motivos de conservación. El comercio internacional de especímenes de especies del Apéndice II puede autorizarse concediendo un permiso de exportación o un certificado de reexportación. En el marco de la CITES no es preciso contar con un permiso de importación para esas especies (pese a que en algunos países que imponen medidas más estrictas que las exigidas por la CITES se necesita un permiso). Sólo deben concederse los permisos o certificados si las autoridades competentes han determinado que se han cumplido ciertas condiciones, en particular, que el comercio no será perjudicial para la supervivencia de las mismas en el medio silvestre.

Tabla 1.4.5. Presencia de las especies con estatus en flora de área de aplicación y del bosque colindante en área de influencia.

Tipo de vegetación	En la NOM	En CITES	En la Lista Roja	Registradas como invasoras	Total
Bosque mixto de <i>Quercus</i> y <i>Pinus</i>	0	13	4	1	173

Tipo de vegetación	En la NOM	En CITES	En la Lista Roja	Registradas como invasoras	Total
Elementos de bosque tropical caducifolio	1	2	0	0	60
Matorral inducido	0	0	1	2	66
Pastizal inducido	0	0	1	6	70
Microhábitat rupícola	0	3	0	0	26
Vegetación acuática y subacuática	0	0	0	2	20
Vegetación ruderal/ arvense	0	0	0	4	18
Cultivado	0	0	0	1	10
Zonas					
Área de aplicación	0	0	1	11	150
Ecosistemas del bosque colindante	1	15	4	1	227
Toda la flora	1	15	5	11	346

La lista Roja de IUCN incluye cinco especies del listado general, de las cuales tres taxa se consideran “especie no amenazada de riesgo menor” (LR/lc ver. 2.3 (1994)) – *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M. C. Johnston, *Pinus devoniana* Lindl., *Pinus oocarpa* Schiede ex Schldl.; otros dos se consideran “especie no amenazada de riesgo menor dependiente de conservación” (LR/cd ver. 2.3 (1994)) *Arbutus xalapensis* Kunth y *Arbutus glandulosa* Mart. & Gal. De acuerdo con la clasificación de categorías versiones 3.1 (2000) y 2.3 (1994) de Categorías y Criterios de la Lista Roja de UICN, un taxón está en categoría de “especie no amenazada de riesgo menor” o “especie de preocupación menor” cuando ha sido evaluado según los criterios y no satisface, actualmente, los criterios para entrar a categorías “En Peligro Crítico”, “En Peligro”, “Vulnerable” o “Casi Amenazado”.

Fauna

La región del Bajío, Zapopan, forma parte del complejo geológico “La Primavera” por lo cual la fauna que habita ésta zona es parte de la biodiversidad de la reserva “Área de Protección de Flora y Fauna Bosque La Primavera” (APFFLP). Los estudio sobre la fauna del Bajío se deben comprender en el contexto de la reserva La Primavera como fuente y dispersora de especies; la composición de especies animales de la zona de contacto de la reserva del Bajío, presumiblemente se conforma por especies de hábitos facultativos, generalistas y especies cosmopolitas de rápida adaptación a los ambientes transformados, en su mayoría las especies son tolerantes a la perturbación, y resultan favorecidas por la presencia de hábitats moderadamente antropizados. Además de las características generalista de la mayoría de las especies del Bajío, encontramos especies en riego o bajo la norma oficial así como otras especies de hábitos regulares que se mueven en la región, transitan por la zona, pernoctan en el Bajío y se refugian en el bosque “La Primavera”. El objetivo de este estudio es caracterizar la fauna del Bajío, éste último reconocido por ser una zona de transición y amortiguamiento entre la fauna y las actividades humanas.

1.4.2.1 Metodología

El trabajo metodológico comprendió las etapas de registros históricos de especies a partir de las fuentes de información secundaria y la derivada del trabajo de campo.

En ésta etapa se hizo la revisión de literatura científica que existe para el área de estudio y áreas aledañas para los grupos de vertebrados terrestres de interés (aves, mamíferos, anfibios y reptiles). De las especies reportadas para cada grupo faunístico, se infiere su presencia a partir de dichos estudios y por la discriminación de especies de acuerdo a los tipos de vegetación, su distribución altitudinal y latitudinal, entre otras variables, argumentando una similitud de hábitat entre el área de estudio y los citados en la literatura.

Los estudios previos que ofrecen mejores aportaciones son: a) Estudio de evaluación de impacto ambiental para el proyecto JVC (Centro de cultura, convenciones y negocios) realizado en 2003; b) Estudio de evaluación de impacto ambiental para el proyecto de desarrollo de la Villa Panamericana del 2009; y c) una referencia obligada para este estudio es el Programa de manejo del Área de Protección de Flora y Fauna Bosque La Primavera (1990) y su actualización (2009). De igual forma se solicitaron datos y registros de animales a la Dirección Ejecutiva de la reserva “Bosque La Primavera”.

1.4.2.2 Trabajo de campo

Los métodos de muestreo de campo utilizados fueron de dos tipos:

a) Métodos directos: que consistieron en el uso de cámaras trampa; observación directa en recorridos y transectos. Con el apoyo de imágenes de satélite Google Earth (Imagen

1.4.18) se seleccionaron los sitios de muestreo previo a las salidas de campo, la selección comprendió el establecimiento de zonas, pasos y trayectos de fauna apropiados para la colocación de cámaras trampa, las cámaras se colocaron en puntos de baja actividad humana y en la zona de transición de la vegetación entre el Bajío y la reserva.



Imagen 1.4.18. Imagen del Bajío en la cual se muestra en una línea verde los recorridos de reconocimiento y con puntos rojos los sitios que se eligieron para la instalación de cámaras trampa.

Para la búsqueda de los grupos de herpetofauna (anfibios y reptiles), aves y mamíferos, se realizaron transectos para el registro de evidencias directas e indirectas (Tabla 1.4.7). Se ubicaron las áreas apropiadas para cada recorrido y se registró la ubicación del transecto en los mapas correspondientes (Imagen 1.4.19 y 1.4.20). El presente trabajo integra los resultados de campo del estudio "Proyecto de desarrollo urbano Villa Panamericanas".

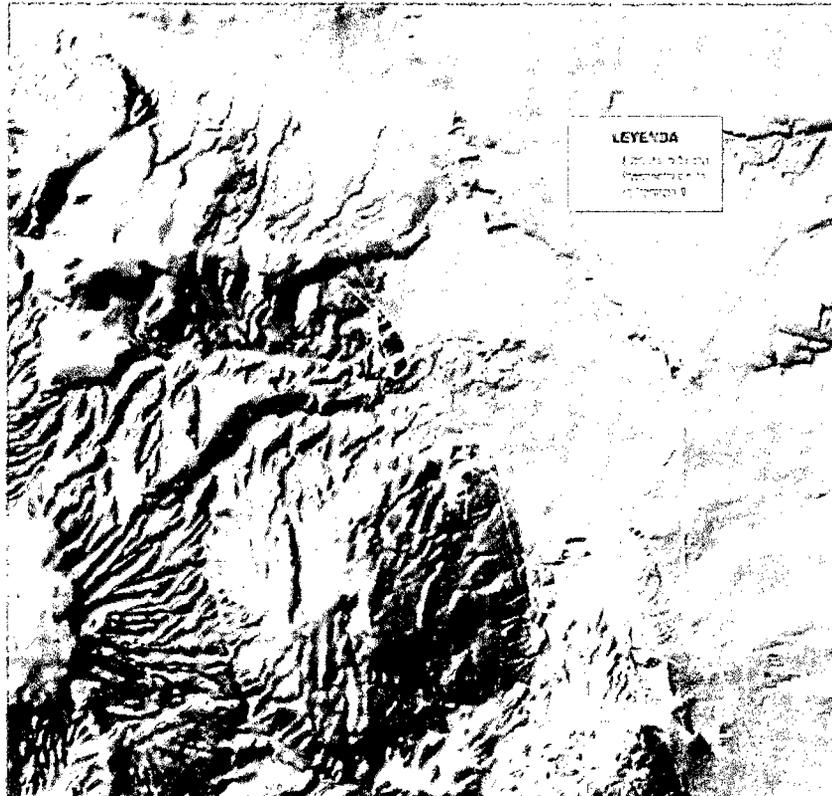


Imagen 1.4.19. Indica los transectos (verde) y recorridos (amarillo) para el registro de los vertebrados terrestres.

b) Métodos indirectos: consisten en registrar la presencia de las especies mediante rastros o evidencias físicas recientes como madrigueras, huellas, excretas, rascaderas, letrinas, sitios de alimentación, de anidación, muda de piel, cadáveres, vocalizaciones, alimento, aroma, entre otros. Se realizaron entrevistas a los habitantes de la localidad con la finalidad de determinar la presencia o ausencia de las especies.

A) Herpetofauna (anfibios y reptiles)

Se generaron listados de especies de anfibios y reptiles mediante revisión de literatura especializada; además en la zona de transición y contacto entre El Bajío y el bosque de La Primavera, se tomaron datos de campo que sirvieron para corroborar y ampliar los listados potenciales con nuevos registros. Se realizaron 3 visitas a la zona de estudio y en cada visita se realizaron transectos al azar (Tabla 1.4.7) en los cuales se buscó algún indicio de la presencia de estos grupos, ya sea mediante mudas de piel (en el caso de las serpientes), cadáveres, rastros, entre otros. Igualmente, se registro cualquier sitio idóneo que les ayudara de refugio o escondite a los reptiles y anfibios (bajo y sobre piedras, huecos de arboles, cavidades en el suelo).

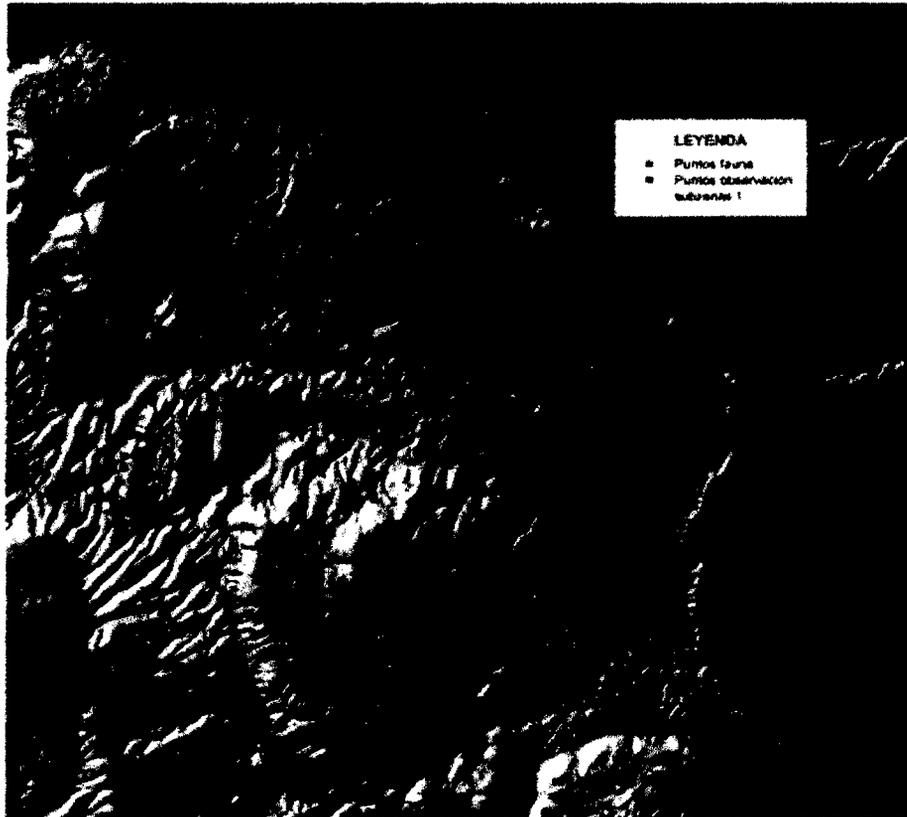


Imagen 1.4.20. Modelo de elevación del terreno. Se indica en puntos verdes y amarillos los sitios de muestreo y de observación de los diferentes grupos de fauna

Los sitios se revisaron mediante la ayuda de un gancho herpetológico, el cual permite manipular con mayor seguridad a los reptiles, especialmente a las serpientes (Imagen 1.4.21). A los ejemplares de reptiles y anfibios capturados se les tomaron datos de colecta y datos morfológicos para su identificación con ayuda de literatura especializada como guías ilustradas de estos dos grupos taxonómicos los cuales son: Anfibios y Reptiles del Bosque La Primavera (Reyna-Bustos et al. 2007), la Guía de Campo de Anfibios, Reptiles, Aves y Mamíferos de México Occidental (Myska 2007), la Recopilación de Claves Para la Identificación de Anfibios y Reptiles de México (Flores-Villela et. al. 1995), Anfibios y Reptiles del Estado de Chihuahua (Lemos-Espinal y Smith 2007), la Guía Anfibios y Reptiles de Aguascalientes (Vázquez y Quintero 2005) y la Guía Anfibios y Reptiles del Estado de Coahuila (Lemos-Espinal y Smith 2007).

Tabla 1.4.7. Transecto de búsqueda de anfibios y reptiles en el Bajío y la zona de transición con la reserva APFFLP.

	X	Y	MSNM	Fecha
Transecto 1				
Inicio	658089	2289162	1709	14-Nov-10
Fin	657850	2289804	1705	
Transecto 2				
Inicio	657880	2289453	1547	18-Nov-10
Fin	657919	2289525	1577	
Transecto 3				
Inicio	657885	2289653	1611	18-Nov-10
Fin	657879	2289824	1551	
Transecto 4				
Inicio	657849	2289825	1557	18-Nov-10
Fin	657774	2289813	1580	
Transecto 5				
Inicio	657583	2290130	1586	18-Nov-10
Fin	657858	2289859	1586	
Transecto 6				
Inicio	657893	2289925	1634	21-Nov-10
Fin	657898	2289824	1633	
Transecto 7				
Inicio	657890	2289806	1634	21-Nov-10
Fin	657853	2289658	1697	



Imagen 1.4.21. Búsqueda de anfibios y reptiles. A) Transectos de búsqueda. B) Captura de individuos.

B) Aves

Este ha sido uno de los grupos de vertebrados terrestres mejor trabajados en el área de estudio. Existen diferentes proyectos encaminados en conocer la avifauna de la reserva La Primavera y la mayoría de las especies listadas como potenciales ya han sido corroboradas con trabajos de campo previos. Adicionalmente se registraron las especies observadas durante la realización de los transectos de búsqueda de otros grupos faunísticos (Imagen 1.4.22) (ver sección de herpetofauna y mamíferos).



Imagen 1.4.22. Observación de aves.

C) Mamíferos

Se generaron listados de especies de mamíferos mediante revisión de literatura especializada y cuya información se generó a partir de estudios dentro de la zona del Bosque de la Primavera. Adicionalmente se realizaron muestreos de campo para corroborar la presencia de ciertas especies y ampliar los listados potenciales. Para el trabajo de campo, se realizaron 3 visitas a la zona de estudio. Se utilizó la técnica de transectos de búsqueda y observación (Tabla 1.4.8), la cual consiste en establecer caminatas a lo largo de trayectos lineales o siguiendo brechas y caminos, para registrar todas las especies observadas y/o evidencias. Cada evidencia y observación fue registrada y fotografiada para su posterior determinación mediante referencias bibliográficas especializadas.

Con el objetivo de incrementar las posibilidades de registrar las especies de mamíferos de talla grande y mediana, adicionalmente, se instalaron cámaras trampa (Tabla 1.4.9). Las cámaras funcionan mediante un sensor de movimiento que se activa cuando el animal pasa frente de la cámara. Las cámaras fueron colocadas en la zona de contacto y transición entre el Bajío y el APFFLP, principalmente dentro del bosque de *Quercus*. Para la colocación de las cámaras, se eligieron lugares estratégicos en donde se encontró algún rastro indirecto (Imagen 1.4.23).

Tabla 1.4.8. Transecto de búsqueda de evidencias directas e indirectas de mamíferos en el Bajío y la zona de transición con la reserva APFFLP.

	X	Y	MSNM	Fecha
Transecto 1				
Inicio	658089	2289162	1709	14-Nov-10
Fin	657850	2289804	1705	
Transecto 2				
Inicio	657880	2289453	1547	18-Nov-10
Fin	657919	2289525	1577	
Transecto 3				
Inicio	657885	2289653	1611	18-Nov-10
Fin	657879	2289824	1551	
Transecto 4				
Inicio	657849	2289825	1557	18-Nov-10
Fin	657774	2289813	1580	
Transecto 5				
Inicio	657583	2290130	1586	18-Nov-10
Fin	657858	2289859	1586	
Transecto 6				
Inicio	657893	2289925	1634	21-Nov-10
Fin	657898	2289824	1633	
Transecto 7				
Inicio	657890	2289806	1634	21-Nov-10
Fin	657853	2289658	1697	

Tabla 1.4.9. Localización de las cámaras trampa dentro de la zona de Contacto y transición entre el Bajío y el APFFLP.

	X	Y	Fecha Inicio	Fecha Fin
Cámara 1	658053	2289737	14-Nov-10	18-Nov-10
Cámara 2	650250	2286712	14-Nov-10	18-Nov-10
Cámara 3	657872	2289742	14-Nov-10	18-Nov-10
Cámara 4	657875	2289815	14-Nov-10	18-Nov-10
Cámara 5	657865	2289782	21-Nov-10	24-Nov-10
Cámara 6	657889	2289836	21-Nov-10	24-Nov-10
Cámara 7	657860	2289883	21-Nov-10	24-Nov-10

Las cámaras se sujetaron a los árboles a una altura aproximada de 60-70 cm del suelo para tener registros tanto de mamíferos de talla grande como de medianos. Las cámaras-trampa se instalaron y activaron a partir del primer día en el sitio de estudio y se reubicaron en algunas ocasiones, las cámaras permanecieron instaladas y activas durante 7 días con un total de 600 horas/trampa.

La determinación de las especies de mamíferos registradas durante el trabajo de campo se llevó a cabo con el apoyo de las sinopsis de Ceballos y Oliva (2005), de Villa y Cervantes (2003), los registros indirectos (huellas, excretas etc.), se identificaron con base a la guía de huellas y otros rastros de mamíferos de Aranda (2000). La nomenclatura taxonómica de las especies de mamíferos se basó en lo propuesto por Wilson y Reeder (2005).



Imagen 1.4.23. Colocación de cámaras trampa para el registro de mamíferos medianos y grandes.

1.4.2.3 Resultados

A) Riqueza específica total

Se registraron un total de 24 órdenes, 80 familias y 296 especies potenciales para el área de estudio junto con el APFFLP. El grupo de las aves fue el que presentó la mayor diversidad (149 especies), seguido por el grupo de los mamíferos (83 especies), luego los reptiles (52 especies) y el grupo menos representado en los listados fue el de los anfibios (19) (Imagen 1.4.24).

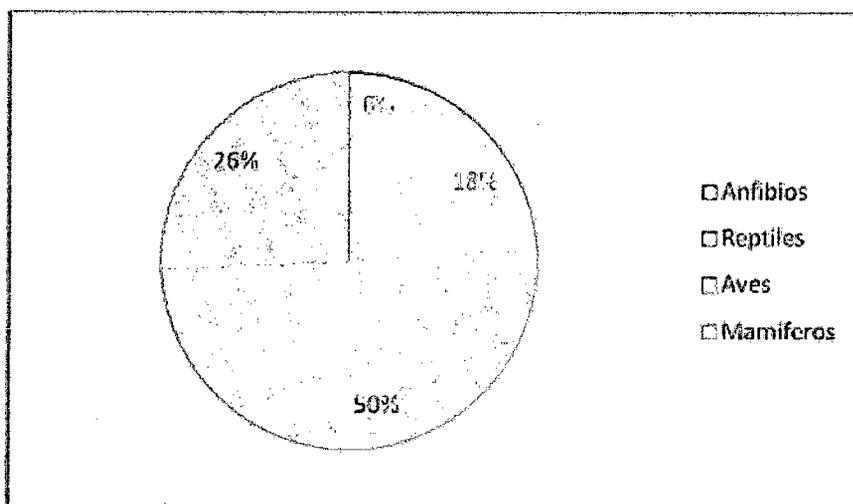


Imagen 1.4.24. Abundancia relativa de los vertebrados terrestres potenciales del Bajío y las reportadas para el APFFLP.

Anfibios y Reptiles

Dentro del grupo de los Anfibios se tiene un registro potencial de 19 especies pertenecientes a 2 órdenes, 9 familias y 13 géneros. No se lograron registros en campo de las especies reportadas por la literatura. Esto puede deberse en parte a la época del año, fácil observar anfibios durante la temporada de lluvias; sin embargo en el reciente estudio “Proyecto de desarrollo urbano Villa Panamericanas”, se registro la especie *Hyla eximia* (Imagen 1.4.25) en el área del Bajío, el cual es un registro que corrobora la presencia de la especie en el área.



Imagen 1.4.25. Especies de anfibio del bosque de Quercus. *Hyla eximia*.

En lo que se refiere al grupo de los reptiles se reportan 52 especies potenciales que pertenecen a 2 órdenes, 14 familias y 38 géneros; de estos durante los recorrido en campo se logró registrar 3 especies: *Sceloporus albiventris* (roño) (imagen 1.4.18), *Sceloporus torquatus* (roño) y *Norops nebulosus* (Anolis pañuelo) (Imagen 1.4.26)

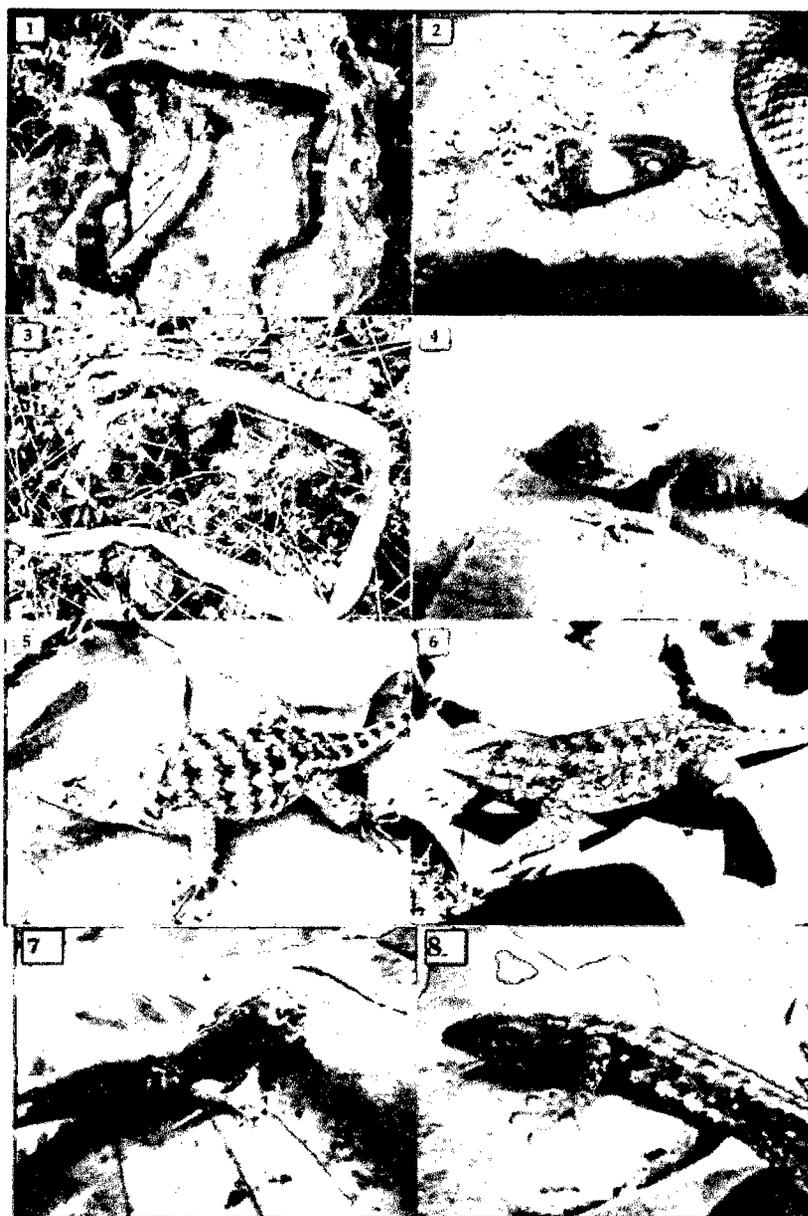


Imagen 1.4.26. Especies de reptiles presentes en el área de estudio y el ANPFFLP. 1- 2) *Lampropeltis triangulum* (falso coralillo), 3) Muda de piel de *Drymarchon melanurus* (tilcuate), 4) y 7) *Norops nebulosus* (anolis pañuelo), 5) *Sceloporus scalaris* (roño), 6) *Sceloporus horridus* (roño) 8) *Sceloporus alviventris*.

Aves

Para este grupo se reportaron 12 órdenes, 36 familias, 102 géneros y 149 especies potenciales (Imagen 1.4.27 a la 1.4.32).



Imagen 1.4.27. Especies de aves pertenecientes a la familia Emberizidae: 1) *Aimophila ruficeps* (zacatonero coronirujo), 2) *Ammodramus savannarum* (gorrión chapulín), 3) *Chondestes grammacus* (gorrión arlequín), 4) *Melospiza lincolni* (gorrión de Lincoln), 5) *Passerculus sandwichensis* (gorrión sabanero), 6) *Pipilo fuscus* (rascador arroyero), 7) *Poocetes gramineus* (gorrión coliblanco), 8) *Spizella passerina* (gorrión cejiblanco).



Imagen 1.4.28. Especies de aves pertenecientes a la familia Tyrannidae: 1) *Mitrephanes phaeocercus* (mosquero penachudo), 2) *Pyrocephalus rubinus* (mosquero cardenal), 3) *Tyrannus melancholicus* (tirano tropical), 4) *Tyrannus vociferans* (tirano gritón).



Imagen 1.4.29. Especies de aves pertenecientes a la familia Parulidae: 1) *Dendroica coronata* (chipe rabadilla amarilla), 2) *Dendroica nigrescens* (chipe negrigris), 3) *Vermivora celata* (chipe corona naranja), 4) *Wilsonia pusilla* (chipe de Wilson).

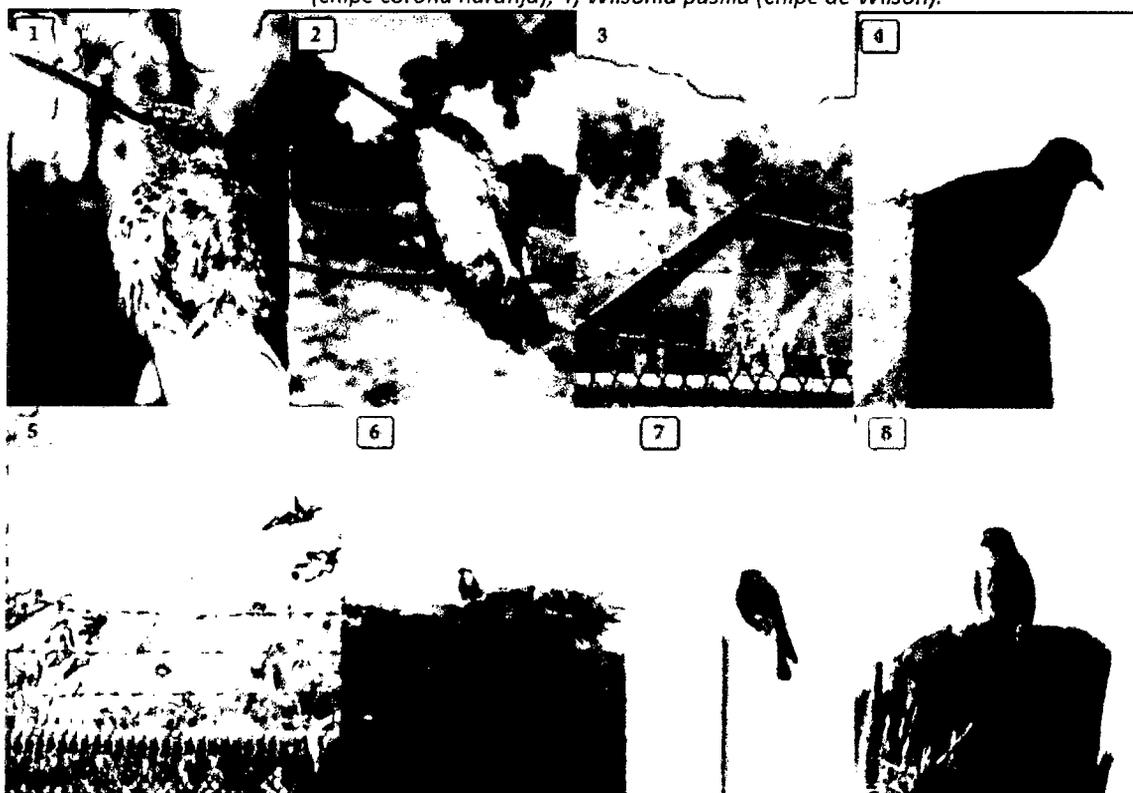


Imagen 1.4.30. Especies de aves pertenecientes a las familias Trochilidae: 1) *Amazilia beryllina* (colibrí de Berilo), 2) *Amazilia violiceps* (colibrí corona violeta) 3) *Cyananthus latirostris* (colibrí piquiancho). Columbidae: 4) *Columbina inca* (tórtola colilarga), 5) *Zenaida macroura* (paloma huilota). Falconidae: 6) *Caracara cheriway* (caracara común), 7-8) *Falco sparverius* (cernicalo americano).



Imagen 1.4.31. Especies de aves pertenecientes a las familias Ardeide: 1) *Bubulcus ibis* (garza ganadera). Laniidae: 2) *Lanius ludovicianus* (lanio americano). Mimidae: 3) *Toxostoma curvirostre* (cuitlacoche piquicurvo). Vireonidae: 4) *Vireo cassinii* (vireo de Cassin)

Se registraron cinco especies adicionales (Imagen 1.4.32) a las que ya se tenían reportadas en el trabajo de campo de otros estudios (Villa Panamericanas) que son *Coragyps atratus*, *Buteo jamaicensis*, *Accipiter cooperii*, *Falco sparverius* y *Corvus corax*. Se reportan junto con este trabajo, 36 especies observadas en la zona de contacto y transición entre el Bajío y el APFFLP.



Imagen 1.4.32. Aves rapaz registrada mediante transectos de observación (*Buteo jamaicensis*).

Mamíferos

Se reportaron 8 órdenes, 21 familias, 61 géneros y 76 especies potenciales de mamíferos para el Bajío y la zona de influencia el APFFLP. Mediante la técnica de transectos se

encontraron evidencias y observaciones de 8 especies: *Didelphis virginiana* (tlacuache), *Sylvilagus floridanus* (conejo), *Spermophilus variegatus* (tesmo), *Bassariscus astutus* (cacomixte), *Lynx rufus* (lince), *Canis latrans* (coyote), *Urocyon cinereoargenteus* (zorra), *Odocoileus virginianus* (venado cola blanca) (Imagen 1.4.33, 1.4.34, 1.4.35).



Imagen 1.4.33. Rastros encontrados durante los transectos de búsqueda. 1) *Bassariscus astutus*, 2) *Canis latrans*, 3) *Lynx rufus*, 4) *Urocyon cinereoargenteus*.

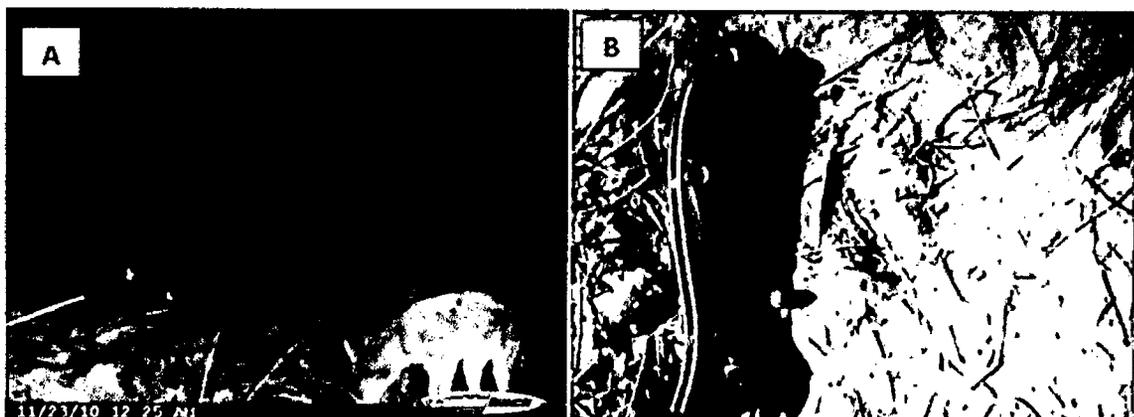


Imagen 1.4.34. A) Foto de *Canis latrans* (coyote) cámaras trampa. B) Huella de *Odocoileus virginianus* registrada durante los transectos.

La mitad de los registros hechos en la zona de contacto entre el Bajío y el APFFLP corresponden a especies del orden Carnívora (Imagen 1.4.31) y la otra mitad corresponden a las presas potenciales de este grupo de carnívoros. Otra observación importante que se hizo durante el trabajo de campo fue que las excretas encontradas de los carnívoros estaban conformadas casi en su totalidad de restos de animales. Lo contrario se ha encontrado en otras zonas de estudio donde, especies como el coyote, el zorro y el cacomixtle las cuales son más facultativas, su alimentación contiene una amplia gama de recursos. Particularmente las excretas de zorra se caracterizan por un alto contenido de restos de insectos y semillas, sin embargo las encontradas durante este trabajo se caracterizaron por un alto contenido de pelo (roedor) y muy pocos rastros de contenido vegetal o de invertebrados.



*Imagen 1.4.35. Los mamíferos del orden Carnívoro son los depredadores más importantes dentro del Bajío y el ANPFFLP. Las especies de carnívoros estrictos son: 1) el puma (*Puma concolor*) y 2) el linco (*Lynx rufus*), y entre los carnívoros facultativos se encuentran 3) el coyote (*Canis latrans*) y 4) la zorra (*Urocyon cinereoargenteus*).*

Destacamos en los resultados el registro del linco o gato montés (*Lynx rufus*), el cual se obtuvo por informantes calificados (lugareños) los cuales resaltan que se observa frecuentemente entre las parcelas en medio de la zona del Bajío. El linco es un depredador que juega un papel importante en los diversos ecosistemas de la región por su lugar en el

tope de la cadena trófica. Este tipo de organismos generalmente son tímidos y prefieren zonas con baja perturbación y donde casi no haya flujo humano, pero también son especies que aprovechan las zonas agrícolas como área de alimentación por la oportunidad que les proporciona una mayor cantidad de presas como son (ratones, conejos, ardillas, ardillones, tuzas, etc.) del orden Rodentia (Imagen 1.4.36).

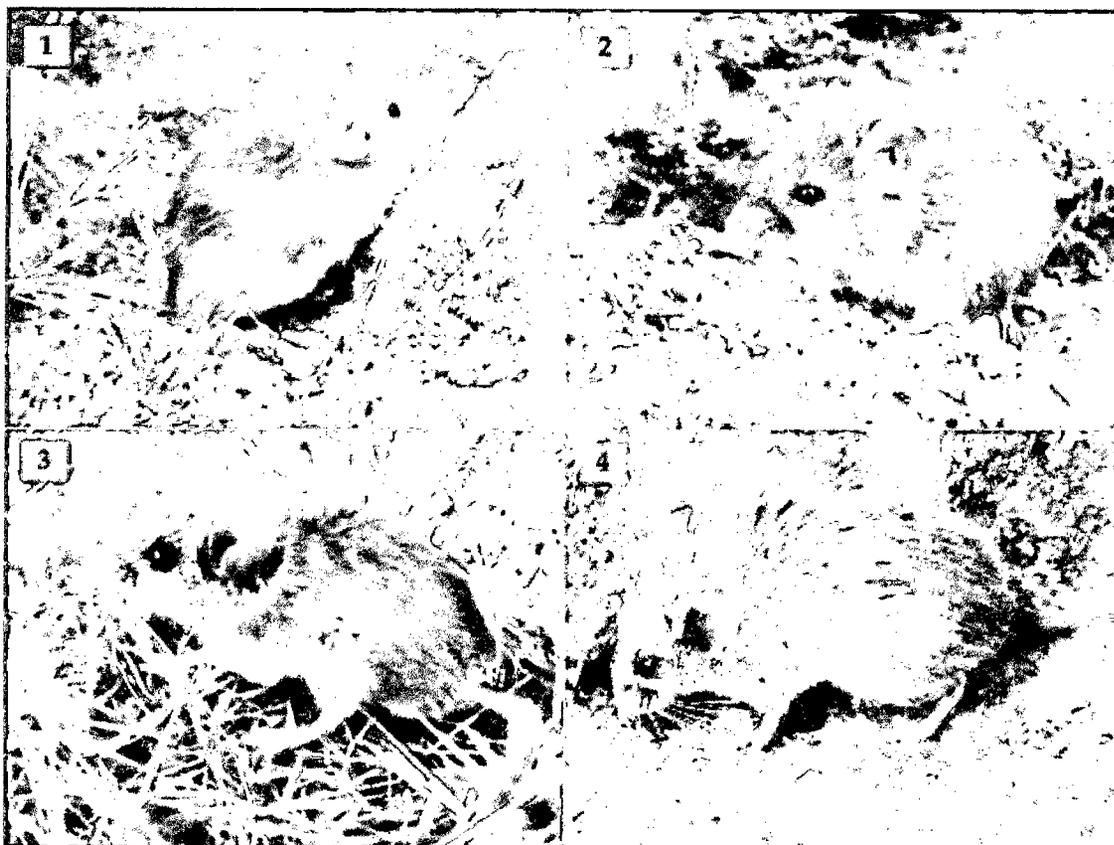


Imagen 1.4.36. Mamíferos pertenecientes al orden Rodentia, presas principales de los carnívoros que habitan la zona. 1) *Mus musculus* (ratón domestico), 2) *Baiomys taylori* (ratón silvestre), 3) *Peromyscus maniculatus* (ratón de campo), 4) *Peromyscus boylii* (ratón).

1.4.2.4 Descripción de ambientes

En relación al manejo de la fauna del Bajío se identifican cuatro unidades principales en las que diferentes especies de vertebrados terrestres se distribuyen y de las que pueden hacer un uso diferente y complementario. La selección de las unidades para la fauna se hizo con base a la calidad del hábitat y los movimientos de distribución local característicos de las especies. Estas cuatro unidades son I) el bosque de *Quercus* que pertenece principalmente al área protegida y cuenta con algunas áreas de pastizales naturales; II) zona de contacto o transición entre la zona protegida y el Bajío, esta es un área mixta de vegetación secundaria, pocos árboles de *Quercus sp.*, y matorrales y

pastizales inducidos principalmente; III) zona de cultivos, pastizales inducidos y agricultura; IV) las zonas que se encuentran bajo un uso del suelo urbano (Tabla 1.4.10; Imagen 1.4.37)

Tabla 1.4.10. Cuatro áreas de interés para la fauna del Bajío y sus representaciones en las subunidades reconocidas en el estudio

Id	Nombre	Áreas fauna
4	Corredor primavera	I
6	Gasolinera periférico	II
8	Las Torres	
14	Socavón sur	
12	Socavón Boca de la Arena	
9	Parteaguas y humedal norte	
10	Piedemonte norte	
1	Ayamonte	III
5	Estadio	
13	Socavón JVC	
3	Convento	
2	Cd. Judicial	IV
7	Hípico	
11	Rancho contenido	

La fauna se distribuye de manera diferente en estas cuatro unidades y no solo difieren por su riqueza de especies, sino también por el uso que cada uno de estos hace del ecosistema. En la siguiente grafica (Imagen 1.4.38), se puede observar la distribución de la riqueza de cada grupo de vertebrados en los diferentes tipos de vegetación que se encuentran dentro de estas cuatro diferentes unidades. Se observa que la unidad con una mayor diversidad es la que se encuentra bajo protección (BE).

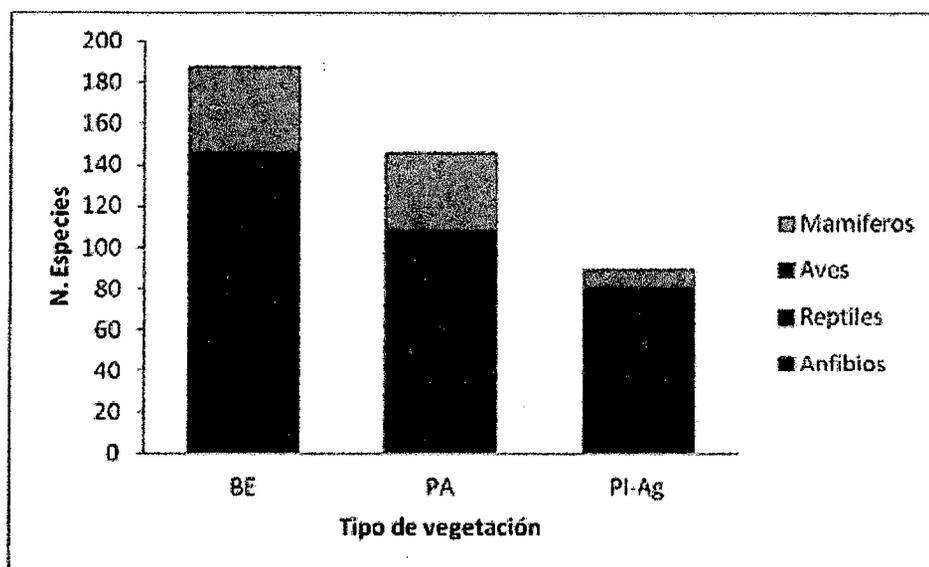


Imagen 1.4.38. Distribución de especies de vertebrados potenciales por tipo de vegetaciones características de la zona del Bajío y el área de contacto con el APFFLP. BE=Bosque de Encino (*Quercus*), PA=Pastizal, PI=Pastizal Inducido, SU=Sub-urbana, VS=vegetación secundaria.

A) Bosque de *Quercus*

Esta unidad corresponde al ambiente dentro de la reserva del Bosque La Primavera y la parte que hace contacto con el límite municipal del Bajío. Es un área conservada gracias a la protección que le ofrece el decreto de reserva (Imagen 1.4.39). Es la principal fuente de biodiversidad que existe para las áreas aledañas y para el Bajío, a la vez es de alta vulnerabilidad ante cualquier perturbación.

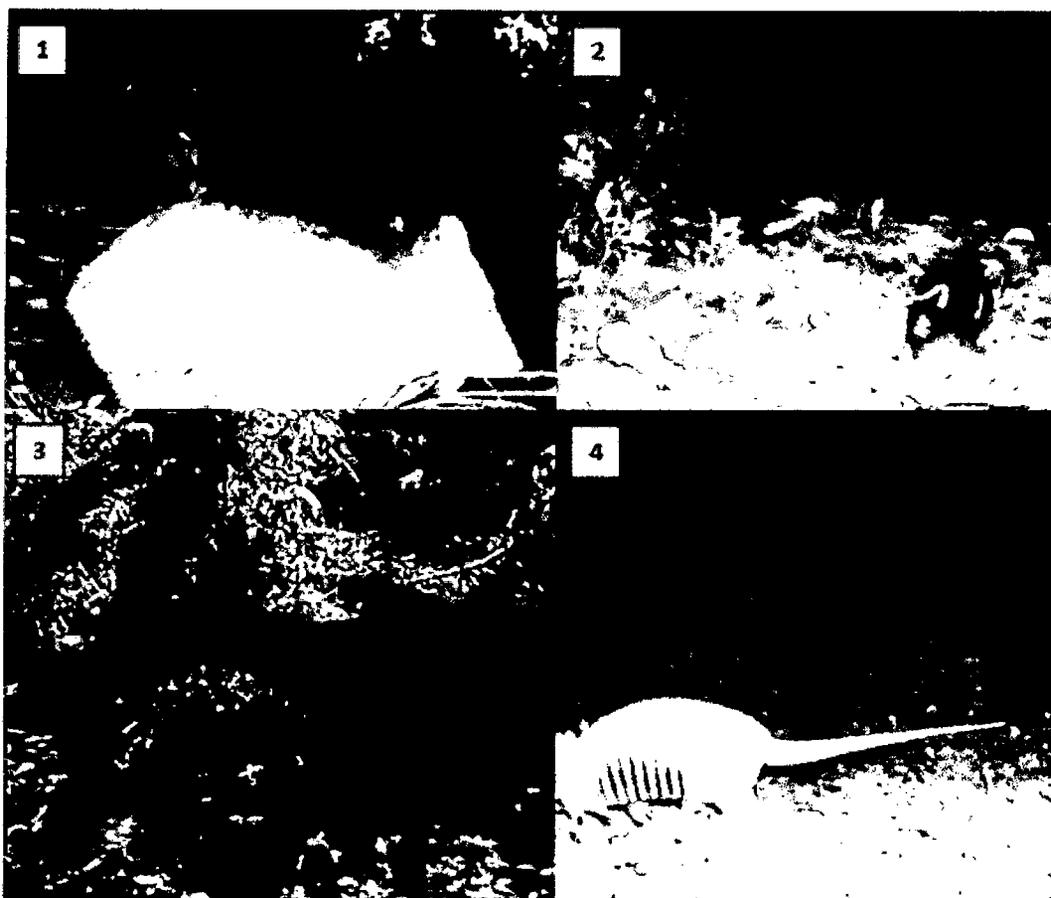
Con base en la distribución de especies potenciales, esta unidad fue la que registró el mayor número de especies con 188, que se distribuyen en bosque de *Quercus* y 176 en los pastizales naturales. El grupo más diverso es el de las aves con 77 especies en el bosque *Quercus* y 75 en los pastizales, seguido de los mamíferos con 42 y 37 respectivamente. El grupo con menos diversidad de especies para esta unidad y tipo de vegetación fue el de los anfibios con 19 especies en *Quercus* y 10 en pastizal, seguido de los reptiles con 50 y 24 respectivamente. La mayoría de las especies de los diferentes grupos faunísticos se encuentran en ambos tipos de vegetación.



Imagen 1.4.39. Bosque de *Quercus* dentro del APFFLP. Se puede observar una alta densidad de árboles y baja fragmentación dentro de los límites de protección de la reserva. Hábitat idóneo para el refugio de la fauna de la región.

Dentro de esta zona también se registraron el mayor número de especies durante el trabajo de campo. De las más importantes cabe resaltar la presencia de especies carnívoras que se encuentran en el tope de las cadenas alimenticias y que son importantes para mantener en equilibrio el funcionamiento de los ecosistemas. Entre estas especies se encuentran los carnívoros *Lynx rufus* (lince), *Canis latrans* (coyote), *Urocyon cinereoargenteus* (zorra); aves rapaces como *Accipiter cooperii* (gavilán de Cooper) y *Buteo jamaicensis* (aguililla colirroja). Los depredadores tope como los que se mencionan son indicadores de un ecosistema estable, ya que su presencia indica que existen poblaciones numerosas de otras especies que representan a sus presas principales. Aunque no se registró para este estudio, existen evidencia por otros trabajos de que esta zona es de uso de uno de los mayores depredadores que existen para México, el *Puma concolor* (puma), es una especie tímida que por lo general tiende a evitar el contacto con los humanos y sus animales, en el bosque de quercus, existen poblaciones lo suficientemente grandes de sus presas habituales como el *Odocoileus virginianus* (venado cola blanca), que le ofrecen una fuente suficiente de alimentación al puma (Imagen 1.4.40).

El Bosque de *Quercus* está en la frontera de la reserva La Primavera y provee condiciones para la reproducción y refugio de la fauna. Por ello, es de vital importancia mantener la estabilidad de esta unidad y evitar el contacto y avance de las actividades humanas hacia la línea política divisoria de la reserva.



*Imagen 1.4.40. Mamíferos que habitan el bosque de Quercus y transitan ocasionalmente en el área de contacto o transición. Especies como estas son las que sustentan las poblaciones de carnívoros de la zona, son susceptibles a la perturbación y necesitan de condiciones relativamente conservadas para soportar la depredación de otros mamíferos y poder mantener abundancias poblacionales estables. 1) Pecarí de collar (*Tayassu tajacu*), 2) tlacuache (*Didelphis virginiana*), 3) venado (*Odocoileus virginianus*), 4) armadillo (*Dasyus novemcinctus*).*

B) Zona de contacto o transición

Este ambiente en el Bajío, es la continuación del bosque de *Quercus*, sin embargo no es una extensión del bosque como tal, pues reserva solo pocos elementos característicos del bosque de *Quercus*, los elementos dominantes son pastizales y matorrales y abundan las parcelas de cultivos activos y abandonados. Su representación en el Bajío es una franja de aproximadamente 300 m. de ancho que bordea el Bajío y la zona de contacto con el límite de la reserva del Bosque La Primavera y comprende además otras áreas adyacentes (Imagen 1.4.41).

Funcionalmente el ambiente "zona de transición o contacto" para este estudio de fauna se entiende como una zona de amortiguamiento que permite un cambio gradual entre el hábitat del bosque (arriba) y el hábitat transformado (abajo). Para la fauna del Bajío esta

zona representa una oportunidad para completar los ciclos vitales como la reproducción que en algunas especies se ve severamente interrumpido por la acción humana. Ya que la función principal en este ambiente de amortiguar el potencial disturbio a causa de actividades humanas. Esta zona debe permanecer con niveles bajos de densidad poblacional, permitiéndose solo actividades relativas o adaptadas al paisaje actual, evitando así que se interrumpan los ciclos biológicos y se someta a la fauna al estrés ecológico y se vea obligada a cambiar sus hábitos ecológicos. Para el caso de la zona de transición es importante comprender que los límites políticos no tienen sentido en la distribución de las especies animales.

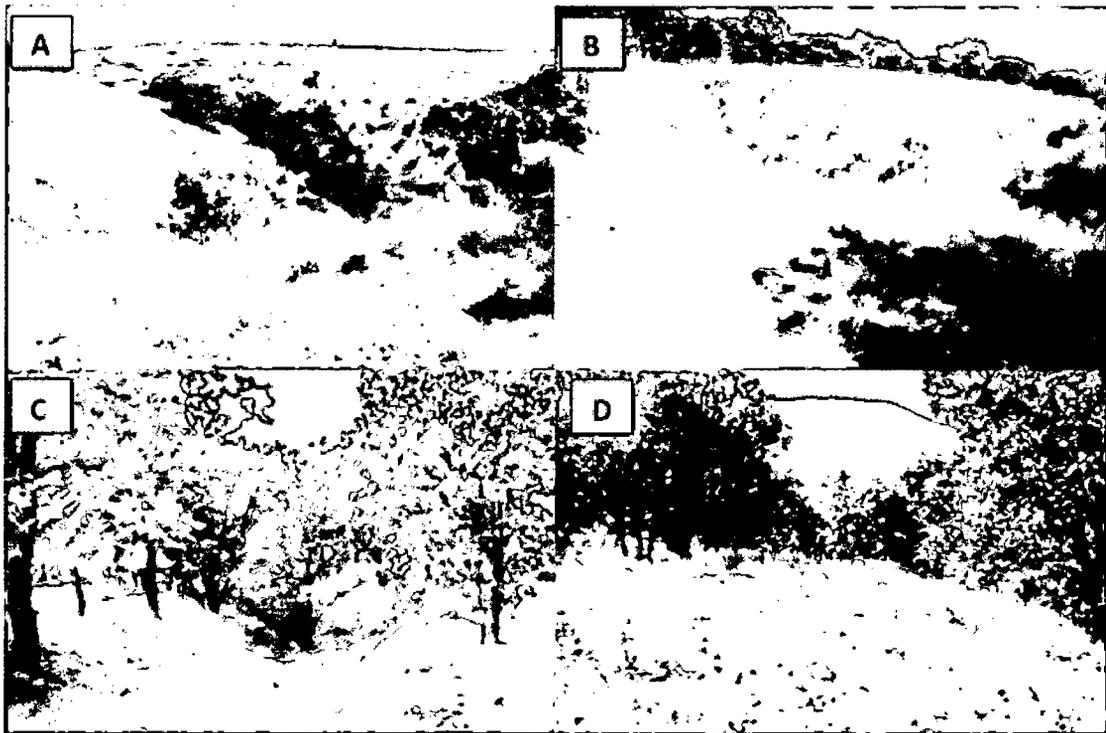
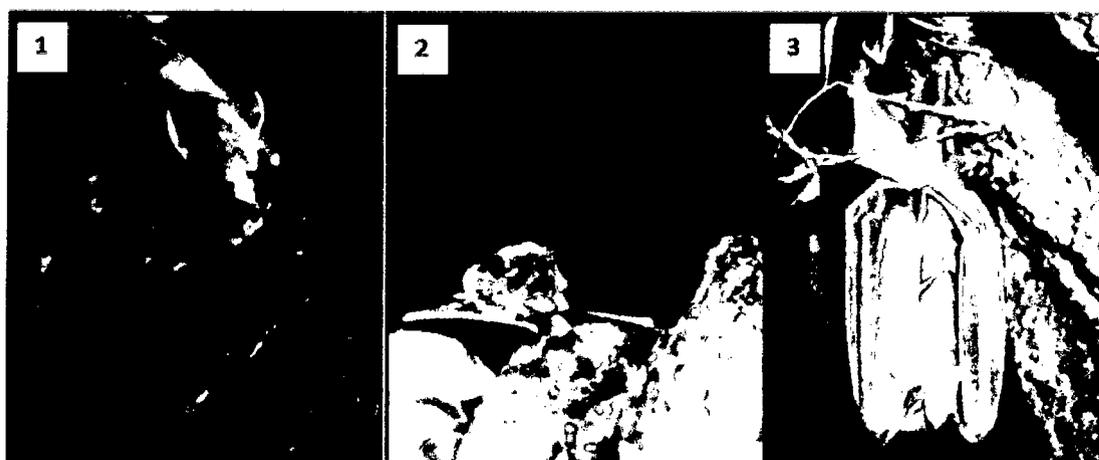


Imagen 1.4.41. Zona de contacto del Bajío y el APFFLP. La secuencia de las imágenes muestra la transición de los ambientes que van desde la ciudad que se distingue en el horizonte (A), la zona de pastizales cercana al borde del Bajío (B), que se va mezclando cada vez más con la vegetación característica de La Primavera que es el Quercus (C), finalmente se observa que la vegetación se hace más densa conforme nos alejamos de la zona de influencia de disturbio del Bajío (D). Aquí se pueden encontrar especies representativas de la unidad del Bosque de Quercus y de la unidad de cultivos y pastizal, que toleran niveles bajos de perturbación. (Imagen 1.4.39).



*Imagen 1.4.42. Especies como los murciélagos por su capacidad de movimiento utilizan varias unidades paisajísticas para realizar diversas actividades complementarias para su supervivencia. Las especies tolerantes a niveles bajos de perturbación “usan” las zonas antropizadas para su alimentación, pero en el caso de los murciélagos, estos dependen directamente del bosque conservado para buscar refugio y para reproducirse. 1) *Sturnira ludovici* (omnívoro, importante dispersor de semillas), 2) *Eptesicus fuscus* (insectívoro, importante controlador de plagas), 3) *Artibeus jamaicensis* (omnívoro-frugívoro, importante dispersor de semillas).*

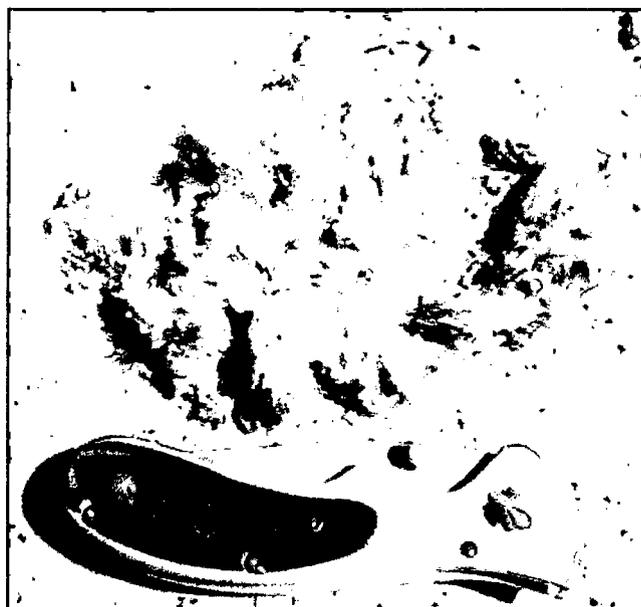


Imagen 1.4.43. Excreta de coyote con un contenido exclusivamente de pelo de presas pertenecientes al orden Rodentia.

La presente evaluación no define un número de especies para este ambiente de contacto ya que la mayoría son especies en tránsito que usan o pasan por la zona pero habitan principalmente en las unidades adyacentes. La diversidad se enriquece a través de la composición de especies de ambos ambientes en su mayoría predadores carnívoros facultativos de talla mediana como coyotes y las zorras así como aves rapaces los cuales se registraron por evidencias directas e indirectas. El análisis del contenido de las excretas de carnívoros evidenció una dieta casi exclusiva de pequeñas presas, que en comparación con otros sitios, los carnívoros facultativos del Bajío aparentemente no aprovechan recursos alternos como los frutos y los invertebrados (Imagen 1.4.43).

C) Zona de cultivos y pastizal

Esta unidad comprende vegetación del tipo agrícola, cultivos, pastizales y vegetación secundaria. Es el ambiente más característico y predominante en el Bajío. Abarca toda la zona que pasa la franja de contacto y llega casi al borde de la carretera Nogales, justo antes de la zona urbanizada del Bajío y de la ciudad de Guadalajara (Imagen 1.4.44)

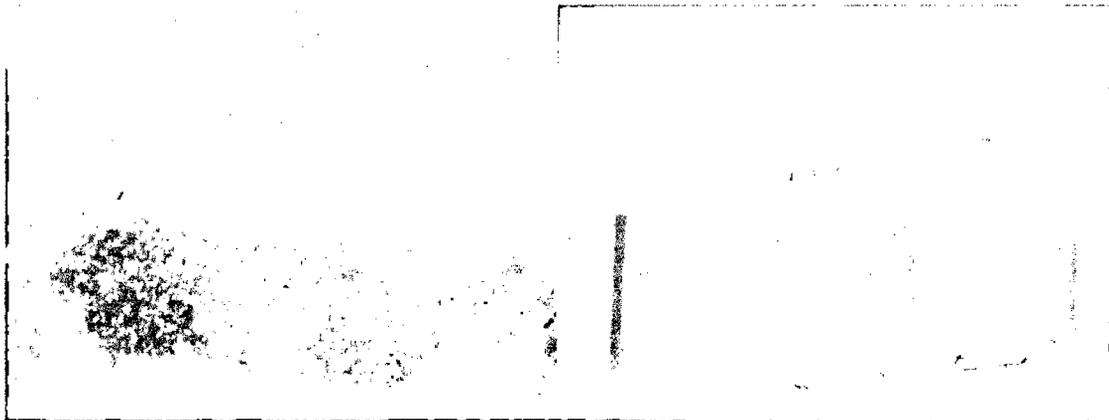


Imagen 1.4.44. Ambiente característico del Bajío. Los cultivos, pastizales, matorrales y vegetación secundaria son parte de la heterogeneidad ambiental que confiere ciertas ventajas a los grupos faunísticos más tolerantes al disturbio y que pueden verse beneficiados por ciertas actividades humanas.

Existe una fauna típica de este tipo de ambientes semi-perturbados. En este estudio se registraron 90 especies potenciales. El grupo con mayor representación en estos tipos de vegetación es el de las aves con 50 especies, seguido de los reptiles con 22, después están los mamíferos y los anfibios con 9 especies cada uno.

Los anfibios y los mamíferos tuvieron una baja representación porque son grupos sensibles a la perturbación y muchas especies tienen una alta especificidad de hábitat

como es el caso de las ranas y los mamíferos son animales elusivos que se mantienen alejados de zonas con actividad humana. La alta diversidad de aves se debe a la cantidad de alimento disponible como son los roedores, conejos y tuzas entre otros.

Es frecuente observar a las aves rapaces como el *Falco sparverius* (cernícalo Americano) y el *Accipiter striatus* (gavilán pajarero) (Imagen 1.4.45) alimentándose en esta zona.



Imagen 1.4.45. Accipiter striatus (Gavilán Pajarero), Especies bajo categoría de protección especial en la norma Mexicana NOM-059- ECOL -2001. Esta ave rapaz, es una de las muchas especies que se alimenta principalmente de roedores y pequeños reptiles y anfibios. Especies como estas dependen indirectamente de los ambientes de amortiguamiento que se presentan en el Bajío.

Al igual que la zona de contacto, esta unidad ofrece un espacio importante para la alimentación de diversas especies entre las que destacan las aves granívoras e insectívoras y los roedores. Estos grupos se benefician directamente porque la disponibilidad de alimento aumenta gracias a la diversidad de especies de plantas que proporcionan semillas y frutos a estas especies. Los cultivos y la perturbación moderada aumentan la disponibilidad de alimento para ciertos gremios tróficos como los mencionados anteriormente. Estos ambientes igualmente ofrecen oportunidades de refugio para grupos como las tuzas y los roedores, indirectamente otras especies son beneficiadas por estos ecosistemas semi-naturales. Al existir poblaciones importantes de roedores, ardillas, conejos, tuzas, entre otros, las aves rapaces y los carnívoros se ven beneficiados. Aunque se observa un grado de perturbación intermedia, deben mantenerse los niveles de perturbación controlados para que no se pierda el equilibrio que mantiene las interacciones animales entre las diferentes unidades. Si estos hábitats se eliminan, se forzarán a muchos grupos faunísticos a cambiar sus hábitos alimenticios, lo que a su vez puede causar una disminución en sus tasas de reproducción por cambiar a una dieta energéticamente menos eficiente, o gastar más tiempo y energía tratando de satisfacer sus necesidades básicas.

Adicionalmente, esta unidad es un paso para los movimientos de ciertos grupos. Las aves que se desplazan desde el bosque La Primavera hasta el parque Los Colomos y las otras cuencas de la misma red hidrográfica, con importantes puntos intermitentes en la ciudad como es el Parque Metropolitano, bordes de vegetación próximos a aguajes, algunas zonas de estacionamientos o explanadas, plazas o centros comerciales hasta espacios amplios en donde se acumulan individuos de una especie en particular, necesitan de ambientes como estos para poder moverse entre manchones altamente urbanizados. Las áreas abiertas próximas al APFFLP, permiten desplazamientos para la alimentación, territorio y potencialmente para la búsqueda de pareja para el grupo de las aves. Con las construcciones y sin las construcciones las aves tienen la capacidad de pernoctar en estos sitios, sin embargo su movilidad si puede ser restringida con la presencia de áreas con alta urbanización y con la presencia y/o evidencias de actividades humanas que causan ruido, luz, contaminación, etc. Si se eliminan estas zonas de amortiguamiento, los movimientos serán afectados e incluso se pueden interrumpir alterando la dinámica de las poblaciones.

Uno de los aspectos más importantes a destacar de este ambiente es la cantidad de basura y desperdicios de toda índole que se encuentran dispersos en este ambiente, su presencia representa un riesgo para la fauna porque trae enfermedades, contaminación y favorece el consumo rapaz de sustancias tóxicas como los plásticos y desechos sanitarios, de la misma manera los desechos como llantas, escombros y otros no degradables solo propician la presencia de especies nocivas, exóticas o plagas urbanas.

D) Zona urbana

En este ambiente nos referimos a la zona limítrofe del Bajío con la carretera a Nogales y el periférico de Guadalajara; es el ambiente que presenta los niveles más altos de perturbación, en el se encuentra la mayor superficie urbana y con parcelas de pastizal abandonado, así como suelo desnudo. Esta zona la encontramos defaunada, solo algunas especies domésticas y fauna nociva por ser considerada plaga como el ratón de campo *Mus musculus*, la rata doméstica, *Rattus rattus* y aves como palomas (*Columba livia*), gorriones comunes (*Passer domesticus*) fueron los únicos registros del trabajo de campo. La vegetación original y en general las condiciones de hábitat natural han sido modificados a condiciones urbanizadas en donde las actividades humanas predominan sobre las condiciones naturales. Los factores como la densidad poblacional, la contaminación por ruido, luz, transporte pesado, vegetación exótica e introducción de especies nocivas (perros y gatos), hacen imposible la coexistencia de la fauna nativa, además el límite con el periférico y la carretera de alta velocidad a Nogales, representan un límite marcado para la distribución de la fauna.

Para esta zona del Bajío (ambiente) es indispensable un programa de crecimiento adaptado al 100% al paisaje que ya prevalece, es decir sin cambiar los factores y condiciones ambientales actuales; el desarrollo urbano de esta zona solo es posible en un concepto que va en armonía entre el desarrollo y la conservación. Tal como se encuentra esta unidad ya no es viable para el establecimiento de las comunidades animales (Imagen

1.4.46) se necesita un esfuerzo de restauración en las zonas contiguas para que amortigüen el efecto dañino de la alta antropización que tiene esta unidad.

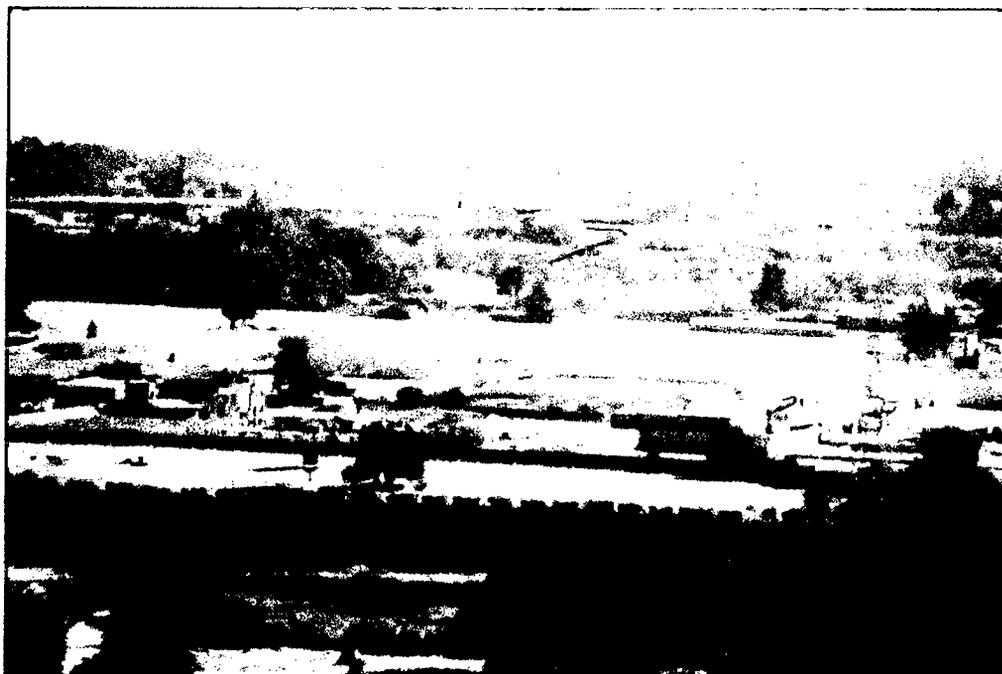


Imagen 1.4.46. Vista de la zona urbanizada del Bajío. Se aprecia una alta concentración de fábricas, edificios, extracción completa de la vegetación original con su subsecuente erosión y deforestación, con predominio de actividades humanas.

1.4.2.5 Especies bajo categorías de protección y endémicas

Bajo categoría de conservación nacional (Imagen 1.4.47 y 1.4.48), se encontró un total de 26 especies de las cuales una se encuentra en peligro de extinción (P), 14 sujetas a protección especial (Pr) y 11 bajo categoría de amenazadas (A). Se encontró una mayor proporción de especies endémicas de México (31) que de especies con protección por la NOM-059- ECOL -2001.

A pesar de que los reptiles presentaron una riqueza baja de especies en la región, la proporción de especies listadas bajo alguna categoría fue de las más altas con 15 especies listadas. El único grupo que presentó especies en peligro de extinción fueron las aves con la especie de águila solitaria *Harpyhaliaetus solitarius*.

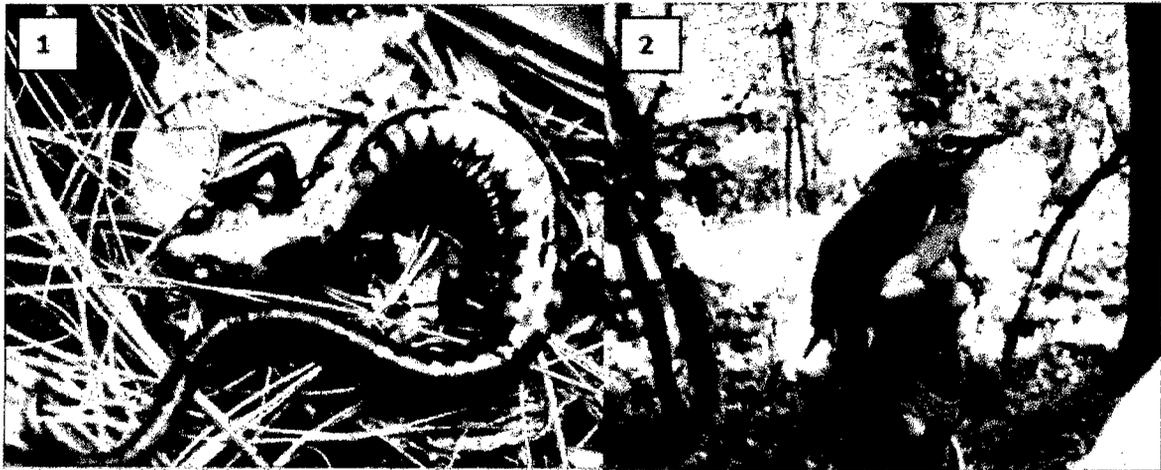


Imagen 1.4.47. Algunas especies con protección por la NOM-059- ECOL -2001. 1) *Pseudoeurycea bellii* (salamandra bajo categoría de amenazada-A), 2) *Myadestes occidentalis* (ave bajo categoría de protección especial-Pr).

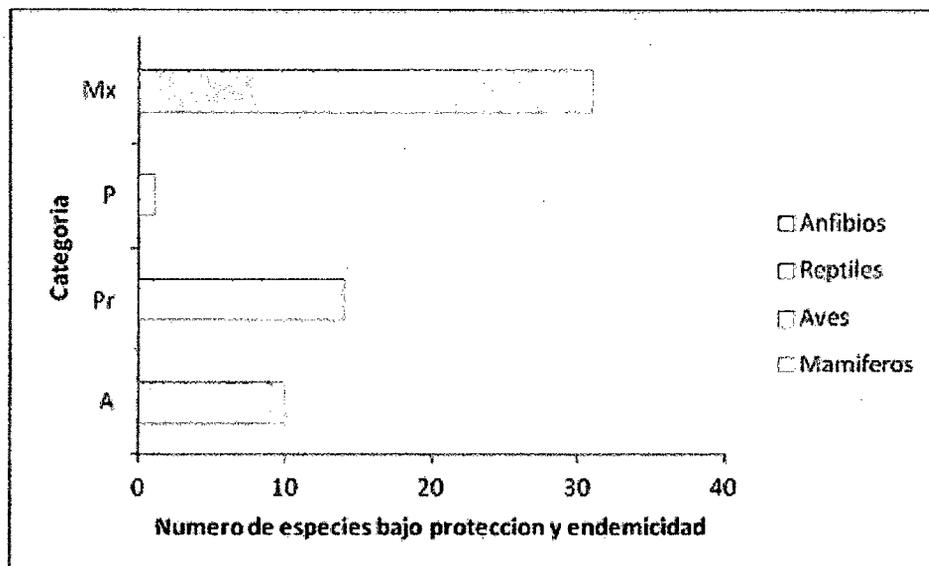


Imagen 1.4.48. Numero de vertebrados endémicos y en categoría de protección de acuerdo a la NOM-059- ECOL -2001 que pertenecen al Bajío y el APFFLP.

1.4.2.6 Especies migratorias

La migración es aquel movimiento periódico y direccional de individuos o poblaciones de diversas especies y grupos (Imagen 1.4.49). De las especies reportadas para este estudio, son residentes, tan solo el grupo de las aves y un mamífero (murciélago) presentan migraciones de largo recorrido (Tabla 1.4.11), entre las que se puede mencionar las

especies que realizan migraciones de países de Norteamérica como el murciélago *Tadarida brasiliensis*. En cuanto a las aves cabe mencionar a *Accipiter cooperii* (gavilán de Cooper), *Buteo swainsoni* (aguililla de swainson) y *Falco peregrinus* (halcón peregrino) que cuentan con categoría de protección especial (Pr) de acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2001 y a *Stellula calliope* (colibrí de calliope), *Spizella pallida* (gorrión pálido), *Dendroica nigrescens* (chipe negrigris) y *Empidonax oberholseri* (mosquero oscuro) que se consideran semiendémicas a México, además *Icterus cucullatus* (bolsero encapuchado) considerado como cuasiendémico.

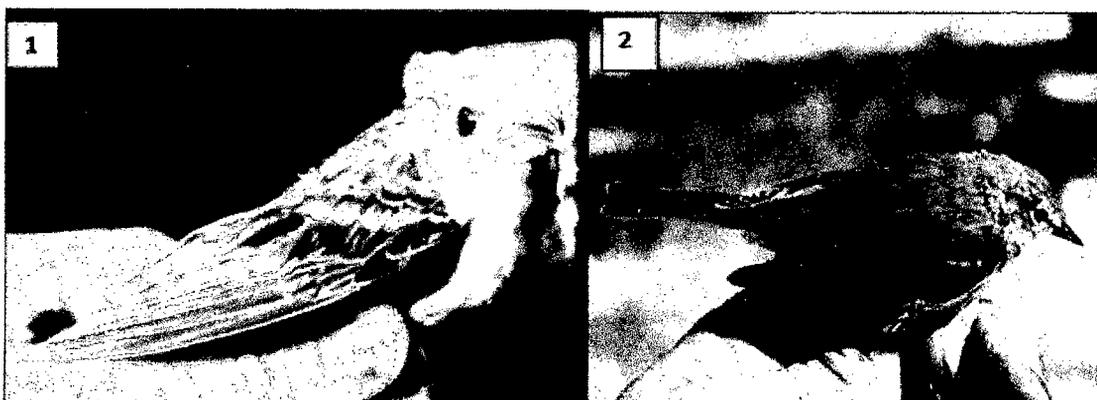


Imagen 1.4.49. Algunas especies de aves migratorias. 1) *Piranga ludoviciana* (Tángara Occidental), 2) *Vermivora celata* (Chipe Corona-naranja).

Las aves migratorias del sur de América son representadas por *Contopus sordidulus* (pibí occidental) que anida en el noroeste de América hasta Honduras y durante el invierno reside en el sur de América, un caso similar para *Hirundo rustica* (golondrina ranchera) que anida de Norteamérica a México y en invierno reside desde México hasta Argentina.

Tabla 1.4.11. Especies de aves migratorias (permanencia)

Familia	Especie	Nombre común	Estatus	Endémica	Permanencia
Accipitridae	<i>Circus cyaneus</i>	Gavilán Rastrero			M
	<i>Accipiter cooperii</i>	Gavilán de Cooper	Pr		M
	<i>Buteo swainsoni</i>	Aguililla de Swainson	Pr		T
Falconidae	<i>Falco sparverius</i>	Cernícalo Americano			R,M
	<i>Falco peregrinus</i>	Halcón Peregrino	Pr		R,M

Trochilidae	<i>Archilochus colubris</i>	Colibrí Gorjirrubí			M
	<i>Stellula calliope</i>	Colibrí de Calliope		S	M
Tyrannidae	<i>Contopus sordidulus</i>	Pibí Occidental			V,T
	<i>Empidonax oberholseri</i>	Mosquero Oscuro		S	M
	<i>Sayornis phoebe</i>	Mosquero Pibí			M
	<i>Sayornis saya</i>	Mosquero Llanero			M
	<i>Tyrannus verticalis</i>	Tirano Occidental			T
Vireonidae	<i>Vireo bellii</i>	Vireo de Bell			M,T
	<i>Vireo flavifrons</i>	Vireo Verde amarillo			M
	<i>Vireo solitarius</i>	Vireo Antejillo			M
Hirundinidae	<i>Hirundo rustica</i>	Golondrina Ranchera			V
Regulidae	<i>Regulus calendula</i>	Reyezuelo Sastrecillo			M
Sylviidae	<i>Polioptila caerulea</i>	Perlita Grisilla			M
Turdidae	<i>Catharus guttatus</i>	Zorzalito Colirrojo			M
Parulidae	<i>Vermivora celata</i>	Chipe Corona-naranja			M
	<i>Vermivora ruficapilla</i>	Chipe de Nashville			M
	<i>Vermivora virginiae</i>	Chipe de Virginia			M
	<i>Dendroica coronata</i>	Chipe Rabadilla-amarilla			M
	<i>Dendroica nigrescens</i>	Chipe Negrigris		S	M
	<i>Dendroica townsendi</i>	Chipe de Townsend			M
	<i>Mniotilta varia</i>	Chipe Trepador			M
	<i>Wilsonia pusilla</i>	Chipe de Wilson			M
Emberizidae	<i>Pipilo fuscus</i>	Rascador Arroyero			M
	<i>Spizella pallida</i>	Gorrión Pálido		S	M
	<i>Pooecetes gramineus</i>	Gorrión Coliblanco			M

	<i>Chondestes grammacus</i>	Gorrión Arlequín			M
	<i>Passerculus sandwichensis</i>	Gorrión Sabanero			R,M
	<i>Ammodramus savannarum</i>	Gorrión Chapulín			M
	<i>Melospiza lincolnii</i>	Gorrión de Lincoln			M
Thraupidae	<i>Piranga ludoviciana</i>	Tángara Occidental			M
Icteridae	<i>Icterus cucullatus</i>	Bolsero encapuchado		C	M

Revisión de los marcos institucional y legal y de políticas y programas que inciden en el territorio

Se incluyó una revisión general del marco institucional (descripción de las funciones institucionales relevantes en cuanto a los aspectos clave se refiere), marco legal (descripción de las principales leyes, reglamentos y estándares relevantes para los aspectos clave en un ámbito municipal, estatal y federal, así como de compromisos internacionales), y una descripción general de las diversas políticas y programas que inciden en el territorio.

A continuación se presentan **extractos** de los estudios consultados que incluyen la revisión de marco legal y que son relevantes para la gestión ambiental de los componentes valiosos priorizados en el territorio de El Bajío.

1.3.7 Marco de la gestión del agua subterránea en el territorio local ⁴⁴

1.3.7.1 Antecedentes históricos

Hacia 1888 la Ley sobre Vías Generales de Comunicación marcó un parteaguas en el manejo de las aguas nacionales. Posteriormente, en 1910 la Ley sobre Aprovechamientos de Aguas de Jurisdicción Federal, estableció la pauta para la institucionalización formal del uso del agua superficial; en este contexto normativo, la emergencia de las explotaciones de las aguas subterráneas, su impacto en la calidad del recurso y los conflictos entre usuarios determinaron la reglamentación para las aguas del subsuelo (Hernández Alvarado, 2006). A mediados del siglo XX las aguas subterráneas fueron consideradas como un recurso que, al ser propiedad de la nación, requerían reglamentación. La Ley Reglamentaria del párrafo quinto del artículo 27 constitucional en materia de Aguas del Subsuelo de 1948, estableció disposiciones significativas para las

⁴⁴ Fuente: *Bases de ordenamiento ecológico para el Plan Maestro del Bajío*. Preparado por Geosíntesis S.C. (2011)

aguas subterráneas, por ejemplo, la facultad de la Secretaría de Recursos Hidráulicos de reglamentar las extracciones y aprovechamientos de las aguas del subsuelo, el establecimiento de vedas, el registro por zonas y el estudio de los recursos hidráulicos del subsuelo (Hernández Alvarado, 2008).

En 1958 se publicó el Reglamento de la Ley de 1956 en materia de aguas del subsuelo, e instituyó la ejecución de estudios "que permitan localizar los acuíferos y determinar la capacidad explotable de los mismos... calcular las aportaciones al acuífero y la extracción máxima anual en función de las aportaciones y de las necesidades por satisfacer, determinar la posible retroalimentación y regeneración de los acuíferos" (Diario Oficial, 27 de febrero de 1958 en (Lanz Cárdenas 1982).

En 1967, se añadió a la Ley reglamentaria una disposición para las aguas del subsuelo que consistió en la posibilidad de autorizar cambios de uso de las obras de alumbramiento en zonas vedadas, siempre y cuando no implicara el incremento en las extracciones, ni perjudicara al servicio público y el uso doméstico (Hernández Alvarado, 2006).

La Ley Federal de Aguas de 1972 contemplaba la construcción de obras de infiltración para conservar y reabastecer los mantos acuíferos, al establecer en el artículo 109 que:

"Los usuarios de aguas del subsuelo en zonas vedadas están obligados a:

I. Instalar en las obras, medidores y demás accesorios para determinar gastos, volúmenes y niveles; y

II. Permitir la inspección de las perforaciones y obras de alumbramiento y la lectura y verificación de los medidores, para comprobar el comportamiento del acuífero (Diario Oficial 11 de enero de 1972 en (Lanz Cárdenas 1982).

En la década de 1980, la Ley Federal de Aguas estableció como causa de revocación de las concesiones "No contar con aparato, estructura o sistema de medición de los volúmenes de agua en buenas condiciones, de acuerdo con lo establecido en el título de concesión". La Ley de Aguas Nacionales, emitida en diciembre de 1992, "continuó su avance en las medidas de control y desplazó la pretensión de equidad en la distribución de los recursos hídricos, aunque ganó precisión relativa en los procedimientos relacionados con el manejo del recurso, manteniendo y enfatizando la participación social. Acentuó además el cuidado del recurso a través de su gestión integral, tomando como unidad de planeación la cuenca hidrológica" (Hernández Alvarado, 2008).

1.3.7.2 Marco legal actual

Como se registra, el agua subterránea ha transitado de la ausencia total de regulación a una reglamentación realizada a través de medidas de control como el registro de usuarios y volúmenes de extracción, así como la instauración de medidores volumétricos. Actualmente, la gestión integral del agua desde la perspectiva internacional a la local,

incluye como parte fundamental la participación de los usuarios teniendo como espacio privilegiado a los Consejos de Cuenca y sus organismos auxiliares, para mejorar el aprovechamiento, la preservación y el control de la calidad del agua (Hernández Alvarado, 2008).

El artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM) reconoce el interés público y beneficio social de las aguas y señala que “La propiedad de las tierras y aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional, corresponde originariamente a la Nación... Las aguas del subsuelo pueden ser libremente alumbradas mediante obras artificiales y apropiarse por el dueño del terreno, pero cuando lo exija el interés público o se afecten otros aprovechamientos; el Ejecutivo Federal podrá reglamentar su extracción y utilización y aún establecer zonas vedadas, al igual que para las demás aguas de propiedad nacional”.

Por su parte, el artículo 4 de la Ley de Aguas Nacionales, establece que corresponde al Ejecutivo Federal la autoridad y administración en materia de aguas nacionales y sus bienes públicos inherentes, quien las ejercerá directamente o a través de la Comisión Nacional del Agua.

La gestión integrada de los recursos hídricos, superficiales y del subsuelo, a partir de las cuencas hidrológicas en el territorio nacional, es una prioridad y asunto de seguridad nacional, así como de utilidad pública, según el artículo 7 de la Ley de Aguas Nacionales.

En 1992 la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) promovió a nivel nacional la creación de Comités Técnicos de Aguas Subterráneas (COTAS) para contribuir a enfrentar el reto de la gestión de este recurso, especialmente en unos 100 acuíferos sobreexplotados (Banco Mundial, Foster et al. 2004). Un caso paradigmático de los COTAS, es el de Guanajuato. El estado de Guanajuato experimentó, desde la década de 1970, un importante crecimiento poblacional y el fortalecimiento de su base industrial, lo que impuso un considerable estrés a sus recursos de agua subterránea. En la actualidad hay aproximadamente 17,000 pozos que extraen cerca de 4,000 Mm³/año (Banco Mundial, Foster et. al. 2004)

La meta de los COTAS sería fundamentalmente proporcionar la base social para promover las medidas para regular y a la larga reducir el agotamiento de los acuíferos poniendo énfasis en:

- Mejorar la información sobre los usuarios de agua subterránea y establecer un diálogo con ellos.
- Proporcionar servicios a la comunidad de usuarios de agua subterránea.
- Apoyar las campañas de comunicación pública sobre la importancia, la situación y las necesidades de gestión de los recursos de agua subterránea.

- Facilitar y apoyar el monitoreo de los niveles, el uso y la calidad del agua subterránea.

La mesa directiva de ciertos COTAS está conformada exclusivamente por usuarios de agua subterránea, junto con su personal operativo ejecuta el programa de trabajo acordado anualmente con la Comisión Estatal de Agua de Guanajuato (CEAG) con recursos del Fideicomiso del Estado de Guanajuato para la Participación Social en el Manejo del Agua (FIPASMA) (Banco Mundial, Foster et al. 2004).

Los COTAS han constituido un mecanismo permanente para la interacción entre usuarios del agua, gobierno estatal y gobierno federal. Cada COTAS puede concertar acuerdos, conseguir fondos de otros organismos locales y adaptarse a su contexto local específico (Banco Mundial, Foster et al. 2004). Sin embargo, de acuerdo con Boris Marañón (Marañón Pimentel 1999), los COTAS están lejos de contribuir a una gestión alternativa, porque su misión principal no es ejecutiva, sino consultiva, lo que significa que no se estaría produciendo una transferencia de la gestión, sino una participación social sin capacidad de decisión. Por otro lado, según este mismo reporte, dentro de los COTAS no se encuentran elementos que favorezcan una participación democrática de sus integrantes, especialmente los usuarios agrícolas, lo cual puede generar serios conflictos cuando se acuerde reducir las extracciones (Marañón Pimentel, 1999).

En la reforma del 2004 de la Ley de Aguas Nacionales se fortaleció la figura del Consejo de Cuenca y sus Organismos Auxiliares, y la conformación del Consejo Consultivo. Así mismo, se intentó involucrar a la mayor cantidad de dependencias del gobierno federal (Secretaría de Economía, Energía, Salud, Agricultura, Medio Ambiente, Desarrollo Social y Hacienda, y la Comisión Nacional Forestal), en la aplicación de las políticas del agua, con el objetivo de insertar en estas prácticas un principio de multidisciplinariedad e integralidad. Además de la participación social, otro de los elementos favorecido por la legislación actual del agua subterránea es el establecimiento de medidas de control, por ejemplo, la reglamentación de su extracción y uso, y la creación de decretos de veda para las zonas del país donde la diferencia entre el agua que se extrae y el agua que se recarga en el acuífero, provocará la aparición de problemas de carácter social y disminuirá la oferta y la calidad del agua subterránea disponibles. Sin embargo, la Ley de Aguas Nacionales carece de precisión en numerosos aspectos técnicos de la gestión sustentable de acuíferos y la protección de los servicios ambientales. Entre estos puntos, se destaca que no se establece cuáles son los mecanismos y organismos o instancias facultadas para emitir juicios respecto a la disponibilidad local y la relación entre calidad, coeficiente de almacenamiento, recarga y extracción (Hernández Alvarado, 2008).

El riego requiere un análisis específico. El Reglamento de la LAN estipula que en los distritos de riego por bombeo, “el cálculo de los volúmenes de agua concesionados deberá tomar en cuenta las condiciones geohidrológicas para evitar que la extracción exceda la recarga y la afectación a terceros”. Si bien la Ley considera la posibilidad de restringir los volúmenes concesionados, la reglamentación se encuentra vagamente

fundamentada ya que depende de “la causa de interés público”, lo que deja un amplio margen para la politización del tema (Hernández Alvarado, 2006).

Otro de los desafíos en la gestión sustentable del agua y el manejo de los servicios ambientales hídricos, además del marco jurídico/legal es el subsidio actual a la tarifa eléctrica por bombeo agrícola en México. La Tarifa 09.

En el 2006 la Universidad Iberoamericana Ciudad de México y el Instituto Nacional de Ecología (INE) realizaron un estudio denominado “Estimación de la demanda por agua subterránea y la distorsión por el subsidio a la tarifa eléctrica para bombeo agrícola en México”. Este subsidio se destina, por ley, a la energía para el bombeo de agua, para el riego de tierras dedicadas al cultivo de productos agrícolas y al alumbrado local donde se encuentre instalado el equipo de bombeo (Universia 2006).

Según esta investigación, la Tarifa 09 es un ejemplo de “efecto perverso” en política pública, ya que originalmente fue diseñada para reducir los costos a los agricultores; sin embargo, actualmente, al beneficiarse con un subsidio que no representa el costo real del agua, los agricultores están consumiendo más agua, esto, entre otros factores, ha provocado que 60 de los 188 acuíferos más importantes del país estén sobre-explotados (Universia 2006). Este esquema es reproducible para zonas periurbanas que suplen demanda de agua para diversos usos y calidades. En los resultados de la investigación IBERO/INE se propone como solución la modificación de la Tarifa 09, con la justificación de que este tipo de subsidios “genera distorsiones económicas que provocan que los esfuerzos productivos se repartan de manera ineficiente” (Universia 2006). Además, según artículo elaborado por el INE en colaboración con la SEMARNAT, el subsidio actual a la tarifa 09 es regresivo, es decir, que beneficio más a quién más tiene (Ávila, Muñoz *et. al.* 2005)

Según un reporte presentado por el Banco Mundial, la reducción del subsidio a la energía eléctrica es la forma más directa de incentivar la reducción del bombeo. Sin embargo, esta medida requiere que el registro de derechos de agua esté razonablemente actualizado, de voluntad política a nivel federal, de mayor participación a nivel estatal y de medidas para proteger a los usuarios más pobres (Banco Mundial, Foster *et al.* 2004).

1.3.7.3 Mercado de concesiones de agua subterránea

En México es el Estado quien tiene la facultad de diseñar, aplicar y vigilar la observancia de un marco de reglamentación formal en el uso, explotación y administración del agua. En el marco legislativo federal la sociedad tiene el derecho de usar el agua subterránea como persona física o moral a través de la figura de concesión o asignación. Esta figura muchas veces no favorece la toma de decisiones locales y participativas para el manejo sustentable de acuíferos subterráneos, ya que en este mecanismo tienen *prioridad* los propietarios que adquirieron los derechos antes del establecimiento de una veda por sobre los usuarios que demandan el uso del agua después de declararse la misma, sin

tomarse en cuenta el número de usuarios que pudieran resultar beneficiados en cualquiera de los dos casos (Hernández Alvarado, 2008). Cuando un usuario demanda una concesión de agua subterránea en un área donde se estableció previamente una veda, se le niega automáticamente, por la extracción de agua subterránea se administra al recurrir a la transferencia formal de derechos a través de su compra/venta en un mercado informal.

Una práctica común en zonas rurales y periurbanas es la compra de títulos de concesión de uso de agua a los agricultores a bajo costo, que luego se venden a precios elevados a industrias o inmobiliarias, lo que genera acaparamiento y mecanismos de negociación posteriores en un “mercado no regulado” (Perea, 2009). Según el subdirector general de Administración del Agua de la Comisión Nacional del Agua (Conagua), Roberto Anaya Moreno, cada vez es más frecuente la existencia de nuevos desarrollos inmobiliarios que se realizan bajo este esquema pese a que no existe disponibilidad de agua subterránea para cubrir sustentablemente las necesidades de la población futura (Perea, 2009).

SEMARNAT explora junto con CONAGUA como controlar este “mercado negro” a través de la creación de bancos de agua. El objetivo de los bancos del agua es principalmente transparentar y proporcionar todos los elementos al usuario que requiere volúmenes de agua de información técnica que existe, y con ello, dar certeza jurídica tanto al usuario que cede, como al que adquiere los derechos inherentes a un título de concesión (Perea 2009).

El fundamento legal para la creación de los bancos del agua, lo encontramos en el Artículo 37 BIS de la Ley de Aguas Nacionales, reglamentaria del Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, cuyo texto a la letra establece:

“Artículo 37 BIS. ‘La Comisión’ podrá establecer definitiva o temporalmente instancias en las que se gestionen operaciones reguladas de transmisión de derechos que se denominarán ‘bancos del agua’, cuyas funciones serán determinadas en los reglamentos respectivos.”

En este sentido, el banco del agua se encuentra regido por los principios establecidos en el artículo 27 constitucional, así como las disposiciones establecidas en la Ley de Aguas Nacionales en materia de administración del agua, de forma tal que el banco del agua se constituye como órgano ejecutor de la autoridad del agua para la regulación de las transmisiones de derechos.

México ya cuenta con dos bancos del agua, uno creado el 11 de diciembre de 2008 en Coahuila y otro el 24 de junio del 2009 en la zona Metropolitana de Guadalajara, administrados por los organismos de cuenca respectivos: Cuencas Centrales del Norte y la Cuenca Lerma Santiago Pacífico (Perea, 2009). Los bancos del agua suelen establecerse en regiones donde se cuenta con problemas de disponibilidad de recursos hídricos y/o donde hay un mercado muy activo de transmisión de derechos. Este es el caso de la

región hidrológica de la Cuenca Lerma-Santiago y Pacífico, ya que conforme a las estadísticas de los años 2001-2006, la demanda en la transmisión de derechos alcanzó los tres mil trámites, colocándose como el Organismo con mayor volumen de agua transmitido, con 431 millones de metros cúbicos, que representa el 42% del total nacional (Guajardo, 2009).

En Jalisco, las transmisiones de derechos con mayor incidencia se registran en los acuíferos de Atemajac en el que se localiza El Bajío, en el de Toluquilla, Encarnación de Díaz, Ocotlán, La Barca, Cajititlán, San Isidro y Arenal, la mayoría de ellos sobreexplotados. En estos acuíferos, la Conagua ya no otorga permisos para nuevas perforaciones, pero sí permite, conforme a la Ley de Aguas Nacionales, la transmisión de derechos entre quienes tienen una concesión (Guajardo, 2009).

1.3.7.4 Concentración territorial de derechos de agua subterránea y sobreexplotación de acuíferos

Según líneas de investigación al respecto, son comunes los casos en que se concentran los derechos del agua de uso agrícola en el sector privado, migrando de sector social. Se podría estimar que el sistema jurídico/legal actual no vela por el interés público sobre un recurso compartido y su aprovechamiento sustentable a largo plazo, al permitir que un grupo reducido de propietarios incremente su extracción de agua adquiriendo nuevos títulos de concesión, ignorándose el principio de la distribución equitativa del agua. Este libre mercado de compra/venta se caracteriza por grados de especulación sobre costos futuros en situaciones de escasez creciente, en contexto socioeconómico de incertidumbre y oferta y demanda como elementos que definen las relaciones que se desarrollan entre vendedores y compradores, con escasa participación de criterios hidrogeológicos para la toma de decisiones sobre la sustentabilidad del recurso. La ausencia de monitoreo y control que sobre la extracción del agua subterránea, coadyuva a que los pozos de abastecimiento que pueden extraer agua de mejor calidad se encuentren concentrados en usuarios que pueden monopolizar este recurso, a los que resulta mucho más barato sobreexplotar acuíferos, o utilizar calidad de agua de primer uso para riego de ornamento, que estar conectados a una red de suministro administrada por organismos operadores como ser el SIAPA. No existe información que permita establecer que esta situación no es crítica para los acuíferos de la zona de amortiguamiento y el piedemonte del Área Natural Protegida de La Primavera (Clausen, Valdivia et. al. 2009), incluyendo a la zona de influencia de El Bajío.

1.3.7.5 Situación jurídica del acuífero de Atemajac con atención especial en la zona de El Bajío de la Arena

El artículo 22 de la Ley de Aguas Nacionales señala que para “el otorgamiento de concesiones o asignaciones, la Comisión Nacional del Agua se sujetará a lo dispuesto por esta Ley y sus reglamentos y tomará en cuenta la disponibilidad media anual del agua, que se revisará al menos cada tres años, conforme a la programación hídrica; los

derechos de explotación, uso o aprovechamiento de agua inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua; el reglamento de la cuenca hidrológica que se haya expedido, en su caso; la normatividad en materia de control de la extracción así como de la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas; y la normatividad relativa a las zonas reglamentadas, vedas y reservas de aguas nacionales existentes en el acuífero, cuenca hidrológica, o región hidrológica de que se trate”.

No existen indicios que permitan concluir que no se presente la extracción desordenada de aguas subterráneas en la zona de influencia hidrogeológica de El Bajío en el acuífero de Atemajac. Con el objetivo de prevenir los perjuicios indicados, así como para procurar la conservación de los acuíferos en condiciones de explotación racional y controlar las extracciones de agua de los alumbramientos existentes y de los que en el futuro se realicen, el gobierno federal acordó y publicó varios decretos estableciendo el interés público de los acuíferos de Jalisco y en concreto del acuífero de Atemajac⁴⁵

- Acuerdo del entonces Secretario de Recursos Hidráulicos, de 10 de septiembre de 1947, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) declaró “veda de concesión de aguas, por tiempo indefinido, en toda la cuenca tributaria del Río Santiago o Tololotlán, en los Estados de Jalisco y Nayarit”, que comprende desde su nacimiento en el Lago de Chapala, hasta su desembocadura en el Océano Pacífico.
- Decreto Presidencial del 17 de enero de 1951, el 3 de febrero del mismo año, se estableció veda en los Valles de Atemajac, Tetistán y Toluquilla, en el Estado de Jalisco, en toda la circunscripción del polígono 17 a que hace mención dicho ordenamiento. El mismo se refiere a una poligonal definida por cascos de haciendas, centros de ranchos y compuertas de presas, no anexa mapa que lo delimite.
- Acuerdo Presidencial de 10 de diciembre de 1957, publicado en el DOF el 26 del mismo mes y año, se creó el Distrito de Riego de Ameca, Jalisco, estableciéndose a la vez en su artículo tercero, veda para el alumbramiento de las aguas del subsuelo en la zona comprendida dentro de los límites asignados al Distrito, y que corresponden a parte de los Municipios de Teuchitlán, San Martín Hidalgo y Ameca, del Estado de Jalisco.
- Decreto Presidencial publicado en el DOF el 6 de julio de 1973, se estableció veda por tiempo indefinido en toda la superficie correspondiente a los Municipios de Teuchitlán y Tala, Estado de Jalisco.
- Decreto Presidencial de 14 de abril de 1975, publicado en el DOF el 27 de junio de ese mismo año, se estableció veda por tiempo indefinido, para el alumbramiento,

⁴⁵ Para conocer los polígonos de los decretos, puede consultarse el LOCALIZADOR REPDA DE AGUAS NACIONALES, ZONAS FEDERALES Y DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES, de la Comisión Nacional del Agua. Ver también las figuras extraídas del REPDA en este documento.

extracción y aprovechamiento de aguas del subsuelo en la zona del Bajo Balsas, que comprende porciones de los Estados de Michoacán, Jalisco, Guerrero y México, cuya extensión y límites geopolíticos se describe en el mismo, comprendiendo el del Estado de Jalisco: El Valle de Juárez, Quitupan, Tamazula de Gordiano, Manuel M. Diéguez y Jilotlán de los Dolores.

- Decreto Presidencial publicado en el DOF el 7 de abril de 1976, declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos de la zona circunvecina a la veda de los Valles de Atemajac, Tesistán y Toluquilla. Se amplió la veda por tiempo indefinido para el alumbramiento, extracción y aprovechamiento de aguas del subsuelo a los Municipios de El Salto, Juanacatlán, Ixtlahuacán de los Membrillos, Ocotlán, Poncitlán, Chapala, Jocotepec, Acatlán de Juárez, Villa Corona, El Arenal y la parte no vedada por el Decreto Presidencial del 17 de enero de 1951 de los Municipios de Guadalajara, Zapopan, Tlaquepaque y Tlajomulco, del Estado de Jalisco.
- Decreto Presidencial publicado en el DOF el 12 de julio de 1987, por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en 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. (Imagen 1.3.13)

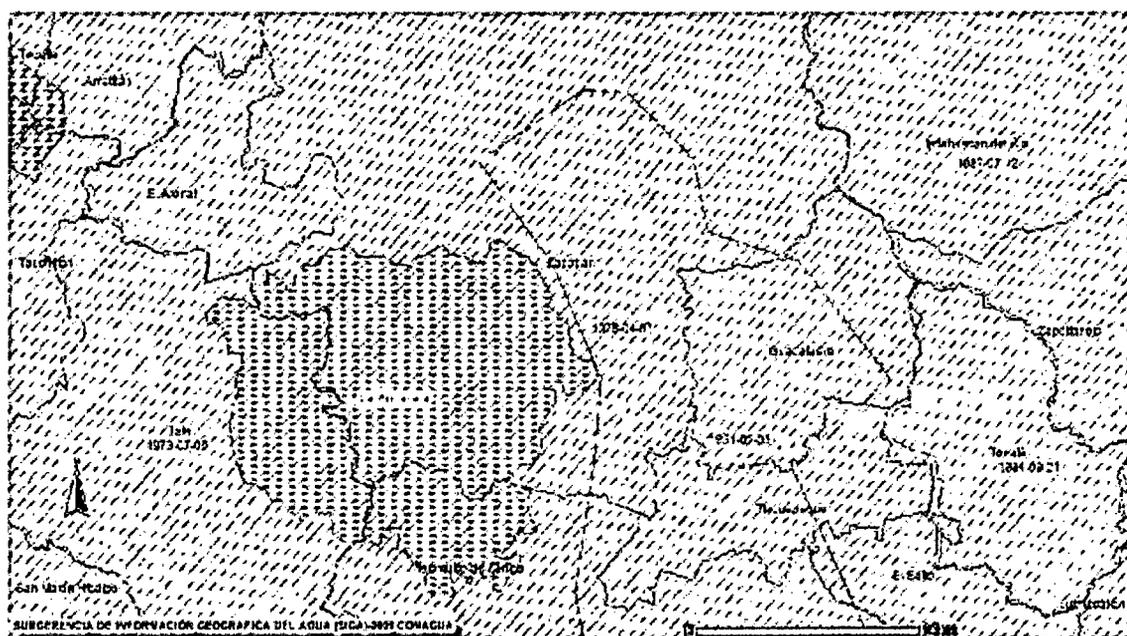


Imagen 1.3.7. Zonas de veda (polígono en verde) y decretos referidos, identificados por su fecha del DOF. En morado el ANPFFLP.

Según la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento, las vedas anteriormente mencionadas se encuentran vigentes en la actualidad. Principalmente de una interpretación de su régimen legal, y del Artículo Transitorio Octavo de la reforma publicada en el DOF el 29 de abril de 2004, que indica a la letra:

“Seguirán produciendo sus efectos legales las declaratorias, vedas, reservas y reglamentaciones de aguas nacionales que haya expedido el Ejecutivo Federal”.

Lo cual es señalado también por la Comisión Nacional del Agua, *Subdirección General Técnica, Gerencia de Aguas Subterráneas, Subgerencia de Evaluación y Ordenamiento de Acuíferos* en su estudio de “ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE AGUA SUBTERRÁNEA ACUÍFERO (1401) ATEMAJAC, ESTADO DE JALISCO (DOF 28 DE AGOSTO DE 2009), pues en su página 4 establece:

1.2. Situación administrativa del acuífero.

Existen dos decretos de veda, el primero publicado en el Diario Oficial de la Federación el 3 de febrero de 1951 para los valles de Tesistán, Atemajac y Toluquilla, el segundo, publicado el 7 de abril de 1976 y como ampliación hacia las zonas circunvecinas a los mismos valles. Ambos decretos son por tiempo indefinido y establecen veda de control para prevenir perjuicios al abastecimiento de agua potable y usos domésticos de la Cd. de Guadalajara, así como procurar la conservación de los acuíferos en condiciones de explotación racional y, controlar la construcción o ampliación de obras de alumbramiento, extracción y aprovechamiento de aguas del subsuelo; prohíbe sin previo permiso de la autoridad competente, el cambio de uso y destino, los incrementos de gasto y volúmenes de extracción, tampoco podrán cambiarse las características constructivas de las obras y sólo se otorgan en aquellos casos en que, de los estudios respectivos, resulte que dichas obras no causarán los perjuicios que se tratan de evitar con la veda.”

Según el Programa Hídrico Jalisco Visión 2030 (el cual no menciona la palabra “veda” ni una sola ocasión) el acuífero Colomos, al que llega parte del agua que se infiltra en El Bajío del Arena, tiene un volumen de disponibilidad inferior a 1 hm³/año, “por lo que es conveniente considerarlos en equilibrio y que cualquier nueva demanda adicional pudiera provocar su sobreexplotación”.

No existen indicios que permitan concluir que en el esquema de gobernanza a la fecha de elaboración de este Plan Maestro, se hace valer la normatividad existente con base en el principio de prevención, lo que significa que han dejado sin atender una realidad postergada durante demasiado tiempo.

Descripción de tendencias

La descripción de las tendencias se centró en aquellas variables relevantes para los aspectos clave, y por lo tanto aquellas que aportaron valor a la fase de análisis. Las

proyecciones podrán ser cualitativas y/o cuantitativas, según el nivel de detalle que se considere relevante y los datos disponibles.

CONTRIBUCIÓN A LA IDENTIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS

La identificación de las alternativas para el desarrollo del territorio de Boca de la Arena y el Bajío están siendo desarrollada por Municipio de Zapopan y al Estado de Jalisco si tuvieran implicaciones intermunicipales. Sin embargo, el equipo de la EAE revisó las alternativas que se estén considerando y podrá plantear modificaciones o nuevas alternativas. Dichas alternativas fueron el objeto de análisis en las siguientes fases del proceso de la EAE.

ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE OBJETIVOS

Una de las fases fundamentales del proceso de planeación estratégica fue la identificación de objetivos para la planeación territorial. Como los objetivos del Plan y del PPDU tienen que contribuir a un desarrollo sustentable del territorio, abarcó las dimensiones social, económica y ambiental. Estos objetivos fueron propuestos por el equipo de Planeación y de Proyectos Estratégicos del Ayuntamiento de Zapopan, y tomaron en cuenta los resultados de las fases de definición de alcance de la EAE, especialmente los objetivos que se identificaron para la EAE.

La EAE analizó la coherencia de dichos objetivos con los objetivos de la EAE y con los objetivos ambientales y sociales de otras políticas municipales y estatales relevantes. Se dieron recomendaciones para mejorar los objetivos del plan, tal que contribuyan de una manera efectiva a un desarrollo sustentable.

ANÁLISIS DE IMPACTOS Y OPORTUNIDADES DE ALTERNATIVAS

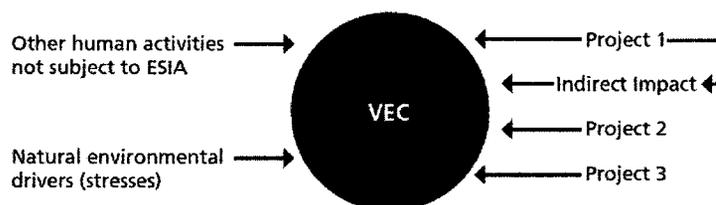
La EAE hizo un análisis de las diferentes alternativas acordadas para el desarrollo del territorio de Boca de la Arena y el Bajío. Dicho análisis se fundamentó en los objetivos desarrollados.

Análisis de impactos acumulativos

De acuerdo a la Corporación Financiera Internacional (IFC, por sus siglas en inglés), la Evaluación de Efectos Acumulativos (EEA) es (IFC, 2013):

“el proceso de (a) analizar los impactos y riesgos potenciales de desarrollos propuestos en el contexto de efectos potenciales de otras actividades humanas y agentes de cambio naturales y sociales sobre los Componentes Valiosos del Ambiente (CVA) a través del tiempo y (b) proponer medidas concretas para evitar, reducir o mitigar dichos impactos acumulativos y riesgos en medida de lo posible.” (p. 21).

En este proceso, “la tarea analítica clave es discernir cómo los impactos potenciales del desarrollo propuesto se pueden combinar, de forma acumulativa, con los impactos potenciales de otras actividades humanas y otros factores de estrés como sequías o eventos climáticos extremos” (IFC, 2013).



Efectos acumulativos de distintas acciones –presentes, pasadas y futuras razonablemente predecibles– sobre un Componente Valioso del Ambiente (CVA) (IFC, 2013).

En estas evaluaciones los receptores finales de la acumulación los impactos son los Componentes Valiosos (CVs), que en esta evaluación serán los Componentes Valiosos del Ambiente (CVAs) y los Valores Sociales Clave (VSCs).

Los CVs son: “elementos o atributos ambientales y sociales que se consideran importantes en la evaluación de impactos y riesgos” que pueden ser afectados directa o indirectamente por una acción específica o por los efectos acumulativos de distintas acciones. Algunos ejemplos son (IFC, 2013):

- características físicas, hábitats y poblaciones de fauna
- procesos naturales como ciclos del agua y nutrientes, microclima
- condiciones sociales (salud ambiental, aspectos económicos...)
- aspectos culturales (ceremonias tradicionales, espacios para recreación...)

Se analizaron los posibles impactos acumulativos sobre componentes valiosos identificados en la Definición de Alcances, considerando no sólo efectos entre los componentes previstos en el plan, sino también interacciones con otras actuaciones previstas en el territorio.

En esta EAE se tomaron en cuenta:

1. Posibles impactos derivados de las actuaciones propuestas (en este sentido se consideraron no sólo acciones de infraestructura, si no también actuaciones ‘blandas’ como el uso de instrumentos fiscales);
2. Los impactos ‘por omisión’, es decir, aquellas oportunidades perdidas para que el plan ofrezca una respuesta efectiva a presiones ambientales y sociales existentes sobre el territorio;

3. Las oportunidades para mejorar la integridad ambiental, mejorar la cohesión social, la gestión del agua, reducir la vulnerabilidad al cambio climático, mejorar la adaptación hídrica y contribuir a un desarrollo hipocarbónico del territorio.

INDICADORES DE DESEMPEÑO

El proceso de planeación estratégica desarrolló indicadores de desempeño del plan. El equipo de la EAE revisó los indicadores de desempeño propuestos para garantizar que no tuvieran implicaciones ambientales adversas (o sea, indicadores cuyo cumplimiento pueda darse en perjuicio a los objetivos de la EAE), y que abarcaran todos aquellos aspectos ambientales y sociales que se consideraron críticos.

3. RECOMENDACIONES

Se brindaron recomendaciones estratégicas para garantizar que el plan contribuyera a un desarrollo sustentable del territorio. Dichas recomendaciones incluyen:

1. La alternativa recomendada, con su respectiva justificación;
2. Recomendaciones a nivel de los objetivos del plan, o en su defecto una descripción sobre la manera en que el proceso de la EAE influyó en la definición de los objetivos de plan;
3. Recomendaciones en el uso de instrumentos 'blandos' y actuaciones específicas;
4. Indicaciones sobre aspectos que se han de analizar en Evaluaciones de Impacto Ambiental para proyectos específicos que se prevean en el plan, y que vayan a ser objeto de una EIA; y
5. Recomendaciones de análisis más específicos que hagan falta para entender mejor los posibles impactos.

MARCO INSTITUCIONAL E INSTRUMENTOS INNOVADORES PARA LA GESTIÓN DEL TERRITORIO

La EAE identificó que la manera más eficaz de gestionar ciertos riesgos ambientales implica actuaciones que corresponden a otras instituciones gubernamentales, a la articulación con nuevos marcos institucionales o regulatorios necesarios o con instituciones que se encuentran fuera del alcance del plan propiamente dicho. Se han identificado cambios necesarios en la arquitectura institucional del sistema de evaluación de impactos municipal, incluyendo desarrollo de capacidades institucionales en evaluación de impactos, cambios regulatorios, desarrollo de nuevos estándares, o modificaciones del proceso de evaluación de consecuencias de planeas estratégicos.

INCORPORAR EL EJE DE SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL EN UN CENTRO DE ESTUDIOS, PLANEACIÓN Y PROYECTOS ESTRATÉGICOS DE ZAPOPAN (CEPPEZ) O SIMILAR

Ante el vacío que representa la generación de información relevante para la toma de decisiones estratégicas, es necesario terminar de ajustar, aprobar y volver funcional a una

institución de estudios y planeación que trascienda administraciones, priorizando aspectos de la sustentabilidad ambiental, el cambio climático y la gestión integral del agua.

El Centro de Estudios, Planeación y Proyectos Estratégicos de Zapopan (CEPPEZ), propuesto como parte del Proyecto, contaría con las capacidades institucionales para coordinar y articular herramientas y estudios para la Planeación del territorio, el agua, los riesgos y la energía de manera conjunta con organismos federales e internacionales. Su estrategia englobaría la necesidad de articular tanto estudios de carácter prospectivo, como aquellos que indaguen en torno a la mejora y la innovación en la política pública ambiental. Un Sistema de Información, capaz de producir datos relevantes, objetivos, replicables, transparentes y útiles, será fundamental para avanzar en la sustentabilidad ambiental de un territorio municipal mayoritariamente forestal, rural y periurbano.

Entre las funciones más importantes que se han identificado para el CEPPEZ se encuentran:

1. Responsabilizarse de la integridad, utilidad, transparencia, representatividad y reproducibilidad de la información generada sobre el territorio, la ecoeficiencia, las presiones, los impactos y la prospectiva en materia de sustentabilidad ambiental.
2. Fungir como interlocutor entre los expertos y las comunidades para definir prioridades para la sustentabilidad ambiental.
3. Gestionar un sistema de información ambiental transparente y accesible.
4. Supervisar el uso adecuado de la información generada en los estudios, ofreciéndole a los ciudadanos el poder de réplica ante las instituciones.
5. Actuar como conector interinstitucional (municipal, estatal e intersectorial) en diagnósticos e identificación de alternativas, haciendo un especial énfasis en la prospectiva del agua, territorio y energía.
 - a. Articulación de convenios con proyectos de diferentes instancias gubernamentales dentro de los tres poderes de gobierno, permitiendo gestionar fondos, capacidades y diagnósticos de instituciones federales y estatales al municipio y localidades.
6. Contactar y moderar el diálogo con instituciones de cooperación internacional para la creación de convenios.
7. Encargarse de la relevancia, coherencia y calidad de los términos de referencia para la convocatoria de estudios.

Generación y fortalecimiento de capacidades municipales para una planeación y gestión territorial eficaz

La generación de una institucionalidad municipal con capacidades y recursos para planear y gestionar las complejas problemáticas del territorio de Zapopan resulta, por demás, estratégico.

Como paraguas de lo que actualmente es Obras Públicas⁴⁶, se requiere integrar ejes de trabajo y un enfoque de transversalidad para entender y administrar adecuadamente las interacciones y los cambios en el territorio urbano, periurbano, rural, y forestal, desde una perspectiva de microcuencas articulada con el Estado y la Federación.

Esta institución de Planeación Territorial contaría con información estratégica del CEPPEZ y de un Sistema de Evaluación de Impactos⁴⁷ para decidir y proponer acciones e intervenciones prioritarias que contemplen al territorio en todas sus dimensiones.

Un ordenamiento territorial único y la planeación de microcuencas serían algunas de las funciones estratégicas de la Planeación Territorial integral.⁴⁸

Sustentabilidad ambiental y cambio climático

Históricamente algunos aspectos de la dimensión de la sustentabilidad han sido administrados en Zapopan por un área llamada *Ecología*. Como lo indicaría su nombre esta área no se ha enfocado en estudios ecológicos de ecosistemas locales. En su lugar, se le ha encomendado en administraciones anteriores la gestión de la recolección, transporte y disposición de residuos domésticos, así como de parques y jardines y el manejo de incendios forestales y áreas naturales con estatus de protección municipal. Las capacidades de gestión y sus presupuestos históricamente han sido asignados de manera reactiva a contingencias y situaciones de alto impacto mediático o por reclamos ciudadanos.

Zapopan estaría fortaleciendo capacidades institucionales adecuadas para evaluar, planear, establecer agendas articuladas y gestionar grandes temas transversales de la sustentabilidad ambiental y la Prosperidad a escala local, tales como la salud humana y ecosistémica; el agua; la energía; la adaptación al cambio climático; la evaluación integral de impactos de planes, programas y proyectos (pe: salud, social, ambiental); los riesgos hidrometeorológicos y otras amenazas ambientales; los servicios de ecosistemas y su relación con el bienestar humano; ciclo de vida y residuos; la calidad del aire; ruidos y vibraciones; entre otros.

Estos grandes ejes y la implementación de una parte de las Acciones propuestas a continuación podrían ser gestionadas de manera sistémica desde una nueva institución municipal capaz de operar con la visión de la Sustentabilidad Ambiental y el Cambio Climático partiendo de un enfoque estratégico, empoderado y articulado con CEPPEZ y Planeación Territorial. Esta propuesta contrasta con el actual enfoque reactivo y reduccionista.⁴⁹

⁴⁶ Al momento de redactar este reporte, Zapopan contaba con un área de Planeación Urbana, dependiente de una supradirección de implementación de Obras Públicas.

⁴⁷ Entendido como una herramienta de evaluación prospectiva de consecuencias de planes hasta proyectos.

⁴⁸ El diseño organizacional y funciones específicas de un área de Planeación Territorial excede los alcances de este proyecto de consultoría.

⁴⁹ El diseño organizacional y funciones específicas de un área institucional de Sustentabilidad Ambiental y Cambio Climático excede los alcances de este proyecto de consultoría.

Medidas, acciones, proyectos e instrumentos más adecuados para incrementar la sustentabilidad ambiental en el territorio de influencia de El Bajío

ARTICULAR E IMPLEMENTAR MEJORES PRÁCTICAS PARA LA PLANEACIÓN Y GESTIÓN DEL NEXO TERRITORIO, AGUA Y ENERGÍA.

La visión y las capacidades municipales se concentran en la planeación urbana; la planeación de áreas periurbanas, rurales y forestales queda desatendida y el ordenamiento ecológico y urbano están desarticulados. Más aún, la planeación urbana se lleva a cabo al margen de las mejores prácticas de evaluación de impacto, sólo recurriendo a trámites obsoletos de impacto ambiental de proyectos que resultan reactivos, aislados y limitados respecto a ciertos aspectos biofísicos del ambiente.

Para un territorio complejo como el de Zapopan, articular la planeación y gestión territorial de las facetas urbana, periurbana, rural y forestal por medio de herramientas para planeación y gestión —tales como la evaluación de impactos del ordenamiento de usos del suelo y el análisis de riesgos— sería un avance estratégico. Indicadores como la Huella Hídrica⁵⁰ y la Huella de Carbono⁵¹, así como la valoración de servicios de los ecosistemas⁵² de acuerdo a las mejores prácticas internacionales en el contexto de cambio climático, serían de gran ayuda en esta tarea

Acciones

1. Generar, sistematizar y transparentar **información sobre la evolución del territorio**, por medio del **monitoreo** de las siguientes áreas: cambio de uso de suelo, agentes de **cambio**, presiones e información generada en los procesos de evaluación de **impacto**. A su vez, se desarrollarán **escenarios, infografía e indicadores** que abonan a la planeación y comunicación, tales como la Huella de Carbono y la Huella Hídrica.
2. Elevar a nivel de **estrategia** municipal la articulación de la Planeación **Territorial**, con los Sistemas de evaluación integral de impacto, el ordenamiento territorial único, el de gestión de residuos, de riesgos ambientales y sitios contaminados y establecer la coordinación de las sinergias tanto con contrapartes Metropolitanas y el Estado, como con la Federación.

⁵⁰ “La Huella Hídrica es un indicador de uso de agua que tiene en cuenta tanto el uso directo como indirecto por parte de un consumidor o productor. La huella hídrica de un individuo, comunidad o comercio se define como el volumen total de agua dulce que se utiliza para producir los bienes y servicios consumidos por el individuo o comunidad así como los producidos por los comercios.” (Water Footprint Network).

⁵¹ “La totalidad de gases de efecto invernadero (GEI) emitidos por efecto directo o indirecto de un individuo, organización, evento o producto”. (UK Carbon Trust, 2008).

⁵² Son “los beneficios que la gente obtiene de los ecosistemas” y se pueden clasificar en servicios de aprovisionamiento (como agua, alimentos, madera y recursos genéticos), de regulación (del clima, inundaciones, calidad del agua, enfermedades, tratamiento de residuos, entre otros), de soporte (como polinización, formación de suelo, ciclo de nutrientes y producción primaria) y culturales (como recreación, disfrute estético y realización espiritual). (Evaluación de Ecosistemas del Milenio, 2005).

3. Considerar marcos metodológicos y capacidades institucionales específicas para el análisis de las dinámicas territoriales particulares de las amplias zonas rurales, forestales, periurbanas y urbanas de Zapopan y su planeación, al mejorar el nivel estratégico de la Planeación Territorial.
4. Mejorar el Sistema de Evaluación de Impactos⁵³ para desarrollar herramientas para la identificación **prospectiva** de **consecuencias** de acciones, tales como políticas, planes, programas y proyectos, sobre la **dinámica territorial**, la generación de escenarios y la toma de decisiones, priorizando:
 - a. La Evaluación Ambiental Estratégica (EAE) de Planes Parciales de Desarrollo Urbano prioritarios, utilizando criterios internacionales de cribado (*screening*) y definición de alcances y métodos (*scoping*).
 - b. La Evaluación de Efectos Acumulativos (EEA) de proyectos relevantes, particularmente desarrollos inmobiliarios,
 - i. para caracterizar generadores de cambio históricos, actuales y previsibles, en escenarios innovadores, *business as usual* e intermedios;
 - ii. empleando las mejores prácticas internacionales basadas en Componentes Valiosos del Ecosistema (CVEs) y Valores Sociales Clave (VSC)⁵⁴ e
 - iii. incluyendo, selectivamente, a los servicios ecosistémicos del agua como componente valioso del ecosistema.
 - c. Articular el Análisis de Riesgos Ambientales⁵⁵ (ARA) de **áreas críticas del territorio** por presencia de químicos de riesgo y población potencialmente expuesta incluyendo pero no limitado a:
 - i. La periferia del relleno sanitario de Picachos
 - ii. Basureros abandonados
 - iii. Corredores industriales
 - iv. Áreas de influencia de avenidas de tráfico intensivo
 - v. Las cuencas medias y bajas del Río Blanco y del Atemajac
 - vi. Arroyo Hondo en Las Mesas
 - vii. Arroyo de Milpillas en el Valle de Tesistán
 - viii. El cauce del río Santiago y el embalse de la presa de Santa Rosa
5. Actualizar el sistema de planeación y ordenamiento territorial para integrar las problemáticas urbana, periurbana, rural y forestal.

⁵³ Detalles propuestos a continuación en "Implementación y fortalecimiento de un Sistema de Evaluación de Impactos innovador para la planeación y gestión de la sustentabilidad ambiental".

⁵⁴ En la International Association of Impact Assessment (IAIA) se proponen metodologías de evaluación de valores ciudadanos (en inglés *CVA: Citizen Values Assessment*) que contribuyen a identificar valores sociales clave (*key values*).

⁵⁵ El Análisis de Riesgos Ambientales es una herramienta cuasi-cuantitativa para evaluar el riesgo de la salud humana por exposición a sustancias tóxicas. Permite decidir cómo priorizar la remediación de sitios contaminados y sus alcances de acuerdo a distintos parámetros. Más información: http://www.epa.gov/risk_assessment/ecological-risk.htm.

6. Implementar la evaluación prospectiva de externalidades ambientales y la planeación periurbana para delimitar y gestionar zonas de transición o amortiguamiento hacia las áreas rurales y forestales.
7. Desarrollar un programa de valorización y conservación de los servicios ecosistémicos⁵⁶ de áreas forestales para delimitar las siguientes zonas de:
 - a. Protección hidrológica
 - b. Protección de la biodiversidad
 - c. Captura de Carbono
 - d. Servicios Culturales recreativos, educativos y paisajísticos, entre otros
8. Desarrollar e implementar un mecanismo de retribución por servicios ecosistémicos provistos por agrosistemas en un marco de gestión de un mercado justo de oferta de productos de agricultura de cercanías.

Articular e implementar mejores prácticas para la valoración y gestión de los servicios de los ecosistemas y su vínculo con el bienestar humano

Los diversos ecosistemas proveen servicios estratégicos para el desarrollo humano y la actividad económica en Zapopan. Sin embargo, el cambio de uso de suelo, la urbanización atomizada, la presión de la industrialización, el crecimiento poblacional, de la demanda de servicios y la excesiva extracción no planificada de recursos naturales, entre otros agentes de cambio; están resultando en su sobreexplotación y posible agotamiento. Los conflictos sobre derechos de propiedad y la ausencia de mercados para servicios ecosistémicos en Zapopan empeoran las tendencias de deterioro.

A pesar de la importancia que tienen los servicios ecosistémicos para la prosperidad en Zapopan, los programas y políticas de desarrollo social y económico no están considerando dichos valores; e incluso, sus objetivos suelen llegar a contraponerse con la conservación de los servicios ecosistémicos y el desarrollo sustentable.

Desde la Comisión Nacional de áreas Naturales Protegidas (CONANP), el sector académico y organismos no gubernamentales, se comienza a resaltar como la valoración de servicios ecosistémicos ofrece un enfoque innovador y complementario a las herramientas de gestión del territorio y de la conservación de la biodiversidad implementadas a la fecha de redacción de este reporte.

En este sentido, se proponen las siguientes acciones:

1. Con el fin de impulsar la integración del enfoque de valoración en las políticas públicas, difundir y posicionar la relevancia de los servicios ecosistémicos de Zapopan en espacios de concertación intra e intersectoriales, así como promover espacios de diálogo y alianzas estratégicas.

⁵⁶ Entre los servicios ecosistémicos que proveen las áreas forestales y agrosistemas se encuentran: abastecimiento de alimentos y de productos maderables, polinización, captación de CO₂, regulación de temperatura e inundaciones, regulación de la calidad del suelo, agua y aire, biodiversidad, uso recreativo, entre otros.

2. Priorizar la articulación de proyectos, programas y planes con el Estado, la Federación y los Organismos de Cooperación Internacional para el entendimiento y la **valoración social de Servicios de los Ecosistemas** y sus aportes al **bienestar humano** en particular de los receptores más vulnerables de dichos Servicios.⁵⁷
3. Potenciar los servicios ecosistémicos urbanos a través del espacio público adecuadamente arbolado, áreas verdes y zonas de escurrimiento e infiltración, entre otros.
4. Traducir de manera estratégica las consecuencias potenciales del cambio climático a sistemas de **comunicación** y gestión del riesgo.
5. Evaluar los mecanismos de gestión y **resiliencia** municipal que serán necesarios por el incremento de la vulnerabilidad ante efectos de los eventos hidrometeorológicos extremos.
6. Procurar una exploración de arreglos institucionales **innovadores** para el diseño de **estrategias** para la gestión de los **eventos hidrometeorológicos** extremos que aumentarían su frecuencia en Zapopan.
7. En el contexto de una mayor repetición de este tipo de eventos en Zapopan relacionados con el **cambio climático**, fortalecer la **resiliencia** social basada en la identificación eficaz de la vulnerabilidad en aquellos espacios y comunidades susceptibles a las amenazas de este tipo, considerando la paradójica combinación de chubascos intensos y probables sequías estacionales.
8. Generar escenarios de **manejo de áreas verdes** considerando el potencial **incremento** de:
 - a. velocidad de vientos
 - b. intensidad de precipitaciones en plazos cortos (menos de una hora)
 - c. eventos históricamente atípicos como acumulación de granizo, obstrucción de drenajes por hielo, erosión, transporte y deposición de suelos/sedimentos, acumulación de materia orgánica; caída de individuos arbóreos, rotura de cableado aéreo, entre otros⁵⁸
9. Incorporar a los reglamentos de construcción la introducción de **banquetas** como **espacios públicos** amplios, y la promoción de su uso prioritario funcional para peatones, **con** corredores peatonales verdes reemplazando espacios para vehículos en calles seleccionadas, **con** **sombra** arbórea adecuada y **sostenible**, drenaje pluvial independiente, acondicionadas con **arbolado** que provea del servicio de sombra al

⁵⁷ El desconocimiento y la falta de evaluación de los servicios ecosistémicos provistos en una microcuenca o un área del territorio de Zapopan ha propiciado un uso indiscriminado de los recursos con repercusiones negativas en el bienestar, particularmente de grupos poblacionales vulnerables. Se han desarrollado diversos estudios y metodologías para evaluar los servicios de los ecosistemas. No obstante, aún son escasos los trabajos que pretenden valorar la relación entre servicios de los ecosistemas y el bienestar humano a nivel local. En Zapopan, hay muy pocos estudios que identifiquen la relación entre las áreas del territorio que proveen servicios ecosistémicos y la población o comunidades que los reciben y disfrutan.

⁵⁸ Predominante en las zonas urbanas de Zapopan ante el valor incremental de la infraestructura subterránea por razones de paisaje, espacio público, alteración privada, vulnerabilidad climática, etc.

- peatón⁵⁹ captura de carbono, avifauna, polinización, amortiguamiento del ruido, paisaje; entre otros.
10. Identificar zonas aptas para el manejo de agua pluvial y de generación de demanda de agua adecuadamente tratada para riego urbano eficaz de jardines, banquetas y camellones en estiaje,
 - a. Identificar áreas con acequias y la potencialidad de riego urbano con agua adecuadamente tratada.⁶⁰ Aprovechar aguas residuales tratadas en las AGUIs o en el Municipio para mantener servicios ecosistémicos urbanos.
 11. Promover y articular la gestión municipal de espacios potencialmente contaminados con un Sistema Estatal de **Sitios Contaminados**, utilizando el ARA antes descrito para la toma de decisiones para gestionar su caracterización, restauración y reaprovechamiento con **riegos** socialmente aceptables para la salud humana, bajo estándares como los aplicables a *brownfields*, de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, por ejemplo.

GENERAR UNA INSTITUCIONALIZACIÓN MUNICIPAL Y FORTALECER LA ARTICULACIÓN DE LA GESTIÓN ESTRATÉGICA DEL AGUA

La agenda municipal para la gestión integral del agua es muy limitada: está desarticulada del Sistema Intermunicipal de los servicios de Agua Potable y Alcantarillado (SIAPA) y las funciones operativas de la Dirección de Agua Potable y Alcantarillado (DAPA) se acotan a conducción, drenaje y saneamiento parcial y una nula recuperación de costos por consumo y conexión a través de tarifas ficticias a fraccionamientos existentes y emergentes.

La articulación de Zapopan con la operación del SIAPA es asimétrica, y ambos organismos se desligan del estudio de la demanda de agua para su control. El agua subterránea es la fuente local y estratégica en Zapopan, y está siendo gravemente impactada por la presión extractiva de la “minería del agua” desregulada y atomizada. Zapopan, SIAPA, Estado y Federación no han desarrollado una agenda articulada de protección de las fuentes de agua ni de adaptación hídrica al cambio climático.

El municipio no tiene actualmente las capacidades ni los interlocutores adecuados para realizar negociaciones o acuerdos con la Comisión Nacional del Agua (CNA) sobre el territorio en zonas federales riparias adyacentes a los cursos de agua. Tampoco posee capacidades con respecto a las concesiones y explotación del agua subterránea.

Prioridades

- Implementar un Plan Estratégico del Agua municipal, en articulación con el Estado y el Organismo de Cuenca, bajo orientaciones de las mejores prácticas internacionales y de la Prosperidad Urbana

⁵⁹ Ver Walkable Neighborhoods; Walk Score.

⁶⁰ Componente de la gestión integral del agua en Zapopan.

- Desarrollar capacidades institucionales municipales para articular la gestión integral del agua con el SIAPA, la Comisión Estatal de Agua de Jalisco (CEA), la CNA y otros organismos operadores en el área metropolitana, con el objetivo de:
 - Incorporar la seguridad hídrica en la planeación estratégica transversal e intersectorial
 - Incorporar la gestión del agua como prioridad en la adaptación al cambio climático.
 - Avanzar en entender y valorar servicios ecosistémicos (SE) del agua
 - Implementar nuevas herramientas de gestión para la seguridad hídrica⁶¹ en el marco de nuevos objetivos y perspectivas necesarias ante el cambio climático
 - Priorizar la seguridad hídrica y el derecho humano al agua en el marco de la Nueva Cultura del Agua y la Hidrosolidaridad. Desarrollar la agenda municipal del agua como agenda transversal, que considere la incorporación nuevos paradigmas y herramientas de gestión integral, entre ellos:
 - la Gestión Integral del Agua⁶²
 - la Nueva Cultura del Agua⁶³ y el Derecho Humano al Agua y al Saneamiento⁶⁴,
 - la HidroSolidaridad como enfoque socio-ético para la gobernanza, planificación y gestión sostenible del agua⁶⁵,
 - el análisis y reducción de la Huella Hídrica⁶⁶
 - Análisis de Ciclo de Vida e Impacto Social de Productos⁶⁷
 - resiliencia social al cambio climático,
 - la protección de fuentes de agua y de los servicios ecosistémicos a largo plazo,

⁶¹ La seguridad hídrica se ha descrito como “la capacidad de una determinada población para salvaguardar el acceso a cantidades adecuadas de agua de calidad aceptable, que permita sustentar tanto la salud humana como la del ecosistema, basándose en las cuencas hidrográficas, así como garantizar la protección de la vida y la propiedad contra riesgos relacionados con el agua – inundaciones, derrumbes, subsidencia de suelos y sequías” (UNESCO, 2014).

⁶² resumen sobre la GIA en Anexos.

⁶³ Ver productos comunicacionales y educativos de Fundación Nueva Cultura del Agua en: <http://www.fnca.eu/guia-nueva-cultura-del-agua/>.

⁶⁴ Ver marco de ONU en: <http://www.ohchr.org/SP/Issues/WaterAndSanitation/SRWater/Pages/SRWaterIndex.aspx>.

⁶⁵ El concepto de HidroSolidaridad se ha ido desarrollando y refinando desde el Simposio del Agua de Estocolmo, pionero en el la propuesta de visiones integradoras de vanguardia, como respuesta a los grandes desafíos de cambios hídricos globales. Ver: Towards **Hydrosolidarity**, *Fifteen-Year Message from the Stockholm Water Symposia*, Symposium Scientific Programme Committee. La Hidrosolidaridad y Gobernanza Hídrica estaba ya institucionalmente incorporada en la agencia de agua de Perú en el año.

⁶⁶ Ver alcances, implicaciones, implementación y productos comunicacionales en: <http://waterfootprint.org/en/water-footprint/>.

⁶⁷ Implicaciones y propuestas en: <http://www.pre-sustainability.com/now-available-product-social-impact-assessment-method>.

- la transversalidad de la gestión del agua como bien común, desacoplado de la propiedad de la tierra, entre otros.

Acciones

Desde el nuevo marco de gobernanza discutido con anterioridad, las acciones propuestas son:

1. Generar nuevas articulaciones transversales en la planeación y gestión estratégica del nexo agua, territorio y energía entre los sectores tradicionalmente compartimentados de la administración municipal, como entre obras públicas, hidráulica, planeación urbana y ecología.⁶⁸
2. Generar información representativa, replicable, transparente y útil para la toma de decisiones sobre el agua
3. Diseñar y mantener un sistema de información e indicadores sobre el agua en Zapopan, como la Huella Hídrica.
4. Incorporar al agua como eje transversal en los alcances del CEPPEZ
5. Actualizar conocimientos sobre el estado -calidad y cantidad-, presiones, y tendencias de fuentes de agua superficial y subterránea.
6. Evaluar integralmente el estado y operación de la infraestructura hidráulica (pluvial, domiciliaria, residual, tratada, etc.)
7. Generar escenarios y necesidades prospectivas de infraestructura en el marco de la gestión conjunta agua, territorio y energía; evaluando potenciales impactos con las mejores prácticas
8. Generar programas específicos e indicadores relacionados con **entender y valorar servicios ecosistémicos (SE)** del agua e incorporarlos como Componente Valioso de Ecosistemas (CVE) en el nuevo **Sistema de Evaluación de Impactos**
9. Incorporar los servicios ecosistémicos del agua como CVE en Evaluaciones de Efectos Acumulativos (EEAs), Evaluaciones Ambientales Estratégicas (EAEs) de planes y programas y en una actualizada Evaluación de Impactos Ambientales de proyectos.
10. Desarrollar, evaluar, implementar y dar seguimiento a programas para optimizar la oferta sostenible de agua potable y segura⁶⁹; sin estacionalidades, en cantidad y calidad, priorizando programas transversales para:
11. El análisis de sectores y consumos estacionales, por tipo de uso y calidad demandada en distintas ocupaciones del territorio municipal.
12. La restauración y conservación de cuerpos superficiales contaminados, considerando primero la exposición humana a químicos de riesgo, contaminantes emergentes y también el exceso de nutrientes.

⁶⁸ Hasta el año 2014 Zapopan contaba en su estructura con una Dirección homónima, cuyos ámbitos de intervención poco tenían que ver con la ciencia de la ecología y que, por otro lado, no tenía las atribuciones y capacidades institucionales de analizar y resolver desafíos territoriales y ambientales fundamentales en la perspectiva del cambio climático y el nexus agua, territorio y energía.

⁶⁹ "El agua potable y limpia representa una cuestión de primera importancia, porque es indispensable para la vida humana y para sustentar los ecosistemas terrestres y acuáticos.. el acceso al agua potable y segura es un derecho humano básico, fundamental y universal, porque determina la sobrevivencia de las personas, y por lo tanto es condición para el ejercicio de los demás derechos humanos"; J. Bergoglio (Laudato Si, 2015)

- a. La generación de un mercado de aguas residuales tratadas.
 - b. La captación y conservación de agua de lluvia.
 - c. La recarga de acuíferos con agua de lluvia, esorrentía de calidad adecuada o agua adecuadamente tratada.
 - d. La instalación de tanques elevados de diseño adecuado en los barrios de mayor marginación para alojar volúmenes de agua de calidad potable en las colonias más marginales para la provisión del derecho humano al agua potable y segura, mediante servicio de distribución concertada y equitativo, obtenida de sistemas de flujo subterráneo monitoreados hidrogeológicamente y de buena calidad hidroquímica⁷⁰ (zonas anillo La Primavera, por ejemplo)
13. Desarrollar, evaluar, implementar y dar seguimiento a planes para gestionar la demanda de agua a través de:
- a. La regulación y reducción del consumo y desperdicio de agua de buena calidad, particularmente de agua subterránea.
 - b. La implementación de un esquema tarifario que contemple el derecho humano al agua, la sostenibilidad financiera del organismo operador y protección de las fuentes.
 - c. Desarrollar indicadores como Huella Hídrica.
 - d. Estimar demanda actual y en distintos escenarios de urbanización, en distintas estaciones y con implementación de tarifas incrementales.
 - e. El abastecimiento y saneamiento a viviendas en asentamientos regularizados.
 - f. La promoción de la creación de organismos operadores de agua en áreas críticas de gestión.
14. Articular la gestión del agua con la planeación territorial con una perspectiva de microcuencas para, entre otros aspectos:
- a. gestionar los **riesgos hidrometeorológicos** derivados del cambio climático, particularmente las tormentas extremas, inundaciones y sequías;
 - b. generar espacios lineales paralelos a los **cauces** para el disfrute y protección de **servicios ecosistémicos culturales** (pe, recreación, educación), áreas de conservación y control de riesgos;
 - c. aplicar el estado del arte **hidrogeológico** para monitorear con métodos directos y proteger las zonas de vulnerabilidad de sistemas de flujo de **agua subterránea** a la minería (explotación extractiva), a la degradación hidrogeoquímica y contaminación.
15. Implementar estudios prospectivos del acople que la potencial **escasez de agua** de calidad –afectación de sistemas de flujo subterráneo, varianza climática, contaminación- podría provocar en el aumento del **costo de los alimentos**, infraestructura y de distintos productos que dependen de su uso.
16. Desarrollar e implementar programas formales y no formales de educación; campañas de **comunicación** y difusión sobre la cuestión futura y cultural del agua; enfatizando sus servicios ecosistémicos de provisión -particularmente del agua subterránea-

⁷⁰ Potabilidad y seguridad certificada por el municipio y por un auditor independiente

regulación y recreación; en el contexto actual de **inequidad** en asequibilidad e **impacto** sobre salud, bienestar y costos de reemplazo (jóvenes y generaciones futuras).

IMPLEMENTAR Y FORTALECER UN SISTEMA DE EVALUACIÓN DE IMPACTOS INNOVADOR Y EFICAZ PARA LA PLANEACIÓN Y GESTIÓN DE LA SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL

La única herramienta de evaluación de impacto (EI) del sistema municipal, la evaluación de impacto ambiental (EIA) de proyectos, es un trámite obsoleto que no aborda aspectos básicos de la sustentabilidad ambiental (gestión de agua, residuos, de la demanda energética, movilidad, calidad del aire, especulación sobre del territorio) y, por lo tanto, no sirve como herramienta para la toma de decisiones.

Nuevos marcos de análisis de la sustentabilidad ambiental y de lo que es la Evaluación de Impacto (EI) como herramienta prospectiva requerirían, a su vez, la actualización de los componentes y actores de un Sistema de Evaluación de Impactos eficaz, así como la aplicación de herramientas innovadoras de EI.

¿Qué implicaría la Evaluación de Impactos 2.0 para Zapopan?

Según a la International Association of Impact Assessment (IAIA): “A través de los años, la EI ha sido reconocida como un **instrumento predictivo** capaz de **asesorar proactivamente** a los responsables de tomar **decisiones** sobre lo que podría pasar si una propuesta se lleva a cabo. **Los impactos son cambios** que se considera que pueden tener una significación ambiental, política, económica o social para la sociedad.

Los **impactos** pueden ser positivos o negativos y pueden afectar al medioambiente, las **comunidades**, la **salud** humana y el **bienestar**, los objetivos de **sostenibilidad** deseados, o a la **combinación** de éstos. La Evaluación de Impacto puede ayudar a **diseñar e implementar mejores políticas, planes, programas y proyectos** que se enfrentarán a grandes desafíos como son el cambio climático, pérdida de biodiversidad, población creciente, urbanización, conflictos por unos recursos cada vez más escasos, desigualdad, y nuevas oportunidades tecnológicas.

Mediante el **examen crítico** de las acciones del desarrollo, mientras están siendo definidas, la EI contribuye a fomentar un futuro equilibrado y sostenible, y a dar forma y mejorar la sociedad en la que vivirán las futuras generaciones. La EI puede optimizar los efectos positivos del desarrollo convirtiendo los problemas en oportunidades.

La **adopción fundamentada de decisiones** proporciona opciones para la integración temprana e inteligente de las cuestiones ambientales, sociales y económicas; ayuda a desarrollar propuestas para la acción, para mejorar las oportunidades, evitando riesgos y mitigando los efectos perjudiciales” (IAIA, 2014).

La EI es una herramienta clave técnica -y dualmente de procedimiento- para la planeación territorial, la protección a la salud, la calidad de vida, la gestión de riesgos, la adaptación al cambio climático, la productividad sostenible, la equidad y la gestión de la sustentabilidad ambiental en general.

Prioridades

1. Diseñar e implementar un nuevo Sistema de Evaluación de Impactos (SEI) municipal eficaz para evaluar, prevenir, controlar, mitigar, compensar y monitorear los impactos ambientales, sociales, en la salud y económicos de proyectos, programas, planes y políticas (PPPPs) municipales de manera articulada con el Estado y de acuerdo a los lineamientos de la mejor práctica propuestas por la International Association of Impact Assessment (IAIA), organismos de cooperación internacional y publicaciones internacionales ⁷¹
2. Avanzar en potenciar los resultados y efectividad del SEI al reenmarcar **la evaluación de impactos (EI)** como “el proceso de identificar las consecuencias futuras de una acción actual o propuesta. El “impacto” es la diferencia entre lo que pasaría con la acción y lo que ocurriría sin ella” (IAIA 2014).

La evaluación de impactos se transformaría, así, del **actual trámite reactivo** a una herramienta dual de **evaluación prospectiva y regulatoria**; para el análisis de escenarios y la toma de decisiones en la planeación:

Fortalecer la naturaleza dual técnica y de procedimiento de la EI

Según la IAIA: “En su **faceta técnica**, la EI busca **evaluar y sintetizar** los esfuerzos de especialistas de diversas **disciplinas**, agentes **interesados** y **autoridades** competentes. Suministrando información **imparcial**, ayuda a los responsables de tomar **decisiones** a desarrollar o seleccionar las políticas, planes, programas y proyectos, que serán **sostenibles** y a la vez **aceptables** para las personas que se verán afectadas.

En un contexto **normativo e institucional**, la EI es un procedimiento **legal**, integrado en el proceso de **toma** de decisiones a que será sometido una **actuación prevista**. Se trata de garantizar que todas las **partes interesadas**, tanto privadas como públicas, han sido **involucradas** y sus **intereses** reconocidos, que se han cumplido las leyes y normas de aplicación, y que la **información** pertinente para la decisión no ha sido **omitida ni exagerada**”.

Acciones

Actualizar la definición y mejorar la eficacia de un **Sistema de Evaluación de Impacto (SEI)** según las mejores prácticas internacionales

⁷¹ Por ejemplo: *Strategic environmental assessment: the state of the art* - Impact Assessment and Project Appraisal - Volume 30, Issue 1:
<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14615517.2012.666400#.VaRawngSREQ>.

Desarrollar el **SEI** articulado con visión **estratégica** con un área de Planeación Territorial, una Dirección de Sustentabilidad Ambiental y Cambio Climático, Obras Públicas, DAPA y miembros de comisiones del Cabildo.

Mejorar y redefinir las escasas herramientas existentes de EI –Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos (EIA) y Evaluación de Efectos Acumulativos (EEA)– de acuerdo a las mejores prácticas internacionales:

- a. Implementar *Screening* moderno y estratégico, para cribar y priorizar acciones que requieran ser evaluadas.
- b. Implementar *Scoping* participativo, involucrando a académicos o grupos de expertos, posibles afectados, instancias de gobierno y público interesado.
- c. Hacer efectivo el análisis de alternativas de acciones.
- d. Incorporar las Evaluaciones de Efectos Acumulativos Rápidos para los proyectos que generen impactos incrementales potenciales sobre Componentes Valiosos Socioambientales y para los Planes de Ordenamiento del territorio.
- e. Implementar los mecanismos eficaces de participación pública recomendados por IAIA y organismos de cooperación internacional; con el apoyo concertado de académicos especialistas y grupos expertos en auditoría operativa, procesos participativos y la supraevaluación de procesos de EI.
- f. Implementar el seguimiento de los promoventes de proyectos y el gerenciamiento adaptativo por parte de un tercero independiente experto, a partir del monitoreo integral de las medidas –y resultados– de la prevención, el control, la mitigación y la compensación de los impactos del proyecto, así como de sus impactos residuales.
- g. Implementar auditorías de todos los procesos involucrados en la EI, por parte de auditores expertos independientes.

Regular e implementar la Evaluación de Impactos a la **Salud** (EIS), Evaluación de Impacto Social (**EISO**) y el Análisis de Riesgos Ambientales (**ARA**).

Lograr incidencia estratégica de mejores prácticas de EI mediante la implementación de la evaluación de impacto de planes –incluyendo desarrollo urbano- políticas y programas (PPPs): la Evaluación Ambiental Estratégica (EAE).

Regular, articular con el Estado e implementar la Evaluación Ambiental Estratégica (EAE) de PPPs de acuerdo a las mejores prácticas internacionales, incorporando el análisis de riesgos ambientales (ARA) casos relevantes.

Generar y fortalecer las **capacidades** de los actores involucrados en el sistema municipal de EI, particularmente de los consultores, supraevaluadores y tomadores de decisiones
Articular distintas herramientas de gestión ambiental con el sistema de EI, como:

- a. Certificaciones voluntarias de la industria, particularmente en la determinación de Aspectos Ambientales Relevantes para los Sistemas de Gestión Ambiental certificables por ISO de forma voluntaria.
- b. Planeación y ordenamiento territorial

- c. Edificación y barrios sustentables
 - d. Huella ecológica, Huella Hídrica y Huella de Carbono, entre otras
- Implementar una **plataforma de información y difusión** de El municipal en línea, disponible al público que incluya:
- a. Sistema de Información Geográfica (SIG) con la información generada en el Sistema de Evaluación de Impacto, en planeación y Ordenamiento del territorio, productos del Centro de Estudios, Planeación y Proyectos Estratégicos del Municipio De Zapopan (CEPPEZ)
 - b. Publicación de reportes de los proyectos y PPPs evaluados, de los resultados de distintos mecanismos de participación pública, las resoluciones y condicionantes emitidas.
 - c. Recursos de educación y capacitación (facilitando recursos ya disponibles)
 - d. Procedimiento de clasificación y control de calidad de metadatos
 - e. Un espacio para la solicitud y uso de información georeferenciada.

ARTICULAR E IMPLEMENTAR MEJORES PRÁCTICAS PARA LA EVALUACIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS AMBIENTALES⁷² EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Incorporar la **gestión de riesgos⁷³** a la **planeación territorial** y a la **gestión de la sustentabilidad ambiental** y el **cambio climático**.

Generar la plataforma y capacidades para la articulación de proyectos, programas y planes con el Estado, la Federación y los organismos de **cooperación internacional** para la evaluación de escenarios y la gestión de riesgos.

Generar **mecanismos de gestión de riesgos** incorporando perspectivas de la productividad, la equidad, la integridad de la infraestructura y la calidad de vida. Realizar análisis de vulnerabilidad al **cambio climático** por zonas, actividades económicas y grupos de población, con especial énfasis en áreas y grupos de alta marginación.

Construir, sobre escenarios actuales y prospectivos, **mecanismos de adaptación municipal** como respuesta a emergencias para minimizar daños y aprovechar posibles beneficios en zonas específicas ante el cambio climático en caso de eventos hidrometeorológicos extremos como:

- a. inundaciones
- b. deslizamiento de taludes
- c. tormentas
- d. sequías

⁷² El **análisis y la gestión del riesgo** se reconoce como uno de los retos claves para el bienestar humano y la prosperidad.

⁷³ La gestión de riesgos comprende actividades de prevención, mitigación, preparación y transferencia que se ejecutan antes de la ocurrencia del evento, así como después del evento, mediante medidas de atención y rehabilitación. [Millán López, J. A. (2005). *Corregir y compensar los impactos de las acciones de reducción y prevención de riesgos en el nivel municipal*. Departamento Nacional de Planeación de Colombia: Colombia.

e. incendios

Evaluar las **características naturalmente dinámicas del paisaje de Zapopan** y las presiones antropogénicas en la gestión de riesgos **geológicos, geomorfológicos** y otros riesgos naturales.

Entre los elementos claves para una exitosa gestión del riesgo se incluyen procesos de protección de los ecosistemas que proveen servicios y que, si se deterioran, pueden transformarse en fuente de peligros⁷⁴.

Articular programas de monitoreo y gestión de la calidad del aire y emisiones de GEI entre el Estado y otros municipios metropolitanos

Diseñar un modelo de trabajo que defina actividades concretas con el objetivo de documentar las emisiones y a los emisores, presentar la información a la población, identificar las zonas más vulnerables, mejorar los procesos de toma de decisiones y disminuir los contaminantes emitidos a la atmósfera como los Gases de Efecto Invernadero (GEI).

Acciones

1. Incorporar la caracterización de externalidades por exposición a contaminación aérea y emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI) en el *Scoping* las Evaluaciones de Impactos a la Salud (EIS) de PPPs y Proyectos relevantes en el Municipio
2. Generar información y crear canales de comunicación más eficientes sobre el estado y presiones en la calidad del aire en Zapopan, los impactos en la salud humana, mecanismos de protección de la salud y mejora de los procesos de toma de decisiones.
 - a. Identificación y generación de un inventario de fuentes de emisión puntual y área dentro del territorio de Zapopan, imbricado con modelos de análisis de costos por deterioro de servicios ecosistémicos e impacto a la salud humana.
 - b. Aumento de la información de acceso público acerca de las afectaciones a la salud provenientes de una mala calidad del aire.
 - c. Mejora de la comunicación de las implicaciones positivas de los cambios de modelos de movilidad y de producción en los riesgos actuales a la salud.
3. Mejorar el monitoreo de las emisiones de contaminantes a la atmósfera, en acuerdo con el Estado y el AMG
 - a. Gestión para la instalación de una nueva estación de monitoreo de calidad del aire en Zapopan.
 - b. Articulación para dar mantenimiento a las estaciones de monitoreo existentes en el municipio
 - c. Desarrollo de modelos de tiempo real para la estimación de la calidad del aire por parámetros individuales, reduciendo la utilización de índices de promedio ponderado

⁷⁴ Un ejemplo repetido en Zapopan es la escorrentía urbana y el transporte de sedimentos incrementados por impermeabilización: el agua que recargaba acuíferos en piedemontes hoy genera peligros asociados con picos de inundación.

4. Aumento del conocimiento acerca del estado y escenarios prospectivos de la calidad del aire. Avanzar con el CEPPEZ en la generación de medidas de política e incentivos para reducir la contaminación atmosférica:
 - a. Diseño de políticas para la promoción del uso de vehículos híbridos o eléctricos para traslados complementarios a una nueva red de transporte público y de movilidad no motorizada.
 - b. Diseño de políticas para regular y desincentivar la construcción de estaciones de servicio y otros puntos de manejo de combustibles fósiles y emisiones de compuestos orgánicos volátiles en zonas pobladas.
 - c. Procuración de una permeabilidad de la infraestructura de transporte para reducir congestiones, emisiones concentradas y tiempos de traslado
 - d. Evaluar estado y presión de cuencas atmosféricas para generar una gestión integral de las mismas
 - e. Generación de incentivos para la actualización y control de emisiones de la flota vehicular particular y del Municipio.
 - f. Creación de áreas verdes y articulación con las instancias correspondientes para contar con un mejor control y cuidado de futuras y actuales Áreas Naturales Protegidas (ANP) urbanas y periurbanas.
5. Implementación de mejoras en el sistema de transporte público bajo indicadores de confort, tiempo de traslado, pago, frecuencia y exposición a emisiones utilizando herramientas de las EAEs, EISs y EISos; para reducir emisiones (contaminantes y de GEI) por fuentes móviles y de las zonas lineales de concentración de contaminantes en áreas pobladas.
6. Desarrollar indicadores territoriales de potencial exposición para la protección de la salud de la población más vulnerable. Incorporar calidad del aire en el monitoreo ambiental. Implementar estudios de Huella de Carbono.
 - a. Identificación de zonas prioritarias por la contaminación aéreas, exposición por inhalación y la vulnerabilidad de la población
7. Incrementar el control de emisiones de GEI:
 - a. Diseño e implementación de un plan de monitoreo y mitigación de emisiones GEI, incluyendo emisiones de metano en rellenos sanitario, embalse de Santa Rosa y plantas de agroindustria
 - b. Articulación de una estrategia de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de suelos con el Estado y la Federación
 - c. Análisis con CEPPEZ de esquemas de producción agropecuaria y forestal con potencial de mitigación mediante prácticas de captura de carbono, manejo de residuos de actividades pecuarias y reducción de emisiones derivadas del manejo inadecuado del fuego.

ESTRUCTURAR UN SISTEMA DE ANÁLISIS Y GESTIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA EN LAS ÁREAS URBANAS Y PERIURBANAS

El diseño institucional de Zapopan es raquítico para monitorear, sistematizar y gestionar la generación, transporte, demanda y consumo de energía. Se encontró muy poca

información confiable y útil durante el desarrollo de este proyecto. Las acciones propuestas están orientadas, entonces, a diseñar un plan de gestión actividades cuyos principales objetivos sean:

Acciones

1. Generar información de calidad⁷⁵ acerca de la cantidad de energía utilizada por tipo de fuente y de uso en áreas diferenciales del territorio,
 - a. creando modelos paramétricos para auditar y disminuir el probable derroche de energía en el marco del cambio climático y de los impactos socioambientales de los proyectos de generación y conducción,
2. Identificar los proyectos piloto y potenciales que pueden desarrollarse en Zapopan (fotovoltaicos, eólicos, geotérmicos)
3. Desarrollar lineamientos para el *Scoping* de las Evaluaciones de Impacto de los programas energéticos o proyectos de generación o cogeneración en el territorio municipal o en sus adyacencias
4. Coordinar con las instancias gubernamentales correspondientes para incentivar la demanda diferencial de energías renovables
5. Fortalecer las capacidades técnicas para ser contraparte de cofinanciamiento para el desarrollo de proyectos de ahorro de energía y energías renovables.⁷⁶
 - a. Identificar las oportunidades estratégicas de gestión de la demanda de energía por tipo, área y consumo.
6. Realizar con CEPPEZ un análisis económico complejo del impacto de la tarifa eléctrica diferencial y subsidio para bombeo y extracción de agua en pozos profundos; considerando el des-incentivo para eficiencia energética, el incentivo al sobrebombeo, derroche y actividades extractivas del agua subterránea fósil en Zapopan, incidiendo en el costo de reemplazo de la fuente de agua a futuro.
7. Diseñar políticas con CEPPEZ para la promoción del uso y distribución de Gas Natural de menor riesgo a través de tuberías monitoreadas, enterradas, aislables⁷⁷ en reemplazo del Gas Licuado de Petróleo, distribuido actualmente por camiones-tanque con escasa auditoría y regulación; generadores de congestión incremental y el riesgo móvil de emisión o explosión.
8. Estructurar con CEPPEZ estudios piloto para monitorear la energía total utilizada en el territorio de Zapopan, por tipo de fuente y uso
 - a. Generación de inventarios acerca de los requisitos energéticos dentro del municipio
9. Avanzar con CEPPEZ en generar información que sea accesible a la población y tomadores de decisión acerca del consumo energético para su concientización

⁷⁵ Para lo anterior es necesario realizar estudios articulados con la Federación sobre consumo energético en el municipio para incrementar la información y el conocimiento local del desafío energético local e impulsar programas orientados a la disminución y efficientización del consumo en un cambio transicional a energías renovables.

⁷⁶ Ver Estrategia Nacional de Energía 2013-2027, p.13

⁷⁷ Bajo estándares internacionales de seguridad, operación y manejo de riesgos.

10. Creación de campañas que promuevan el ahorro de energía bajo criterios de externalidades ambientales y sociales que no son típicamente identificadas.
11. Diseñar políticas de reducción del consumo de energía con emisiones relevantes de GEI a la atmósfera.
12. Modernización y aumento de la eficiencia de aquellos sistemas de transporte que utilicen energía eléctrica y combustibles fósiles.
13. Generar políticas con el objetivo de reducir las emisiones de GEI provenientes del consumo energético, manejo de residuos, cuerpos de agua anóxicos y de las actividades agropecuarias e industriales.
 - a. Avanzar en políticas de demanda y generación eléctrica con metano en Picachos.

Desarrollar un programa de análisis de ruido, receptores e implementación de mitigaciones

Estudios incipientes indican que los ruidos y vibraciones generados por vehículos de transporte en Zapopan tienen efectos acumulativos sobre la salud de los habitantes. Calles saturadas, escaso arbolado y banquetas angostas o inexistentes propician la exposición al ruido y las vibraciones, e inciden en la calidad de vida urbana. Si bien no existe una red de monitoreo permanente o indicadores actualizables de exposición al ruido, se han comenzado a estudiar corredores de transporte público y sitios industriales localizados en la zona urbana consolidada. Actualmente, se estima que la población afectada por el ruido del transporte público, solamente, puede sumar cerca de 800,000 habitantes y se proyecta que más del 10% estaría expuesta a ruido severo. Algunos establecimientos generan altos niveles de ruido, sinérgicos, a veces, con el del transporte.

Acciones

Incorporar a los efectos de ruido y vibraciones en el scoping de las EIA, EIS, EISo de planes a proyectos en zonas urbanas y periurbanas en el que exista el potencial de generación incremental y receptores vulnerables.

Incorporar el ruido en los análisis de riesgo ambiental (ARA), incluyendo el análisis cuantitativo de generación, exposición y mitigación de riesgos por ruido y vibraciones.

Estructurar con CEPPEZ estudios piloto para monitorear ruido, vibraciones y potenciales efectos en la salud de receptores locales de zonas urbanas consolidadas prioritarias.

Diseñar políticas con CEPPEZ para el monitoreo de corredores ruidosos, y la justificación de la promoción del uso de vehículos de menor generación de ruido o la instalación de estructuras aislantes para la población más expuesta (como por ejemplo a lo largo de las vías férreas de carga).

PROPUESTAS ESTRUCTURALES PARA LA FORMACIÓN DE CAPACIDADES EN EVALUACIÓN DE IMPACTOS

La EAE forma parte de un grupo de instrumentos estratégicos de evaluación de impactos. Debido a que esta EAE es pionera en México y su experiencia en su uso es muy limitada, se generaron propuestas estructurales (Planes de Estudio generales y específicos) para la formación de capacidades en los funcionarios y actores clave involucrados en las mejores prácticas de Evaluación de Impactos recomendadas por la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE), el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Asociación Internacional de Evaluación de Impacto (IAIA por sus siglas en inglés).

A continuación se adjunta el programa desarrollado para el componente de formación de capacidades:

Contenido del programa experto de formación de capacidades en Evaluación de Impactos y Evaluación Ambiental Estratégica (EAE)

Módulos	Horas por módulo	Número de sesiones	Contenidos
Introducción a las Evaluaciones de Impacto (EI) y a las Mejores Prácticas Internacionales	12	3	Visiones de ambiente, salud, impacto y sustentabilidad
			¿Qué es la evaluación de impacto?
			La naturaleza dual de la evaluación de impacto: herramienta técnica para el análisis e instrumento legal y administrativo
			Mejores prácticas internacionales: la Asociación Internacional para la Evaluación de Impacto
			Tendencias innovadoras para la mejora de la eficacia y utilidad pública de la Evaluación de Impacto
			Introducción a los Sistemas de Evaluación de Impactos
			Principios de la mejor práctica de Evaluación de Impacto
			Código de ética de la Asociación Internacional para la Evaluación de Impacto
Revisión crítica de la Evaluación de Impacto en México, desde una perspectiva de las mejores prácticas internacionales	12	3	Introducción a la interdisciplina en la Evaluación de Impactos
			Historia del Reglamento en materia de Impacto Ambiental de la LGEEPA: la perspectiva de ecología en la reglamentación y su repercusión en los indicadores
			Definiciones básicas en materia de evaluación de impacto y sus implicaciones
			Marco legal, tendencias regulatorias y praxis de consultores
Integrando Servicios de los Ecosistemas y	4	1	El juego de poder y la eficacia de la Evaluación de Impacto: desde la definición de términos de referencia, los procesos de evaluación, la mitigación hasta el monitoreo y seguimiento
			La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio
			Valoración de los servicios de los ecosistemas y su

la Evaluación de Impactos			contribución al bienestar humano
			Generadores de cambio indirectos y directos y mecanismos de cambio
Evaluación Ambiental Estratégica de políticas, planes y programas	4	1	Evaluación Ambiental Estratégica: mejores prácticas Lineamientos para las Evaluaciones Ambientales Estratégicas Estudio de casos y aplicación en México
Evaluación de efectos acumulativos de proyectos, programas y planes	4	1	Evaluación de Efectos Acumulativos: mejores prácticas Lineamientos para la Evaluación de Efectos Acumulativos y práctica local Estudio de casos
Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) de proyectos: mejores prácticas y oportunidades de mejora	4	1	Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) de proyectos según las mejores prácticas y lineamientos Oportunidades para la práctica local de Evaluación de Impacto Ambiental Estudio de casos
El cribado y la definición de alcances como procesos determinantes de la eficacia de la	4	1	<i>Screening</i> o cribado: ¿decisión colectiva asesorada o decisión discrecional? <i>Scoping</i> o definición de alcances: su valor estratégico como proceso participativo para desarrollar una Evaluación de Impactos eficaz
Línea base de la Evaluación de Impacto	4	1	El inventario ambiental y la línea de base socioambiental de componentes valiosos (incluyendo bienes y servicios del ecosistema)
Evaluación de alternativas	4	1	Alternativas en las Evaluaciones Ambientales Estratégicas para planes y programas. Alternativas en EIA de Proyectos
Evaluación de impactos y elaboración del reporte	4	1	Identificación multidisciplinaria de impactos: objetivos y metodologías La mejor ciencia en procesos de evaluación de efectos sobre componentes valiosos Elaboración del reporte como herramienta comunicacional a tomadores de decisión y partes involucradas
Mitigaciones	4	1	El universo holístico de mitigaciones: la identificación de mitigaciones funcionales
Supraevaluación	4	1	Revisión del proceso administrativo local El rol de un grupo auditor independiente ¿Cómo es la organización de grupos de trabajo que se requiere para la supraevaluación?
Los Sistemas de Información Geográfica y la Evaluación de Impacto	8	2	El rol de los Sistemas de Información Geográfica en la Evaluación de Impacto y mejores prácticas Obtención de información geográfica útil para la Evaluación de Impactos por medio de herramientas gratuitas Requisitos para la recepción de información georreferenciada Identificación de la información útil para la evaluación desde la perspectiva del supraevaluador
Seguimiento	4	1	Monitoreo, seguimiento e inspección Gerenciamiento adaptativo
Participación pública	4	1	Las mejores prácticas para incorporar a las partes interesadas a la Evaluación de Impacto

			Mecanismos para la participación pública e instrumentos para el acceso a la información
			El rol de las Organizaciones No Gubernamentales
			Práctica local
Sistemas de Evaluación de Impacto a nivel internacional y en México	4	1	Discusión sobre Sistemas de Evaluación de Impacto a nivel internacional
			Por qué y cómo evaluar un Sistema de Evaluación de Impacto
			Componentes de los Sistemas de Evaluación de Impacto
			Estado de los Sistemas de Evaluación de Impactos en el ámbito latinoamericano
			¿Cómo incorporar mejores prácticas a un Sistema de Evaluación de Impacto?
Estudio de casos	4	1	Articulación de las distintas herramientas de Evaluación de Impacto: de políticas, estrategias a proyectos
			Comunicación y participación, conflictos ambientales y Evaluación de Impactos
Total Horas Teóricas	88		

4. REFERENCIAS

- Aguilar, H., J. Barajas, S. Camacho, J. Estrada, E. Hernandez, and A. Vega (2011). "Aguas Nacionales y Delimitación de Zonas Federales, en Topografía Urbana y Catastral," <http://zofemat.blogspot.mx/2011/03/aguas-nacionales-y-delimitacion-de.html>.
- Alshuwaikhat, H. M., & Abubakar, I. (2007). Towards a Sustainable Urban Environmental Management Approach (SUEMA): Incorporating environmental management with Strategic Environmental Assessment (SEA). *Journal of Environmental Planning and Management*, 50(2), 257–270. <http://doi.org/10.1080/09640560601156516>
- Balkema, A. J., Preisig, H. a, Otterpohl, R., & Lambert, F. J. (2002). Indicators for the sustainability assessment of wastewater treatment systems. *Urban Water*, 4(2), 153–161. [http://doi.org/10.1016/S1462-0758\(02\)00014-6](http://doi.org/10.1016/S1462-0758(02)00014-6)
- Bauer, C. (2003). Vendiendo agua, vendiendo reformas. Lecciones de la experiencia chilena *. *Revista Ambiente Y Desarrollo*, XIX, 6–9.
- Bobrowsky, P. T. (2013). *Encyclopedia of natural hazards*. Encyclopedia of earth sciences series. Dordrecht; New York, Springer: 1 online resource.
- Bolund P. and S. Hunhammar (1999). "Ecosystem services in urban areas." *Ecological Economics* 29: 8.
- International Finance Corporation (2013). "Cumulative Impact Assessment and Management: Guidance for the Private Sector in Emerging Markets" <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/17842>.
- Cardona, A. (2007). "Hidrogeoquímica de Sistemas de Flujo, Regional, Intermedio y Local. Resultado Del Marco Geológico En La Mesa Central: Reacciones, Procesos y Contaminación." Tesis de Doctorado en Ciencias de la Tierra con especialidad en Aguas Subterráneas., UNAM.
- Cardona, A., Carrillo-Rivera, and R. Huizar-Alvarez (2004). "Salinization in Coastal Aquifers of Arid Zones: An Example from Santo Domingo, Baja California Sur, Mexico." *Environmental Geology* 45, no. 3: 350–66.
- Carrillo, José Joel (2014). "Por Una Gestión Integral Del Agua Subterránea (GIAS): Una Propuesta". Coloquio Nacional: Agua subterránea en México.
- Carrillo-Rivera, J.J, A. Cardona, R. Huizar-Alvarez, and E. Graniel (2008). "Response of the Interaction between Groundwater and Other Components of the Environment in Mexico." *Environmental Geology* 55: 303–19.

- Carrillo-Rivera, J.J, L.A. Peñuela-Arevalo, and A. Kachadourian (2014). *“Condiciones Mínimas Para Lograr Definir un Conocimiento Básico Del Funcionamiento Del Agua Subterránea Con Una Visión de Desarrollo Sustentable. Propuesta a Proyecto de Modificación de La NOM-011-CNA-2000 a La Comisión Nacional de Agua”*.
- Carrillo-Rivera, J.J, L.M. Morales-Manilla, T. Hergt, L. Rosales-Lagarde, and A. Abraham (2002). *“Asesoría sobre Consideraciones Geohidrológicas de La Relación Bosques-Agua En La Región Sierra Gorda. Informe Final Para El INE, SEMARNAT.”* México: IG, UNAM.
- Carrillo-Rivera, J.J. (1992). *“The Hydrogeology of San Luis Potosi Area, Mexico.”* Tesis de Doctorado en Filosofía con especialidad en Agua Subterránea., Departamento de Ciencias Geológicas. Universidad de Londres. Reino Unido.
- British Columbia Environmental Assessment Office (2013). *“Guideline for the selection of valued components and assessment of potential effects”* Environmental Assessment Office,
- Change, C., Management, R., & Feasibility, I. (n.d.). *Climate Change Risk Management Options for the Urban Infrastructure Sector.*
- Chávez Guillén, R. (CONAGUA). (2011). La recarga artificial de acuíferos en México. In *Jornadas Técnicas sobre la “Recarga Artificial de Acuíferos y Reuso de Agua.”*
- Chávez, G. (2010). *“Evaluación de Diseño Del Programa G022 de Delimitación de Cauces y Zonas Federales”*. Recuperado de:
http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/programas/evaluaciones/evaluaciones2010/Documents/diseño/G022_Dise%C3%B1o_completo.pdf.
- Chilima, J. (2011). *Evaluating Institutional Arrangements to Support Watershed-scale Cumulative Effects Assessment in the Grand River Watershed, Canada.* Retrieved from <http://ccob.ca/wp-content/uploads/2012/08/cumulative-effects-CHILIMA-THESIS.pdf>
- Clague, J. J. and D. Stead (2012). *Landslides: types, mechanisms and modeling.* New York, Cambridge University Press.
- Colectivo Ecologista Jalisco (CEJ) (2012). *Inventario Ciudadano de emisiones vehiculares 2012 para el área metropolitana de Guadalajara.* México: 32.Colombia, ONU Hábitat.
- Colectivo Ecologista Jalisco (CEJ) (2012). *Inventario Ciudadano de emisiones vehiculares 2012 para el área metropolitana de Guadalajara.* México: 32.

- CONAGUA. (2014). *Situación del Subsector Agua Potable, Drenaje y Saneamiento*.
- CONAGUA (2013). *"Estadísticas del Agua México."* México.
- CONANP- GIZ (2014). *Programa Valoración de Servicios Ecosistémicos en Áreas Naturales Protegidas*. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) y Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ).
- Cristeche, E., Penna, J. (2008) *Métodos de Valoración económica de los servicios ambientales*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Disponible en: http://inta.gov.ar/documentos/metodos-de-valoracion-economica-de-los-servicios-ambientales/at_multi_download/file/metodos_doc_03.pdf
- Diálogo Regional de Política de Agua y Adaptación al Cambio Climático en las Américas (2012). *"Agua y Adaptación al Cambio Climático en las Américas; Soluciones del Diálogo Regional de Política (DRP)"*.
- Domesticas, R., & Metodos, P. O. R. (2002). GUIA DE SELECCION DE TECNOLOGIA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS POR METODOS NATURALES Bernal, D. P.,* Cardona, D. A.,** Galvis, A.*** y Peña, M. R. *Seminario Internacional Sobre Métodos Naturales Para El Tratamiento de Aguas Residuales*, (1995), 19–27.
- Eaton, L. (n.d.). Evaluación MAR a nivel regional como parte de mejoras a un plan capital de 40-años para la Comisión Conjunta de Resumen de la Presentación.
- Economist Intelligence Unit (2010). *Índice de ciudades verdes de América Latina*. Alemania, SIEMENS: 51.
- Edmunds, W.M, J.J Carrillo-Rivera, and A. Cardona (2002). *"Geochemical Evolution of Groundwater beneath Mexico City."* J Hydrol, 1–24.
- Fabila, V. (2013). *"Delimitación y protección de zonas federales de cauces y cuerpos de agua"*. Disponible en <http://www.slideshare.net/veronicafabila1/zona-federal-op-enero-2013>.
- Fernández Escalante, E. (2011). Presentación del proyecto Dina-mar. España. Resultados en tres plantas piloto para la gestión de la recarga artificial. In *Jornadas Técnicas sobre la "Recarga Artificial de Acuíferos y Reuso de Agua."*
- Foster, Stephen, Héctor Garduño, and Karin Kemper. (2004): *"México—Los 'Cotas': Avances En La Gestión Participativa Del Agua Subterránea En Guanajuato."* Washington, DC, Banco Mundial, GW-MATE.

[Http://www.Wds.Worldbank.org/external/default/WDSContentServer/WDSP/IB/2007:02-28](http://www.Wds.Worldbank.org/external/default/WDSContentServer/WDSP/IB/2007:02-28).

Gobierno de Jalisco (2013). *Plan Estatal de Desarrollo Jalisco 2013-2033*. A. y. F. Secretaría de Planeación. Guadalajara, Dirección de Publicaciones del Gobierno del Estado de Jalisco. Tomo II: 501.

Gonzalez-Abraham, A. (2011). *"Determinación de Los Sistemas de Flujo Del Agua Subterránea y Caracterización de Sus Componentes En Regiones Desérticas: El Caso de Loreto, BajaCalifornia Sur."* Tesis de Doctorado., Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

Habitat Restoration Group (California), et al. (1999). Riparian corridor policy study, City of San Jose. San Jose, Calif., City Council. ICLEI, et al. (2009) Sustainable Urban Energy Planning. A Handbook for Cities and Towns in Developing Countries. 83

Herron, H., Hoagland-grey, H., & Herron, H. (2015). Addressing Climate Change within Disaster Risk Management Addressing Climate Change within Disaster Risk Management A Practical Guide for IDB Project Preparation, (April).

Huizar-Alvarez, R., and J.J Carrillo-Rivera. (2004). *"Chemical Response to Groundwater Extraction Southeast of Mexico City."* Hydrology Journal.

ICLEI, et al. (2009) *Sustainable Urban Energy Planning. A Handbook for Cities and Towns in Developing Countries*. 83

Ingram, J. C., et al. (2012). *Integrating ecology and poverty reduction ecological dimensions*. New York, Springer: 1 online resource (xix, 425 p.)

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) (2010). *Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático*. México.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) e Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) (2010). *Construcción de indicadores para alimentar el "Módulo 2 de monitoreo, evaluación y seguimiento" del programa de ordenamiento ecológico general del territorio"*. México, IMTA e INECC.

Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO) A.C. (2011). *Viviendas para desarrollar ciudades México*: 118.

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) (2013). *Plan de Acción Climática Municipal Zapopan (PACMUN)*. SEMARNAT. Zapopan, Gobierno de Zapopan 179.

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden and C. E. Hanson. United Kingdom.
- International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies (IFRC), et al. (2009). *Climate Change Adaptation Strategies for Local Impact, United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)*.
- Introducción a la Regeneración y Reutilización de las Aguas Residuales. (n.d.), (1994).
- Lluria, M. R., & Small, G. G. (n.d.). Managed aquifer recharge for the Arizona desert: the development of large surface water-spreading facilities.
- López-Morales, C. A. (2012). *Valoración de servicios hidrológicos por costo de reemplazo : Análisis de escenarios para el Bosque de Agua*. Retrieved from http://ine.gob.mx/descargas/dgioece/doc_bosque_de_agua.pdf
- Lorenz, D. L., et al. (2003). *Comparison of two methods for delineating land use near monitoring wells used for assessing quality of shallow ground water*. Waterresources investigations report 03-4067. Mounds View, Minn.
- Marañón, Boris (1999). "La Gestión Del Agua Subterránea En Guanajuato. La Experiencia de Los COTAS." *Estudios Agrarios* 12: 1–21.
- Metropolitan Growth Policy Program (Metropolitan Washington Council of Governments) (1977). *Impact assessment: 1980, 1985, 1995 for Washington, Metropolitan Growth Policy Program*, Metropolitan Washington Council of Governments.
- Meyers, R. A. (2012). *Encyclopedia of sustainability science and technology*. New York, Springer: 1 online resource (18 v.)
- Millenium Ecosystem Assessment (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Opportunities and Challenges for Business and Industry*. ONU.
- Molina-Maldonado, A. (1996). "Diferenciación Hidrogeoquímica de Los Sistemas de Flujo de Agua Subterránea En La Zona Sur-Centro Del Estado de Aguascalientes, México." Tesis de Licenciatura., UNAM.
- Morrison-Saunders, A., J. Arts, and J. Barker. (2005). "Roles and Stakes in Environmental Impact Assessment Follow-Up." *Impact Assessment and Project Appraisal*, no. 19: 289–96.

- Morrison-Saunders, A., J. Barker, and J. Arts. "Lessons From Practice: Towards Successful Follow-Up." *Impact Assessment and Project Appraisal*, no. 21 (n.d.): 289–96.
- Morrison-Saunders, and J. Marshall (2004) "International Principles for Best Practice EIA Follow-Up." *Impact Assessment and Project Appraisal*, no. 23: 175–81.
- Morrison-Saunders, and P. Caldwell (2000). "EIA Follow-up: Good Practice and Future Directions: Findings from a Workshop at the IAIA 2000 Conference." *Impact Assessment and Project Appraisal*, no. 19: 175–85.
- Morrison-Saunders. (2004). "Assessing Impact: Handbook of EIA and SEA Follow-Up." Earthscan James & James, London.
- Mulvihill, P. (2010). Rapid Urbanization in Eastern China: Roles for SEA, (April), 1–6.
- Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA), et al. (2008). *Indicadores energéticos del desarrollo sostenible: directrices y metodologías*. Austria: 203.
- Oses Pérez, M. (CEA). (2011). "La reutilización del agua, la alternativa de hoy." In *Jornadas Técnicas sobre la "Recarga Artificial de Acuíferos y Reuso de Agua."*
- Palerm, J. (2004). *Strategic Environmental Assessment: Needs and Opportunities in Mexico. 24th Annual Meeting of the International Association for Impact Assessment*. Canada: 23.
- Peña, M. E. D. La, Ducci, J., & Zamora, V. (2013). *Tratamiento de aguas residuales en México*, 42.
- Peñuela-Arevalo, L.A (n.d.) "El Agua Subterránea En La Planeación Urbana." Guadalajara, Jalisco.
- Peñuela-Arevalo, L.A (2007). "The Importance of Groundwater Systems Functioning in an Environmental Hydrological Service Payment Programme in Mexico." Lisboa, Portugal.
- Peñuela-Arevalo, L.A. (2013). "Caracterización Del Funcionamiento de Los Sistemas de Flujo de Agua Subterránea En La Porción Centro-Sur de La Mesa Central, México." Tesis de Doctorado., Universidad Nacional Autónoma de México.
- Peñuela-Arevalo, L.A., and J.J Carrillo-Rivera. (2013). "Discharge Areas as a Useful Tool for Understanding Recharge Areas, Study Case: Mexico Catchment." *Environmental Earth Sciences* 68: 99–1013.

- Po, M., Kaercher, J. D., & Nancarrow, B. E. (2003). *Literature Review of Factors Influencing Public Perceptions of Water Reuse*, (December), 1–44.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, et al. (2009). *Perspectivas para o mejor ambiente urbano*. GEO Beberibe. Brasil, UN-HABITAT: 164.
- Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y Programa de Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU Hábitat) (2000). *Ciudades sustentables y gobierno local. Programa de ciudades sustentables*.
- Programa de Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU Hábitat) (2011). *Bases para la gobernanza hídrica en condiciones de cambio climático: experiencia en ciudades del sureste de México*, ONU Hábitat.
- Programa de Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU Hábitat) (2009). *Planificación de Ciudades Sostenibles: Orientaciones para Políticas. Informe Global sobre Asentamientos Humanos 2009 Earthscan*. Estados Unidos. ONU-Habitat: 314.
- Programa de Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU Hábitat) (2010). *Articulando las agendas verde y marrón en un contexto de cambio climático. Guía para la formulación de agendas ambientales locales en Colombia*.
- Programa de Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU Hábitat) (2011). *Estado de las ciudades de México 2011*. México: 53.
- Programa de Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU Hábitat) (2011). *Por un mejor futuro urbano*. UN, UN-Habitat.
- Ramalho, R. S. (1996). *Tratamiento de Aguas Residuales*.
- Ramírez Rojas, A. (2015). *Experiencia del reuso del agua tratada en la Zona Metropolitana de San Luis Potosí Situación actual y problemática*.
- Reid, H., et al. (2009). "Community-based adaptation to climate change: an overview." *Participatory Learning and Action* 60(13).
- Rueda Palenzuela, S. (2012). *Libro verde de sostenibilidad urbana y local en la era de la información*, 697. Retrieved from http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/medio-ambiente-urbano/Libro_Verde_Final_15.01.2013_tcm7-247905.pdf
- Salcido-ruiz, S., & Gerritsen, P. R. W. (2010). *Manejo del agua en el municipio de Unión de Tvla desde un enfoque de gobernanza * Water management in the municipality of*

- Union de Tvla from a governance approach Gestion de l'eau dans la municipalité de Union de Tvla utilisant une approche de gouvernan, (27).
- Schmidt, C. M., Fisher, A. T., Racz, A., Wheat, C. G., Los Huertos, M., & Lockwood, B. (2011). Rapid nutrient load reduction during infiltration of managed aquifer recharge in an agricultural groundwater basin: Pajaro Valley, California. *Hydrological Processes*. <http://doi.org/10.1002/hyp>
- Schultz, G. A. and E. T. Engman (2000). *Remote sensing in hydrology and water management. Engineering online library*. Berlin; New York, Springer: 1 online resource (483p).
- Sector, S., Change, C., Management, R., & Feasibility, I. (n.d.). Climate Change Risk Management Options for the Water and Sanitation Sector.
- SEDESOL, and UNAM (2015). *"Integración Del Sistema Nacional de Información Para El Desarrollo Territorial En La Fase Correspondiente a La Caracterización Del Territorio: Diagnóstico Funcional Del Territorio Nacional."*
- Segura, R. V. (2011). Reúso del agua en la UNAM.
- SEMARNAT (2008). *"Cuencas Hidrográficas. Fundamentos Y Perspectivas Para Su Manejo y Gestión. Secretaría de Medio Ambiente Y Recursos Naturales, Centro de Educación y Capacitación para El Desarrollo Sustentable, Red Mexicana de Cuencas Hidrográficas. México."*
<http://www.agua.org.mx/index.php/bibliotecatematica/manejo-de-cuencas/46-cuencas-hidrograficas/27951-cuencas-hidrograficas-fundamentos-y-perspectivas-para-su-manejo-y-gestion>.
- Siqueiros, L. F. (sin publicar). *Análisis de los indicadores de infraestructura. Diagnóstico de la Dimensión Infraestructura en la Prosperidad Urbana de Zapopan.*
- Smajgl, A. and J. Ward (2013). *The water-food-energy nexus in the Mekong Region assessing development strategies considering cross-sectoral and transboundary impacts*. New York, NY, Springer: 1 online resource.
- Templin, W. E., et al. (1995). *Land use and water use in the Antelope Valley, California. Water-resources investigations report 94-4208*. Sacramento, Calif. (2800 Cottage Way, Federal Bldg., Sacramento 95825)
- U.S. Geological Survey, Information Services distributor: 1 online resource (vi, 13p. some col.), maps.

- UNAM. (2013). *Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales*. UNAM.
- United Nations (2011). *Are we building competitive and livable cities? Guidelines for Developing Eco-efficient and Socially Inclusive Infrastructure*. Thailand: 125.
- United Nations Convention on Climate Change (UNFCCC) (2007). *Climate Change: Impacts, Vulnerabilities and Adaptation in Developing Countries*. Germany, UNFCCC.
- United Nations Environment Programme (UNEP) & United Nations Human Settlements Programme. (2001). *Sustainable Cities Programme 1990-2000*. A Decade of United Nations Support for Broad-based Participatory Management of Urban Development: 50.
- United Nations Environment Programme (UNEP) & United Nations Human Settlements Programme (2009). *The Sustainable Cities Programme in Zambia (1994 -2007): Addressing Challenges of Rapid Urbanization SCP Documentation Series*, UNEP and UN-Habitat 10: 40.
- United Nations Environment Programme (UNEP) & United Nations Human Settlements Programme Increasing Cooperation. *Urban Environment*, UN-Habitat: 4.
- United Nations Environment Programme (UNEP) & United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat) (2007). *Cities and biodiversity: No longer foes*. Urban Environment Newsletter.
- United Nations Environment Programme (UNEP) & United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat) (2009). *Climate change. The role of cities*. Kenya, UNEPD & UN-Habitat.
- United Nations Human Settlements Program (1999). *Establishing and Supporting a Working Group Process. Sustainable City Program Source Book Series*. Kenya, UN-Habitat 3: 130.
- United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat) (2000). *Sustainable Cities and Local Governance*: 12.
- United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat) (2006). *Energy and Air Pollution in Cities: Challenges*. Urban Environment Newsletter, UN-Habitat.
- United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat) (2010). *Supporting Local Action for Biodiversity*. The Role of Natural Governments 56.

- United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat) (2011). *Urban patterns for sustainable development: Towards a green economy*: 12.
- United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat) (2012) *State of the worlds cities 2012/2013*. Prosperity of Cities. 149
- United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat). *What Does the Green Economy Mean for Sustainable Urban Development?* UN-Habitat: 84.
- Universitaria, C., & Universitaria, C. (2008). Capítulo 2 . Descripción y diagnóstico del sistema. Retrieved from:
<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/566/A5.pdf?sequence=5>
- Von Sperling, M. (1996). Wastewater Treatment Systems.Pdf. *Water Science and Technology*.
- Wigmosta, M. S. and S. J. Burges (2001). *Land use and watersheds human influence on hydrology and geomorphology in urban and forest areas*. Water science and application 2. Washington, D.C., American Geophysical Union: 1 online resource (v, 227 p.)
- Wigmosta, M. S. and S. J. Burges (2001). Land use and watersheds: human influence on hydrology and geomorphology in urban and forest areas. Washington, D.C., American Geophysical Union.
- Winpenny, J., Heinz, I., & Koo-Oshima, S. (2013). *Reutilización del agua en la agricultura : ¿Beneficios para todos?* FAO. Retrieved from
<http://www.fao.org/docrep/017/i1629s/i1629s.pdf>
- World Wildlife Fund (WWF), Living Conservation, (2012) *Planeta Vivo. Informe 2012. Biodiversidad, biocapacidad y propuestas de futuro*. 164p.