



Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial



Estudio Técnico Justificativo
Área Estatal de Protección Hidrológica
Bosque Colomos - La Campana

Agosto 2015



CONTENIDO

I. ANTECEDENTES	8
II. METODOLOGÍA	9
III. OBJETIVOS	10
Objetivo general	10
Objetivos particulares	11
IV. MARCO LEGAL DE LA SUBCUENCA DEL ARROYO ATEMAJAC	12
V. MEDIO NATURAL DE LA SUBCUENCA DEL ARROYO ATEMAJAC.	13
Características generales	13
Localización geográfica y descripción de la subcuenca hidrológica Atemajac	14
Polígono	15
Medio biótico	16
Fauna	16
Flora y Vegetación	17
VI. HIDROGRAFÍA EN LA SUBCUENCA DEL ARROYO ATEMAJAC	18
Red Hidrográfica	18
Descripción de las Microcuencas	21
VII. SUELOS	28
Conceptos	28
Edafología de la Subcuenca del Arroyo Atemajac	29
VIII. GEOMORFOLOGÍA	32
Zonificación Geomorfológica	32
Análisis de la Escorrentía	33
IX. HIDROGEOMORFOLOGÍA (Procesos Activos).	36
Morfología y dinámica de las cárcavas previas al proceso de urbanización	36
X. EROSIÓN DE SUELOS DE LA SUBCUENCA COLOMOS-ATEMAJAC.	40
A. Erosión Actual de la Subcuenca de Atemajac.	40
Análisis Sistemático	40
Método (a): Secuencia del método	41
Método (b): Desarrollo de las etapas	42
Clasificación de las Unidades Cartográficas	43
RESULTADOS	44
Riesgo de Erosión Subcuenca del Arroyo Atemajac	46
i) Factores Climáticos	46
ii) Factores edáficos	46

iii) Factores Topográficos _____	48
RESULTADOS _____	49
XI. HIDROLOGIA SUPERFICIAL E HIDROGEOLOGÍA _____	50
HIDROLOGÍA SUPERFICIAL _____	50
Clasificación Hidrológica y Área de la Subcuenca Arroyo Atemajac _____	50
Caracterización Hidrológica de la Subcuenca Arroyo Atemajac _____	50
Coefficiente de Escurrimiento Ponderado _____	52
Volumen Medio Escurrido _____	53
Gasto Máximo Extraordinario, Tr 50 años. _____	53
Balance Hidrológico _____	57
Hidrogeología _____	59
Unidades Hidroestratigráficas _____	60
Modelo Conceptual de Flujo _____	61
Dirección de Movimiento de Flujo Subterráneo _____	63
Niveles Piezométricos y Gradiente Hidráulico _____	64
Sistema de Galerías de Los Colomos _____	65
Descripción de los Sistemas de Galerías Filtrantes _____	65
Censo de Aprovechamientos _____	66
XII. HIDROGEOQUÍMICA Y CALIDAD DEL AGUA _____	70
XIII. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA RELEVANTES PARA LA SUBCUENCA DEL ARROYO ATEMAJAC _____	74
Condiciones Geológicas Relevantes _____	74
Unidades Litológicas Superiores Distintivas de la Toba Tala _____	75
ULS A _____	75
ULS B _____	75
ULS C _____	76
B. Condiciones Geomorfológicas Relevantes _____	76
Controles Estructurales al Suroeste de Los Colomos _____	77
ULS A _____	77
ULS B _____	78
ULS C _____	79
b. Condiciones Hidrogeológicas Relevantes _____	80
Nivel Específico de la Zona de la Coronilla (Al Suroeste de Los Colomos) _____	81
Riesgo de Contaminación del Acuífero Somero _____	81
XIV. IMPACTOS URBANOS Y CAMBIO EN LAS CONDICIONES DEL CICLO DEL AGUA SUPERFICIAL. _____	83
IMPACTOS URBANOS _____	83
Recuento de las alteraciones _____	84

Crterios para Manejar los Canales Naturales.	85
Perdida de la Mayoría de los Cauces de Primer y Segundo Orden	85
Rectificación de la Pendiente del Canal Principal	86
Rectificación de la Anchura del Canal	87
Obras Hidráulicas	87
CAMBIO EN LAS CONDICIONES DEL CICLO DEL AGUA SUPERFICIAL	87
Incremento de los Tamaños de Sedimentos	87
Desplazamientos Laterales de los Canales.	88
Cambios en los Valores de las Curvaturas (Pérdida de la Sinuosidad).	88
Modificación de las Condiciones de Sedimentación	88
Incremento de los Valores de Pendiente.	89
Modificación de los Proceso de Retroceso de las Cabeceras.	90
Condiciones morfológicas del perímetro	91
Infraestructura hidráulica	91
Descripción de Fenómenos Peligrosos	92
XV. CONCLUSIONES	100
XVI. RECOMENDACIONES	106
XVII. DELIMITACIÓN DE LAS UNIDADES DE MANEJO	109
Unidades de manejo	109
Zona de Protección	110
Zona de Uso Especial	110
Zona de Uso Público	110
Zona de restauración	110
Zona de Infraestructura	111
Zona Bosque Los Colomos	111
XVIII. PROGRAMA DE CONSERVACIÓN Y MANEJO	114
Introducción	114
COMPONENTES	117
Conservación de suelo	117
Manejo de agua	118
Incremento a la vegetación	119
Manejo de fauna	121
Uso público	122
Cambio climático	123
Investigación y monitoreo	124
XIX. PROPUESTA DE OPERACIÓN DEL ÁREA NATURAL	125
XX. BIBLIOGRAFÍA	127
ANEXOS	129

Índice de Figuras

Figura No. 1. Extensión y límites fisiográficos de la cuenca hidrológica Atemajac sobre una imagen de satélite.	13
Figura No. 2. Localización de la subcuenca del arroyo Atemajac.	14
Figura No. 3. Polígono del “Área Estatal de Protección Hidrológica Bosque Los Colomos – La Campana”.	15
Figura No. 4. Delimitación de la subcuenca hidrológica Atemajac.	18
Figura No. 5. El Modelo Digital de Elevación de la zona de estudio permite observar lo irregular de la topografía que conforma la zona de estudio.	19
Figura No. 6. Mosaico de la Fotografía Aérea de 1971 utilizada para reconstruir las condiciones del sistema, antes del principal impacto debido a la urbanización.	19
Figura No. 7. Red hidrográfica previa al proceso de urbanización.	20
Figura No. 8. Mapa de la localización de los principales manantiales registrados para el año de 1984.	21
Figura No. 9. División de la subcuenca de Colomos-Atemajac en cuatro microcuencas principales.	22
Figura No. 10. Mapa de uso del suelo para el año de 1971.	23
Figura No. 11. Manantial La Campana en su condición actual.	23
Figura No. 12. Las flechas en blanco indican las zonas de acumulación del material que ha sido removido de las áreas que estaban siendo urbanizadas en la década de los años 1970 (Santa Isabel).	24
Figura No. 13. Arroyos principales de la cuenca Atemajac.	25
Figura No. 14. Imagen de la presa Zoquipan en el parque Ávila Camacho 26	26
Figura No. 15. Mapa geomorfológico del los cauces 1) cauces en forma de V, 2) cauces de fondo plano U; 3) Circos de cabecera activos; 4) escarpes erosión; 5) parteaguas principal de la subcuenca.	33
Figura No. 16. Mapa de los proceso hidrogeomorfológicos identificados en el sistema de Colomos-Atemajac para el año de 1970.	36
Figura No. 17. Las flechas indican las zonas de acumulación de arenas para el año de 1971, formando lo que se denominó como playones a lo largo de los cauces.	37
Figura No. 18. Las flechas (negro) indican las zonas de inundación de los canales y las líneas grises el trazo anastomosado de los canales principales.	38
Figura No. 19. Cabecera que concentra la humedad subsuperficial, controla proceso de erosión hídrica.	39
Figura No. 20. Isoyetas de Intensidad de Lluvia (mm/hr) Periodo de Retorno 50 años, Duración 30 minutos. (SCT, 2000)	56
Figura No. 21. Acuífero Atemajac (CEA, 2009).	60
Figura No. 22. Modelo conceptual de flujo subterráneo. (Clifton Associates, 2003).	62
Figura No. 23. Dirección del flujo subterráneo sobre el modelo de pendientes. ..	64
Figura No. 24. Aprovechamientos registrados en la CNA dentro de la subcuenca del arroyo Atemajac.	69
Figura No. 25. Configuración Hidrogeoquímica regional del pH. (Clifton Associates, 2003).	71

Figura No. 26. Configuración Hidrogeoquímica regional de STD. (Clifton Associates, 2003).	72
Figura No. 27. Configuración hidrogeoquímica de las familias de agua. (Clifton Associates, 2003).	73
Figura No. 28. Mapa de la geología dentro de la subcuenca de Atemajac.	74
Figura No. 29. Modelo digital de elevación y flujo de agua subterránea dentro de la subcuenca de Atemajac.	77
Figura No. 30. Imagen de la urbanización en la parte media, tomado desde la parte alta (área por urbanizarse en los próximos meses).	83
Figura No. 31. Imagen en don se puede observa la red preexistente (azul bajo) y la actual red (azul fuerte). Se perdieron los canales secundarios y se corrigieron los cauces principales. Actualmente predominan formas antropizadas de los canales.	84
Figura No. 32. Impacto urbano ha generado funcionalidades distintas entre los segmentos de una misma corriente, así como cambios abruptos en la dirección del escurrimiento.	85
Figura No. 33. Substitución de un canal de jerarquía uno por uno antropizado.	86
Figura No. 34. Obras que afectan la funcionalidad de los cauces ya que alteran el perfil.	86
Figura No. 35. Pérdida del canal natural debido a malas decisiones, y a no considerarlo como un único.	87
Figura No. 36. Segmento en donde se observa una gran cantidad de sedimentos sobre un canal, ocasionando la disminución del proceso de evacuación.	88
Figura No. 37. El intenso movimiento de tierras ha ocasionado que se dispare la taza de erosión de los sedimentos.	89
Figura No. 38. Proceso de retroceso acelerado de los escarpes, inducidos por la actividad antrópica, escurre el agua sin control generando el inicio de la cárcava de jerarquía uno inducida.	89
Figura No. 39. Urbanización cerca de un escarpe inestable por las condiciones de pendiente y el tipo de material que lo forman.	90
Figura No. 40. Actividad de los flujos hipodérmicos.	90
Figura No. 41. Asentamiento de viviendas debido a procesos de erosión acelerada, no considerados en el proyecto de construcción, con el consecuente riesgo de colapso de la estructura.	91
Figura No. 42. Mapa que muestra la infraestructura hidráulica en la subcuenca Colomos-Atemajac.	92
Figura No. 43. Mapa de la ubicación de sitios que han registrado eventos de inundación, estas se asocian con el canal principal Patria-Atemajac, y en los años más recientes a las cunetas formadas por el trazo de la Av. Acueducto, y los puntos de interferencia de estructura hidráulica.	93
Figura No. 44. Patrón del macrodrenaje existente para el año del 2007.	94
Figura No. 45. Imagen en donde se identifican los tramos más peligrosos de los canales.	97
Figura No. 46. Sección hidráulica que produce el confinamiento del canal a la mitad de sus dimensiones.	97
Figura No. 47. Mapa de la localización de los taludes peligrosos, debido a la urbanización de la parte baja y la alta.	99

Figura No. 48. Mapa de zonificación	113
---	-----

Índice de Tablas

Tabla No. 1. Unidades de Suelos, Superficie y Distribución.	30
Tabla No. 2. Ejemplo: Se tienen los muestreos de campo descritos en el siguiente cuadro.	41
Tabla No. 3. SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE LA EROSIÓN. FAO, (1954). ...	43
Tabla No. 4. Superficies ocupadas por las diferentes clases de erosión. (FAO, 1954).	44
Tabla No. 5. Las clases de erodabilidad de las unidades de suelos de FAO son:	47
Tabla No. 6. CLASES DE DEGRADACIÓN	48
Tabla No. 7. Superficies torales para cada clase de riesgo en la microcuenca....	49
Tabla No. 8. Estación meteorológica Zapopan (14-120), Zapopan Jalisco (Inifap, 2003)	55
Tabla No. 9. Calculo de Clima.....	58
Tabla No. 10. Aprovechamientos existentes en la subcuenca Atemajac (2003)..	66
Tabla No. 11. Grupos globales de familias de agua.	72
Tabla No. 12. Zonas de Manejo y superficie en el área natural protegida	109
Tabla No. 13. Recursos a proteger, Diagnostico y Estrategia	114
Tabla No. 14. Estrategias del componente Conservación del suelo	117
Tabla No. 15. Estrategias del Componente Manejo del Agua	118
Tabla No. 16. Estrategias del Componente Incremento a La Vegetación	120
Tabla No. 17. Estrategias del Componente Manejo de Fauna	121
Tabla No. 18. Estrategias del Componente Uso Público.....	122
Tabla No. 19. Estrategias del Componente Cambio Climatico.....	123
Tabla No. 20. Estrategias del Componente Investigación y Monitoreo	124

I. ANTECEDENTES

Desde el siglo XVI la explotación de la Subcuenca del Arroyo Atemajac (SAA) ha venido en incremento. No es hasta la década de los años cuarenta, cuando la presión en el crecimiento de la población y de la industria provocó la explotación de los manantiales mediante perforación de pozos en la zona del Bosque de Los Colomos, lográndose así un caudal de explotación de hasta 200 l/s (Patronato Bosque los Colomos, 2007).

Históricamente la SSA ha sido una zona geográfica generadora de discusión y conflicto de intereses debido a sus recursos, ya que vincula áreas en las que diferentes actores confluyen: la zona baja del Bosque La Primavera, la zona de cultivos en la región norte y noroeste, la zona de recarga de acuíferos y la mancha urbana. No sólo es su ubicación lo que resulta de interés común, también lo son los Servicios Ambientales que ofrece, principalmente en recursos hídricos.

Recientemente se impulsó la iniciativa para declarar la zona de la SSA como Área Estatal de Protección hidrológica. Un Área Estatal de Protección Hidrológica es la que se destina 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 abastecimientos de agua.¹

Si bien esta declaratoria serviría en el marco legal como instrumento para proteger la zona, no se han concretado planes o programas que permitan la protección, el desarrollo sustentable y aprovechamiento de la misma.

¹ Artículo 49, Ley Estatal del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

II. METODOLOGÍA

Bajo este contexto, se ha llevado a cabo una investigación de los estudios que se han generado en la Subcuenca del Arroyo Atemajac enfocada en las condiciones geológicas, geomorfológicas, hidrogeológicas e hidrológicas regionales.

Para el desarrollo de la investigación y la identificación de factores de vulnerabilidad del acuífero libre, el área se analizó desde el punto de vista regional, que cubre toda la subcuenca del arroyo Atemajac; a nivel local, se refiere al área que afecta al bosque Los Colomos, donde se distinguieron tres áreas de influencia directa: la zona de Colomos, la zona del Bajío o arroyo de La Arena y la zona denominada como La Coronilla. De estas tres zonas, La Coronilla es un área de interés primordial, ya que aún no se ha urbanizado en su totalidad y por la importancia de su influencia hacia el arroyo Atemajac.

Como parte del estudio, se llevó a cabo la revisión de documentación existente, el análisis de procesos geomorfológicos específicos, recopilación de información del muestreo de agua subterránea y superficial, y la prospectiva de la infraestructura de potencial relevancia en la dinámica y vulnerabilidad del acuífero.

Para el desarrollo de los diferentes capítulos, se emplearon metodologías y manuales especializados para evaluación y cálculo de los elementos y factores inherentes a la cuenca y sus procesos hidrológicos; entre éstos se citan las metodologías de la FAO, para la estimación de la erosión actual y del riesgo de erosión y la clasificación de unidades de suelos; manuales de cartografía, de conservación del suelo y del agua, para la descripción de perfiles de suelos, etc.

III. OBJETIVOS

Objetivo general

El objetivo General de este documento es la de proveer las bases técnicas para generar la propuesta de Área Estatal de Protección Hidrológica uniendo los polígonos de las Áreas Municipales de Protección Hidrológica Bosque Los Colomos y Colomos III-Arroyo La Campana, así como los arroyos Atemajac y La Campana, además de otros predios que son propiedad del gobierno del estado en los municipios de Zapopan y Guadalajara, Jalisco. Se toma como base lo propuesto por el artículo 49, que a la letra dice: *“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”*.

Generar datos técnicos que se apegan al artículo 56 de la Ley Estatal del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Jalisco, que a la letra dice: *“Las declaratorias para el establecimiento, conservación, administración, desarrollo y vigilancia de las áreas naturales protegidas que establece esta ley, sean de interés estatal o municipal, se harán en estricto apego al estudio técnico que la fundamente, y contendrán, sin perjuicio de lo que dispongan otras leyes, los siguientes elementos:*

- I. La delimitación precisa del área, las coordenadas geográficas de cada vértice, la superficie, deslinde y, en su caso, la zonificación correspondiente;*
- II. Las modalidades a que se sujetará, dentro del área, el uso o aprovechamiento de los recursos naturales en general o, específicamente, de aquellos sujetos a protección en el ámbito estatal y municipal, según corresponda;*
- III. La descripción de actividades que podrán llevarse a cabo en el área correspondiente, y las modalidades y limitaciones a que sujetarán;*
- IV. La causa de utilidad pública que fundamente la expropiación de terrenos, para que el gobierno del estado o los gobiernos municipales adquieran su dominio, cuando al establecerse un área natural protegida se requiera dicha resolución. En esos casos, deberán observarse las prevenciones de las disposiciones correspondientes; y*
- V. El programa de aprovechamiento del área”.*

Objetivos particulares

Uno de los objetivos del estudio es obtener información suficiente y eficiente para caracterizar y establecer criterios ambientales sólidos para la toma de decisiones de manejo de la zona y posibles usos del suelo. Los objetivos incluyeron una caracterización geológica, identificación de procesos geomorfológicos y de parámetros de flujo del agua subterránea, que influyen directamente al sistema de galerías de captación del SIAPA en Los Colomos.

Otro objetivo particular de la investigación, consistió en obtener la calidad del agua subterránea en la zona alta de Colomos, y su relación con las áreas de posible deterioro ambiental; previendo los impactos del agua residual que se infiltra desde descargas de conducciones instaladas a lo largo de la subcuenca.

De manera específica, se incluye información detallada de la zona de La Coronilla, y de las características sedimentológicas relevantes para la recarga y conducción del agua subterránea, las propiedades mecánicas y la posible evolución de un paisaje modificado antrópicamente.

Con base en información obtenida en la zona de la Coronilla y de proyectos previos que el equipo de evaluación ha realizado en la región, se ha podido establecer un modelo geológico, geomorfológico e hidrogeológico de base para establecer impactos y riesgos de manera sólida ante cambios de uso de suelo y el manejo sustentable de los recursos hídricos de la zona de estudio.

IV. MARCO LEGAL DE LA SUBCUENCA DEL ARROYO ATEMAJAC

El fin último de la protección de esta zona será destinarla a la preservación, protección y restauración de los polígonos de la Subcuenca del Arroyo Atemajac, así como de los recursos naturales asociados a esta cuenca, con esto se observará e implementará una política de conservación ambiental - hidrológica.

Se toman como base legal para la propuesta, la Ley Estatal del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, especialmente la Sección Segunda de la Ley que especifica sobre *“Las declaratorias para el establecimiento, conservación, administración, desarrollo y vigilancia de áreas naturales protegidas”*.

V. MEDIO NATURAL DE LA SUBCUENCA DEL ARROYO ATEMAJAC.

Características generales

La subcuenca Atemajac forma parte de una cuenca mayor, homónima, que drena una superficie 650.0 km² hasta descargar finalmente sus aguas al río Santiago. Administrativamente, la subcuenca de Atemajac pertenece a la Región Hidrológica 12 Lerma-Chapala-Santiago, 12 E Río Santiago-Guadalajara, sistema que drena un área total de 9,640 km² siendo el principal afluente el Río Grande de Santiago.

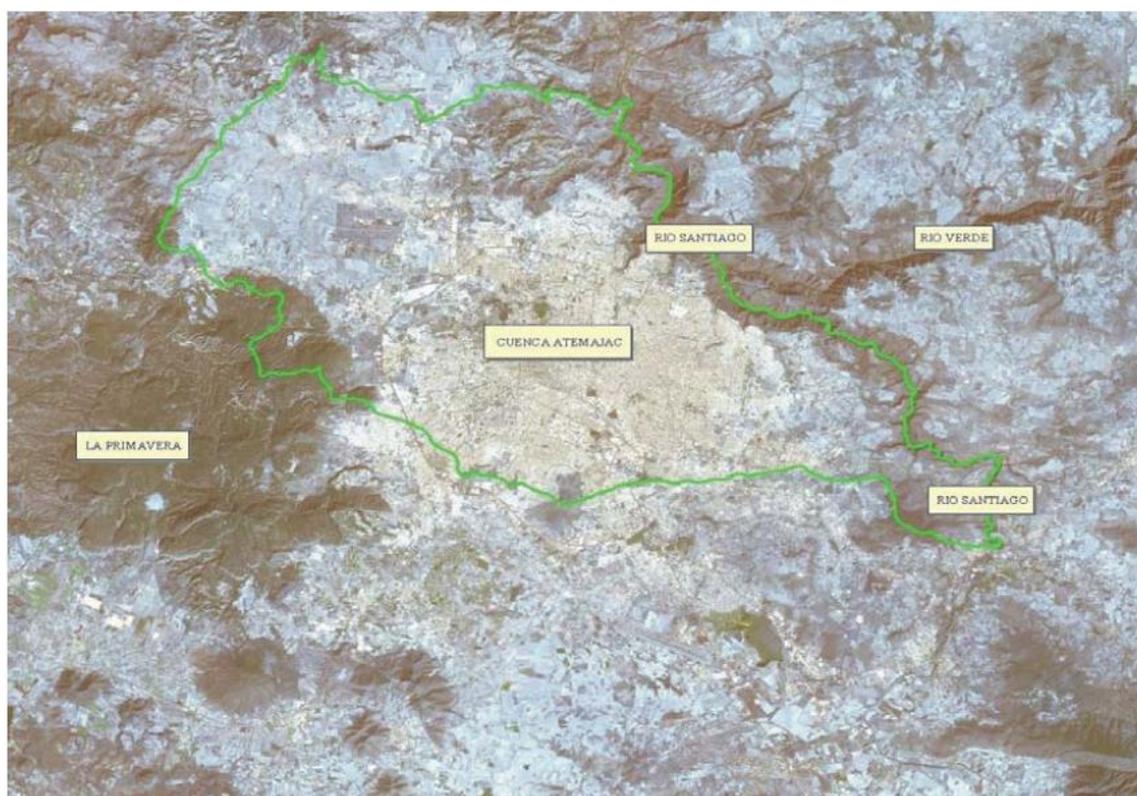


Figura No. 1. Extensión y límites fisiográficos de la cuenca hidrológica Atemajac sobre una imagen de satélite.

Al centro de la imagen en color beige claro se aprecia la zona metropolitana de Guadalajara (ZMG); hacia el occidente en color gris oscuro los rasgos distintivos del Complejo Volcánico de la Primavera (CVLP); hacia el nororiente en color gris claro los cañones del río Grande de Santiago y río Verde (GEOEX-SIAPA, 2003).

Localización geográfica y descripción de la subcuenca hidrológica Atemajac

La subcuenca hidrológica Atemajac tiene una superficie de aproximadamente 30.89 km² y se localiza en el sector norte en la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG), particularmente dentro de los municipios de Guadalajara y Zapopan.

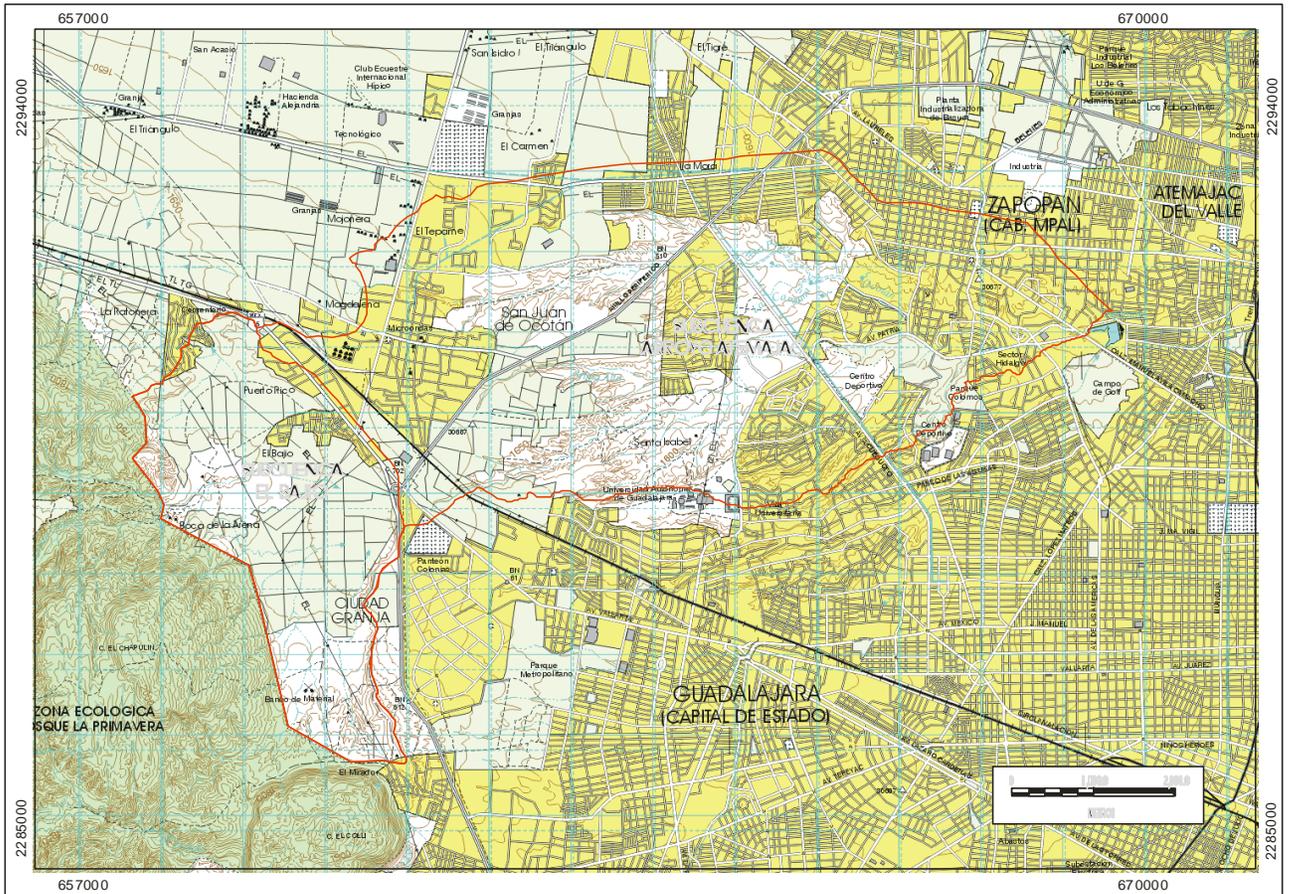


Figura No. 2. Localización de la subcuenca del arroyo Atemajac.

Esta subcuenca se encuentra delimitada por las siguientes coordenadas UTM: en el eje x 657,000 y 670,000; en el eje y 2, 285,000 y 2, 294,000, respectivamente. En la figura siguiente se ilustran las delimitaciones de la subcuenca establecidas por la Comisión Estatal de Agua (CEA) y la delimitación referenciada por Comisión de Planeación Urbana (COPLAUR); respectivamente.

Las elevaciones promedio en la subcuenca de Atemajac se distribuyen de la siguiente manera: cuenca baja con elevaciones de 1,470 a 1,520 msnm; cuenca media entre 1,520 y 1,570 msnm y cuenca alta de 1,570 a 1,670 msnm.

En la parte alta de la subcuenca (área Norponiente de la ZMG) se identifican cursos de agua de primer a cuarto orden formados por la escorrentía

superficial y la descarga de aguas subterráneas. Los principales arroyos que actualmente conforman la parte alta de la subcuenca son los arroyos La Campana, Aguaprieta, Milpa Alta, y fluyen por zonas que aún no han sido urbanizadas en el municipio de Zapopan, pero que tienen alta presión de las zonas urbanas.

Polígono

La superficie del polígono es de 207.90 hectáreas, de las cuales, 117.70, corresponden al municipio de Guadalajara y 90.20 al municipio de Zapopan. Las coordenadas del cuadro de construcción se encuentran en el apartado de Anexos.

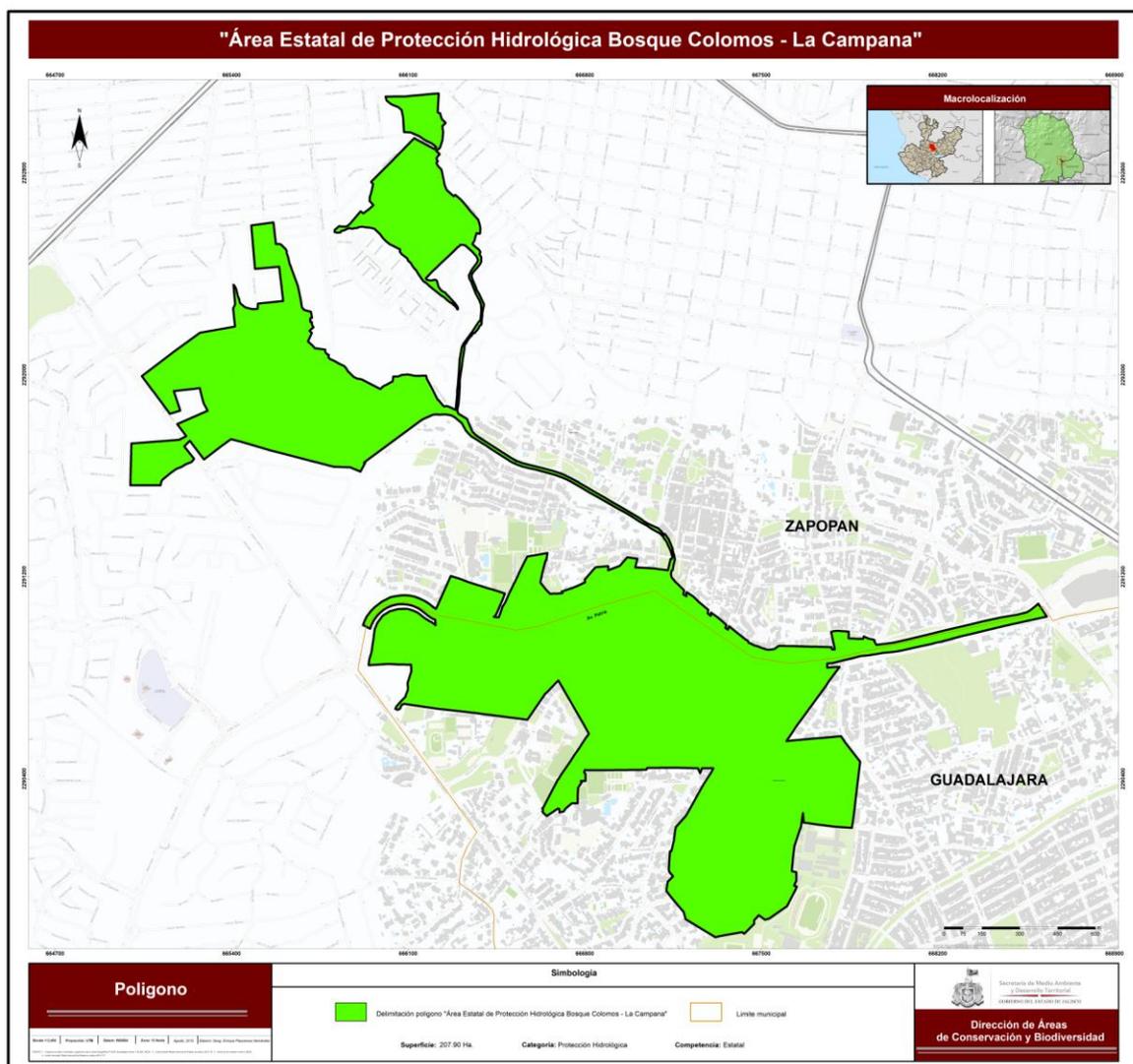


Figura No. 3. Polígono del "Área Estatal de Protección Hidrológica Bosque Los Colomos – La Campana".

Medio biótico

No se realizó estudio de fauna y flora para el área propuesta, sin embargo se han realizado estudios específicos en zonas que son parte de la subcuenca y permiten construir de forma general la flora y fauna presente.

Los estudios que se han consultado es el Estudio Técnico Justificativo que se realizó para decretar con área natural protegida al Bosque de los Colomos y el Estudio Técnico Justificativo para la Declaratoria de Área Municipal de Protección Hidrológica Arroyo La Campana-Colomos III. A continuación se describe su contenido:

Fauna

En el Bosque los Colomos y Arroyo La Campana habitan especies de fauna que son parte esencial de los ecosistemas y que requieren ser conservadas por su función ecológica que brindan al ecosistema, en especial las aves son de los elementos naturales más carismáticos y conspicuos dentro de las áreas urbanas. Estos organismos encuentran sus refugios ideales en parques y zonas arboladas, dentro de la misma área conurbada y hacen de estos sitios sus lugares de anidación, reproducción y alimento.

De acuerdo al estudio de fauna del Bosque Los Colomos, se encontraron 178 especies, de las cuales se registraron 10 que se encuentran en la NOM – 059 - SEMARNAT – 2010, 6 de estas endémicas de México y se registraron 42 especies que por primera vez fueron registradas en la zona metropolitana de Guadalajara (ZMG). De las 178 especies registradas en dicho estudio, 6 son de anfibios, 15 de reptiles, 141 de aves y 16 de mamíferos, de las cuales, 57 especies cuentan con poblaciones residentes.

En el Arroyo La Campana conforme a lo señalado en su estudio técnico, se registraron un total de 66 especies de vertebrados, de 35 familias, de 27 órdenes y 4 clases; de los cuales las aves fueron el grupo más numeroso con 47 especies, de 21 familias, en 11 órdenes. El segundo grupo registrado más numeroso fueron los reptiles con 9 especies, de 5 familias, en 1 orden. En tercera instancia quedaron los mamíferos y los anfibios, ambos con 5 especies registradas; los primeros con 5 familias, en 4 órdenes; los segundos con 5 familias en un orden. Sólo una especie se encuentra en categoría de riesgo, la *Accipiter cooperii*, Gavilán de Cooper, sujeta a protección especial, de acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección Ambiental-Especies Nativas de México de Flora y Fauna Silvestres-Categorías de Riesgo y Especificaciones para su Inclusión, Exclusión o Cambio-Lista de Especies en riesgo.

Por lo anterior la fauna presente en los dos polígonos de la zona propuesta para el decreto del “Área Estatal de Protección Hidrológica Bosque Colomos- La Campana”, representan un papel importante por los beneficios que brindan a la

población de la ZMG, como es el caso de las aves que favorecen el control de plagas, a la polinización entre otros. Las aves son organismos que pueden desplazarse de un lugar a otro sin depender de un corredor biológico continuo y por tal motivo podemos encontrar que la mayoría de las especies de aves registradas en el área de estudio se encuentran en áreas naturales cercanas o sitios arbolados dentro del Área Metropolitana de Guadalajara; así como también el Bosque La Primavera y la Barranca de Huentitán.

Flora y Vegetación

En el área de estudio se identifican varias comunidades vegetales, cuya existencia se debe a la conjunción de factores climatológicos y topográficos. El gradiente altitudinal juega un papel importante en la delimitación para cada tipo de vegetación, así como de las especies que los componen. La vegetación nativa del sitio de estudio, se compone de Bosque de Galería, vegetación secundaria, Bosque de Pino, Bosque de Pino-encino, Bosque espinoso, vegetación flotante y Comunidad de Rorippa y Polygonum (se anexa listado de la vegetación en el área de estudio).

Para el presente estudio no se realizó trabajo de campo dado que ya existen antecedentes de inventarios de flora de la zona, entre los más destacados se encuentran, para el municipio de Zapopan, el Estudio Técnico Justificativo para el Área Municipal de Protección Hidrológica Arroyo La Campana-Colomos III, a través del cual se identificaron 57 especies en 35 familias predominantemente de especies de vegetación secundaria y vegetación riparia; y para el municipio de Guadalajara se cuenta con el Plan maestro 2013 del Bosque Los Colomos, el cual reporta que el área del Bosque Los Colomos tiene representaciones de cinco tipos de vegetación nativa de la región, 248 especies herbáceas y arbustivas y 17 especies arbóreas. Dichas especies se encuentran mezcladas con especies de árboles y otras plantas herbáceas y arbustivas exóticas, introducidas por el humano o por procesos de movilidad natural (viento o fauna).

Es importante destacar que aunque no se reportan en ambos estudios especies de flora que se encuentran dentro de la Norma Oficial Mexicana (NOM 059 ECOL. 2010) con alguna categoría de riesgo, el área de estudio tiene relevancia hidrológica por encontrarse inmersa en una porción de la microcuenca de Atemajac, además de ubicarse entre el Bosque La Primavera, el valle de Tesislán y la barranca de Huentitán, que en conjunto conforman un sistema ambiental proveedor de los servicios ambientales fundamentales para el bienestar de los habitantes de la zona conurbada, como el abastecimiento de agua, la regulación del clima local, la calidad del aire, la infiltración de agua, además de ser el principal refugio de la biodiversidad metropolitana.

VI. HIDROGRAFÍA EN LA SUBCUENCA DEL ARROYO ATEMAJAC

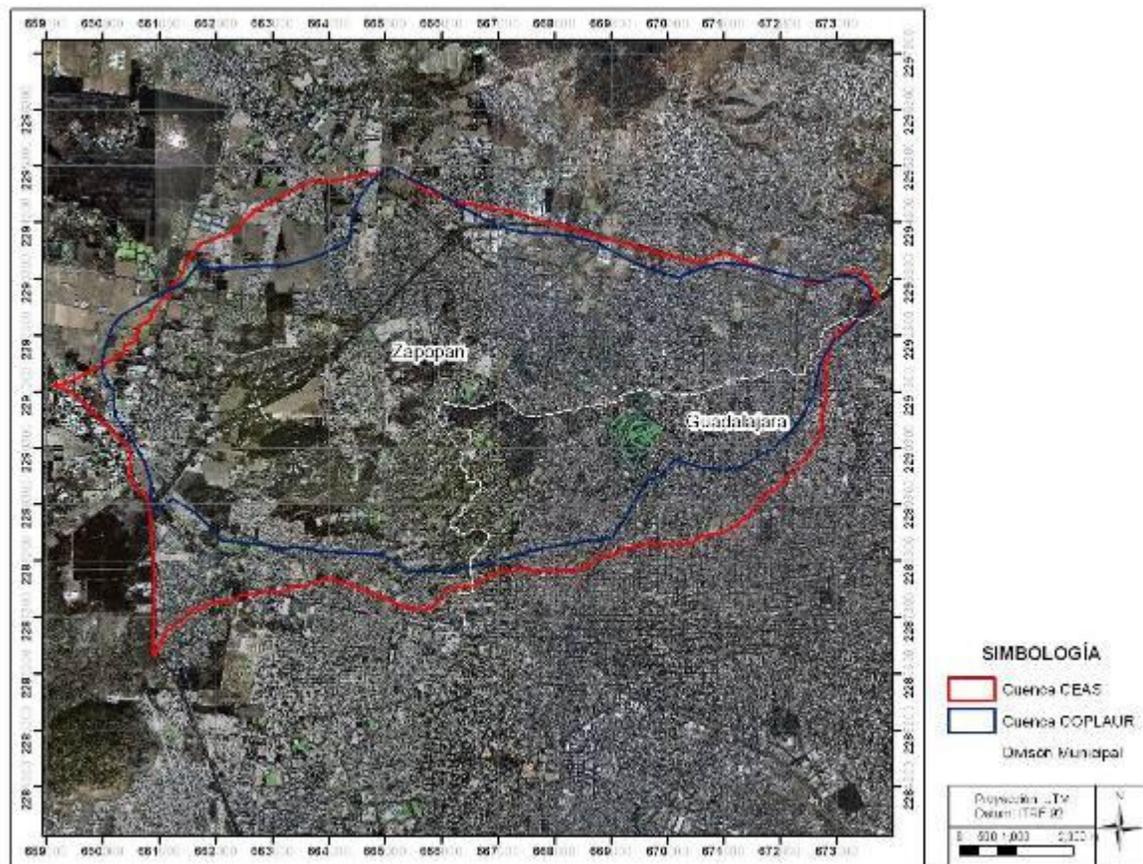


Figura No. 4. Delimitación de la subcuenca hidrológica Atemajac.

Red Hidrográfica

La red hidrográfica que forma la subcuenca está constituida por un colector principal denominado Colomos-Atemajac, organiza toda el agua que se precipita y escurre en la zona, corta la topografía del valle en sentido O-E, se une con el Río San Juan de Dios a la altura de la comunidad de La Experiencia, representa el otro colector importante que drena el Valle de Atemajac. Al momento de unirse se precipita en un cañón el cual forma parte de la barranca del Río Santiago representa el nivel de base de todos los escurrimientos que se forman en el valle de Atemajac.

El cauce Colomos-Atemajac es alimentado por cuatro microcuencas; estas son: subcuenca del Arroyo "Barranca Ancha, microcuenca de Arroyo El Chochocate, microcuenca Los Coyotes, microcuenca del Arroyo La Campana.

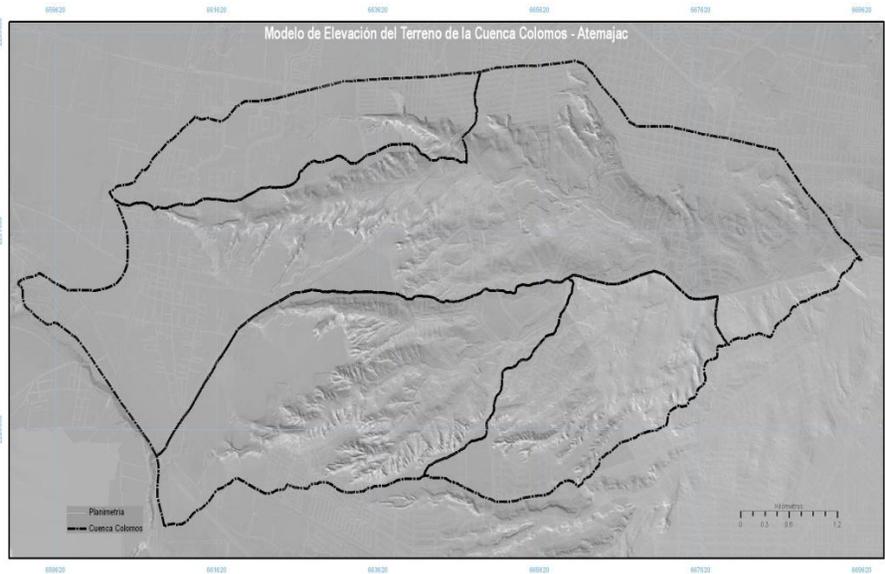


Figura No. 5. El Modelo Digital de Elevación de la zona de estudio permite observar lo irregular de la topografía que conforma la zona de estudio.

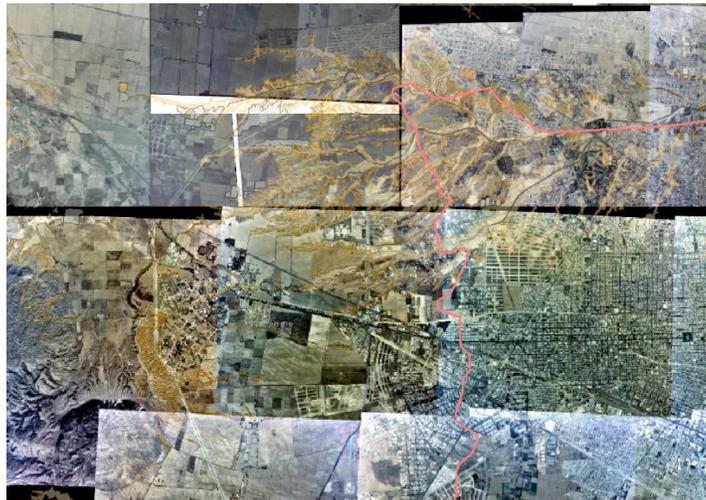


Figura No. 6. Mosaico de la Fotografía Aérea de 1971 utilizada para reconstruir las condiciones del sistema, antes del principal impacto debido a la urbanización.

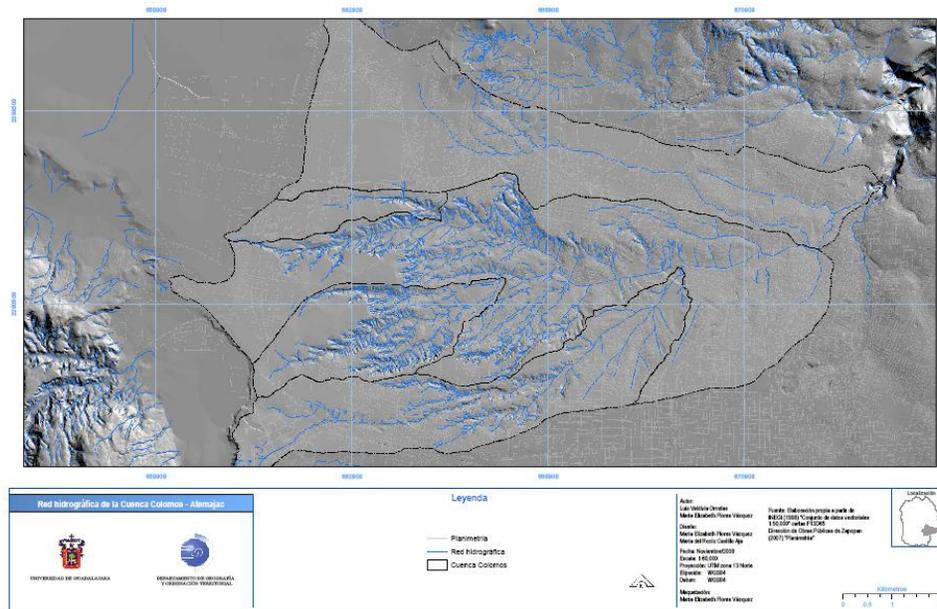


Figura No. 7. Red hidrográfica previa al proceso de urbanización. Se puede observar que uno de sus rasgos principales es la gran cantidad de cauces de primer orden existentes los que están vinculados con la erosión hídrica de la capa superficial pumicítica vinculada con El Colli.

En la parte media se localizaban los principales manantiales², como El Chochocate, “Sin Nombre”, Las Amarillas, Los Barrenos, la Campana, El Nagual, La Hiedra, El Gorupo.

Los colectores principales como: Arroyo Los Coyotes, La Campana y Milpa Alta, se formaban a su vez de un conjunto de cauces, estos son: El Arroyo Coyotes estaba formado de tres afluentes principales, estos eran Arroyo Coronilla, El Gorupo y Sin Nombre, a su vez El Arroyo La Campana estaba formado por cuatro tributarios principales, Arroyo Pensiones-Santa Margarita,³ La Campana, Puerta de Hierro y San Juan Macías.

² Tomado del Plan Parcial de Urbanización y Control de la Edificación par la Protección Ecológica de La Zona de Los Colomos. 1984. Gobierno del Estado de Jalisco.

³ Nombres que se utilizan para al proyecto, ya que no existe un referente toponímica en la cartografía consultada.

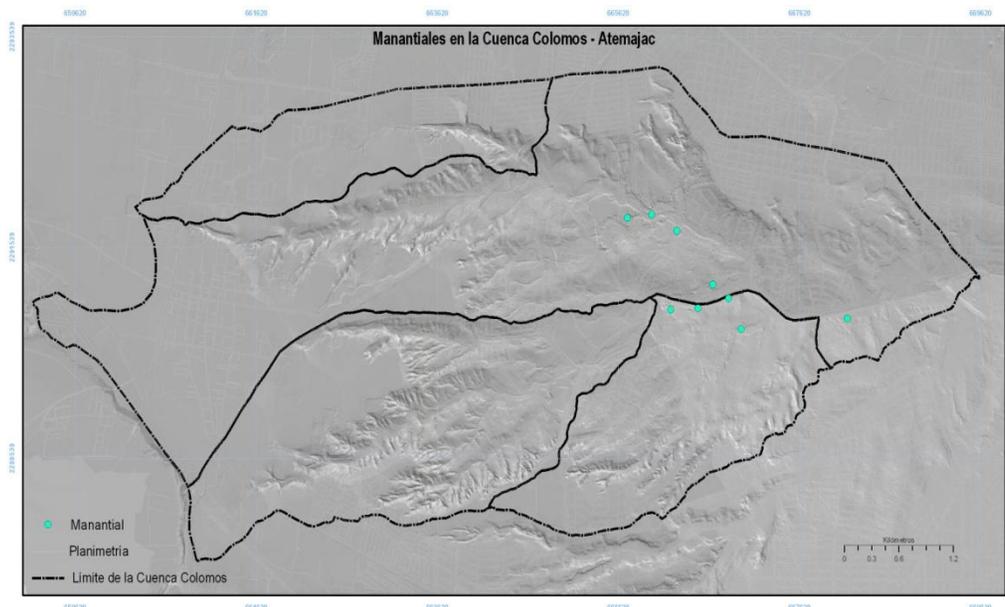


Figura No. 8. Mapa de la localización de los principales manantiales registrados para el año de 1984⁴.

Descripción de las Microcuencas

De acuerdo con el trazo del sistema de cauces y tributarios, la subcuenca de Colomos-Atemajac se divide funcionalmente en cuatro microcuencas, estas son:

- La Campana: es la microcuenca de mayor superficie, representa el eje articulador del sistema, es en donde tenemos los mayores impactos en el proceso de urbanización.
- Residencial Poniente- Girasoles. Es una cuenca tributaria a La Campana condicha el agua proveniente de las inmediaciones de Santa Margarita y El Tecnológico de Monterrey.
- Los Coyotes, es una de las zonas donde se registra los mayores procesos de erosión debido a la gran cantidad de escurrimientos que registra.
- Microcuenca del Chochocate. Se forma en la parte sur del sistema, las cabeceras de la barrancas son las que registran la mayor profundidad de todo el sistema, las cárcavas son profundas y angostas.

⁴ Tomado del Plan Parcial de Urbanización y Control de la Edificación par la Protección Ecológica de La Zona de Los Colomos. Gobierno del Estado. 1984.

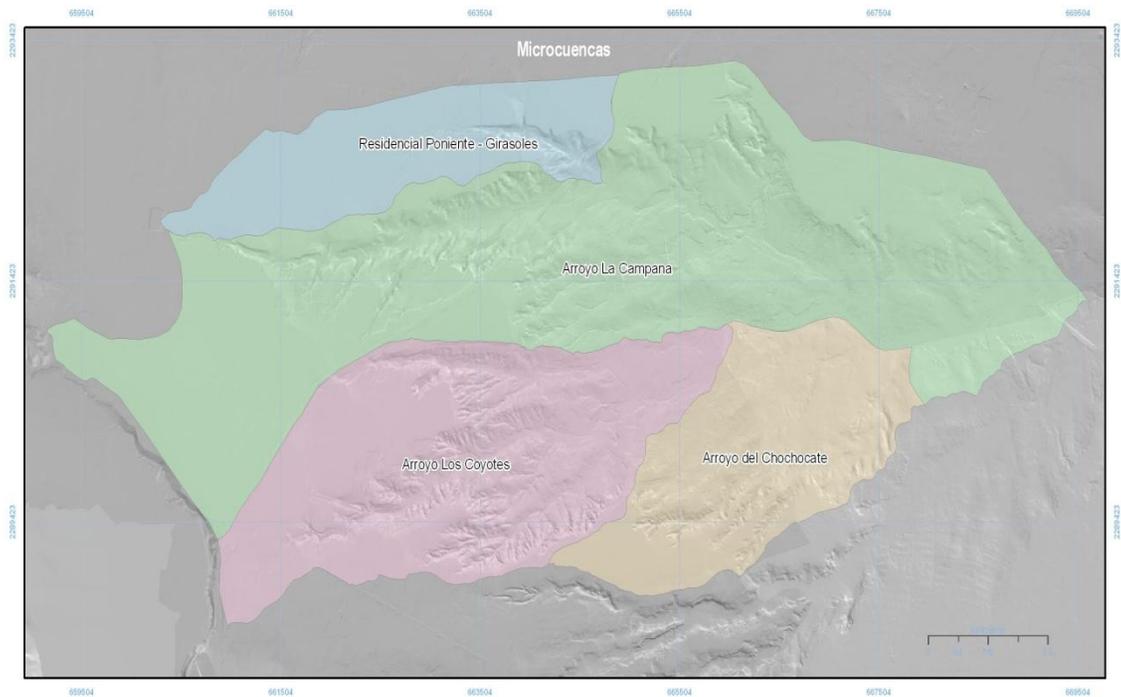


Figura No. 9. División de la subcuenca de Colomos-Atemajac en cuatro microcuencas principales.

De acuerdo con la fotointerpretación de la fotografía aérea, se puede observar que la subcuenca, para el año de 1970, estaba urbanizada en la parte norte (cabecera de la barranca Zoquipan y La Seattle); un pequeño núcleo urbano San Juan Ocotán, al centro de la cuenca y ya existían indicios de la urbanización en la cabecera de la microcuenca del Chochocate (San Javier-San Wenceslao).

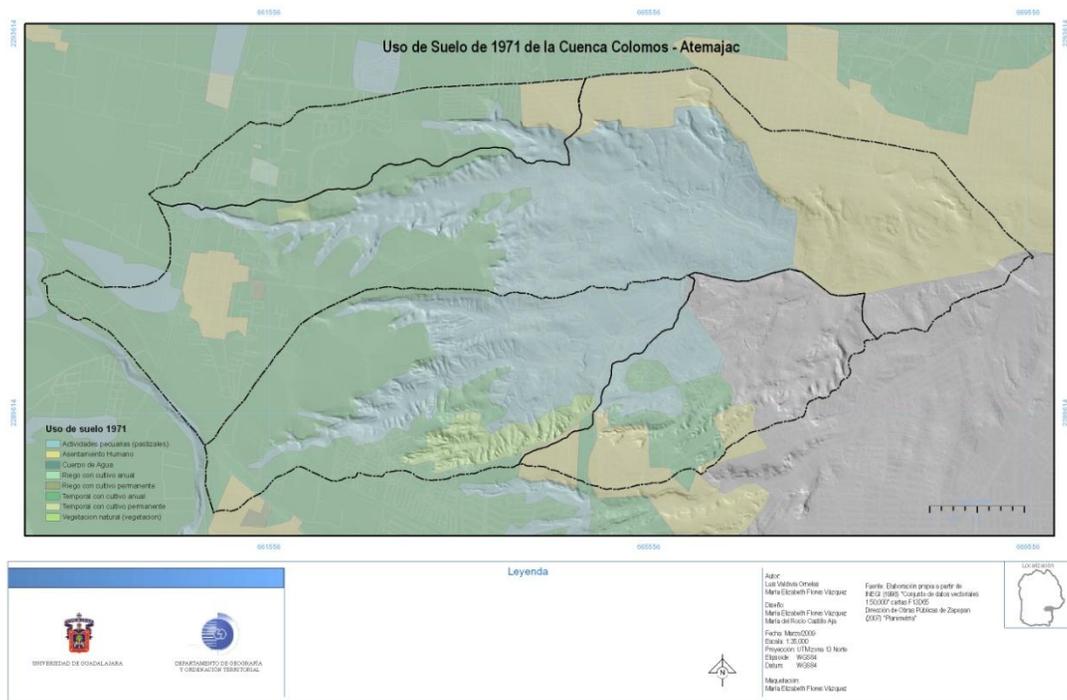


Figura No. 10. Mapa de uso del suelo para el año de 1971. Se puede observar que aproximadamente el 75% de la superficie era de uso pecuario, con urbanización al norte (cabecera municipal La Seattle) al sur Autónoma de Guadalajara y al poniente el poblado de San Juan Ocotán.

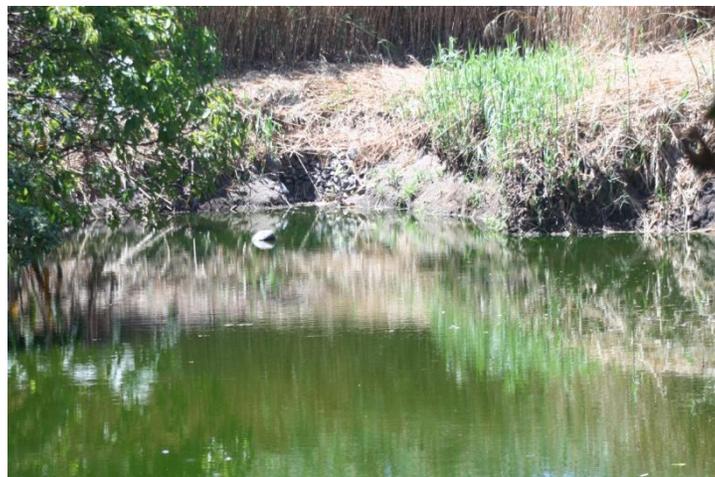


Figura No. 11. Manantial La Campana en su condición actual.



Figura No. 12. Las flechas en blanco indican las zonas de acumulación del material que ha sido removido de las áreas que estaban siendo urbanizadas en la década de los años 1970 (Santa Isabel).

Existen pequeños cursos menores laterales que alimentan al arroyo Milpa Alta que a su vez forma el arroyo Atemajac al llegar al cruce con las avenidas Patria y Acueducto. Cabe mencionar que los cauces de estos arroyos se han reducido debido al crecimiento de la mancha urbana de Guadalajara y Zapopan.

Los arroyos La Campana y Aguaprieta, drenan en dirección Oeste-Este para formar el arroyo Ocotán que anteriormente se incorporaba como tributario al Arroyo Atemajac a la altura del parque Colomos, casi al cruce de Av. Patria y Manuel Ávila Camacho. Una obra de desvío encausa el arroyo a un colector, sólo cuando el flujo excede la capacidad el agua corre por un canal al arroyo Atemajac.

Por el Sur, el arroyo Chochocate drena a través del Parque Los Colomos para terminar descargando también en el Arroyo Atemajac, dicho arroyo proviene de la parte trasera del club San Javier, en la colonia Colinas de San Javier.

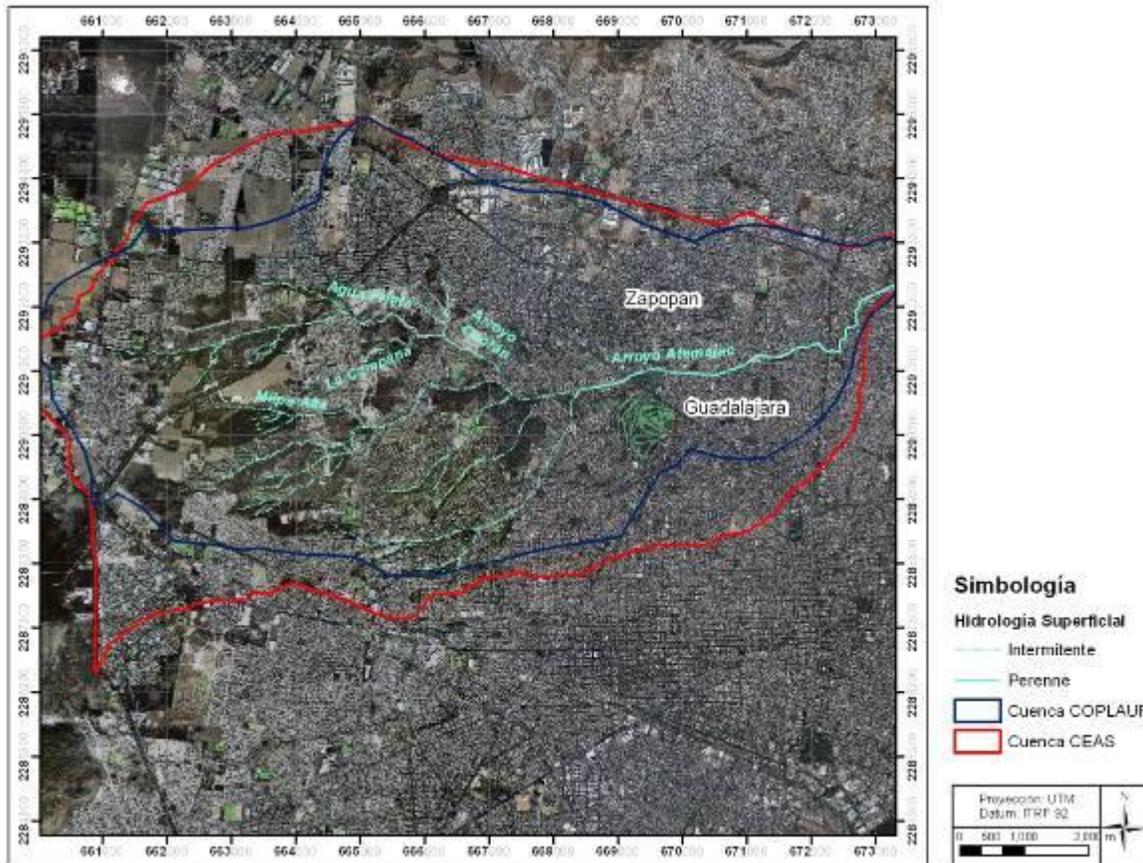


Figura No. 13. Arroyos principales de la cuenca Atemajac.

El arroyo conocido como Atemajac fluye entre los carriles de la avenida Patria y sirve como división municipal entre Guadalajara (al oriente) y Zapopan (al poniente).

Actualmente el flujo de agua sobre el arroyo Atemajac sólo es visible en época de lluvias. En los primeros tramos, un espesor importante de pumicitas y piroclastos conforman el subálveo del cauce del arroyo con elevada permeabilidad.

En el tramo Av. Acueducto hasta Plaza Patria el arroyo Atemajac se encuentra encauzado al aire libre entre los carriles de la avenida Patria. Aguas abajo, antes del cruce de avenida Patria con la avenida Américas, el canal se une a un ducto subterráneo.

En la zona comprendida entre la avenida Américas y la avenida Ávila Camacho, el arroyo corre de manera subterránea dentro del ducto antes mencionado, por lo que no se encuentra visible.

En la confluencia de la Avenida Ávila Camacho y Avenida Patria se encuentra el Parque Ávila Camacho, donde anteriormente se incorporaba otro tributario importante, que proviene desde la colonia Ciudad Granja. Este arroyo (denominado arroyo “Chico”) actualmente se encuentra modificado debido al crecimiento urbano en la zona. Algunas muestras de infraestructura antigua se observan en el cruce la Avenida Américas y Avenida Montevideo. En este punto se observa que el exceso de agua pluvial fluye por un arroyo sobre el club de golf “Country Club”.

Anteriormente en el Parque Ávila Camacho se encontraba en funcionamiento la presa de Zoquipan⁽⁵⁾, que colectaba agua que posteriormente era transportada por un acueducto a la fábrica de Hilado y Textil. A su vez esta presa cumplía con una función recreativa como lago artificial. Actualmente no se encuentra en uso ya que según información proporcionada por COPLAUR la presa cuenta con un daño estructural.



Figura No. 14. Imagen de la presa Zoquipan en el parque Ávila Camacho

Al finalizar el parque Ávila Camacho y ya con la atribución del arroyo “Chico” el arroyo superficial sigue siendo conocido como arroyo Atemajac. En este punto gira 90° en dirección oriente para fluir nuevamente entre los carriles de Avenida Patria. Desde este punto el arroyo se encuentra encausado en un canal de concreto y roca a cielo abierto; dichas características las conserva hasta el cruce con la Avenida Federalismo.

En la avenida Federalismo, el arroyo se une con un colector; en ese sitio existe una obra de desvío entre el canal abierto y el colector, el cual funciona como despresurizador del ducto de aguas residuales, que tiene aproximadamente 75.0 m de longitud. En este punto afloran las aguas residuales del colector en

⁵ Los almacenamientos superficiales en esta cuenca son pocos y de capacidad reducida. En la zona de estudio sólo existe la presa Zoquipan que tiene una capacidad aproximada de 200,000m³.

canal provocando una mezcla casi instantánea de ambos cauces. A partir de este punto el arroyo cuenta con un flujo considerable durante todo el año dado que corren las aguas de escorrentía temporal así como las descargas residuales; existen descargas a cielo abierto y el olor a aguas residuales del canal comienza a ser muy perceptible.

El arroyo Atemajac sigue una trayectoria curva de dirección Este-Noreste hasta el cruce con avenida Alcalde. En este trayecto es importante resaltar que no existen los carriles de la Av. Patria. El arroyo entra a un túnel para pasar debajo de Avenida Alcalde, y enseguida vuelve a girar para correr en dirección Norte-Noreste. A la salida del túnel el flujo se incrementa pues se incorpora el flujo de otro u otros colectores.

Cuando el arroyo llega a Periférico Norte se une con el arroyo San Juan de Dios. En este punto ambas corrientes pasan por una pequeña presa servidora para entubarlos y llevarlos al vaso regulador de Agua Prieta para posteriormente incorporarse al Río Santiago.

El agua no aprovechada de las galerías filtrantes y manantiales de Los Colomos es descargada y desaprovechada en el arroyo Atemajac.

VII. SUELOS

Conceptos

La mayor parte de los suelos son aluviales y su composición corresponde a los del tipo: feozem háplico, feozem luvico, planasol eútrico, planasol pélico y vertisol eútrico. Suelos aluviales que sobreyacen con espesores variables a materiales piroclásticos de la Toba Tala y/o rocas extrusivas del Arco Volcánico Sur de Guadalajara y/o basaltos y andesitas del grupo Río Santiago (GEOEX-SIAPA, 2003).

El deterioro ambiental se ha visto mermado entre otras cosas debido al cambio de uso del suelo propiciando cambios e impactos irreversibles en las condiciones naturales.

En las áreas con pendientes prolongadas, la falta de cubierta vegetal por desmonte y la contaminación, incrementan el arrastre de materiales en época de lluvias. En las principales zonas donde se observa escasa vegetación y erosión, los taludes fluviales ocasionan riesgo de deslizamientos e inestabilidad y en casos extremos, daños a los asentamientos presentes en esas zonas.

La erosión y pérdida del suelo es el principal impacto identificado, situación que es el resultado de la deforestación y extracción de materiales geológicos en la parte alta de la cuenca, teniendo como consecuencia cambios en la estructura del suelo y en la capacidad de infiltración de las aguas al subsuelo. La extracción de material geológico, además, ocasiona la pérdida de la capa fértil del suelo y su potencial para poder reforestar.

En gran parte de la subcuenca, la erosión es de origen antropogénico (con la extracción de material geológico), cuya intensidad, siendo superior a la de la formación del suelo, no permite su Restauración natural. Otro problema, es el de contaminación ocasionada por vertederos de basura ilegales, los cuales, causan cambios en las características físico-químicas del suelo.

Además en algunas áreas el suelo ha sido afectado por las actividades antropogénicas de la zona, ya que en los alrededores del arroyo se llevan a cabo actividades industriales, comerciales y habitacionales. La estructura del suelo y el uso de éste han sido modificados por actividades antropogénicas.

Edafología de la Subcuenca del Arroyo Atemajac

Los suelos dominantes dentro de la subcuenca son Regosoles eútricos (Re/1) de textura Gruesa (1) que son arenas, areno francosa y franco arenosa con menos del 18% de arcilla y más del 65% de arena, estos suelos se localizan en las áreas más planas de la microcuenca. En las porciones un poco más onduladas se encuentran asociados los Faeozem háplicos (Re + Hh/1); en otras zonas más pequeñas de similar topografía, la dominancia la ejercen los mismos Regosoles eútricos pero con diferente textura (Re/2); en estos suelos domina la textura media (2), franco areno arcillosa, franco arcillo limosa y arcillo limosa con menos de 35% de arcilla y menos de 65% de arena; la fracción de arena puede ser tan elevada como del 82%, si presenta un mínimo de 18% de arcilla.

En zonas aledañas a los ríos tenemos Fluvisoles eútricos (Je/1) y por último en zonas no muy significativas se presenta la unidad de suelo Regosol con dos diferentes asociaciones, como son Regosol + Cambisol + Andosol (Re + Be + To/1) y Regosol + Fluvisol (Re + Je/1). La topografía de la subcuenca presenta una clase de relieve que varía de plano a ligeramente ondulado (a), lo que significa que las pendientes dominantes varían de 0 a 8%.

A continuación una breve descripción de los suelos presentes en el área de estudio:

- **Regosol eútricos:** Suelos derivados de materiales no consolidados excepto de los depósitos aluviales recientes o de arenas ferralíticas (suelos de textura más gruesa que la franco arenosa y con un contenido de arcilla 15% o menor; no tienen horizontes de diagnóstico, excepto tal vez un horizonte A pálido; se pueden presentar otros horizontes de diagnóstico de suelos enterrados, si su límite superior se encuentra debajo de los primeros 50 cm del suelo, excepto para un horizonte A pálido, el cual puede encontrarse a poca profundidad); tienen un pH (KCl) de 4.2 o mayor por lo menos en una parte de los primeros 50 cm de suelo.
- **Faeozem háplico:** Suelo que tiene un horizonte A melánico y posiblemente un horizonte B cámbico; no tiene un horizonte con concentraciones de caliza pulverulenta suave y tampoco muestra un aumento con la profundidad en la saturación de Na más K dentro de los primeros 125 cm de la superficie (los requerimientos de profundidad varían con la textura: menos de 125 cm para materiales de textura gruesa, menos de 90cm de textura media, menos de 75cm para materiales de textura fina o hasta encontrar la roca si está a poca profundidad), o dentro de los 50 cm debajo de la base del horizonte B (si se encuentra presente); no presentan un horizonte cálcico o gípsico dentro de los primeros 100 cm de la superficie.
- **Fluvisol eútrico:** Suelos que provienen de depósitos aluviales reciente (El término “depósitos aluviales recientes”, tal como se utiliza en este texto,

comprende a los sedimentos fluviales, marinos, lacustres o coluviales, los cuales no han sufrido un marcado desarrollo en el proceso de formación de suelos. Estos suelos se caracterizan por un contenido de materia orgánica que decrece en forma irregular con la profundidad o permanece arriba de 0.35% (0.2% carbón) hasta una profundidad de 125 cm (los estratos delgados de arena o arena francosa pueden tener menor cantidad de materia orgánica si el sedimento más fino que se encuentra debajo reúne los requerimientos).

Estos suelos pueden recibir nuevos sedimentos a intervalos regulares, en cuyo caso muestran una estratificación; no tienen horizontes de diagnóstico, excepto tal vez de un horizonte A pálido; se pueden presentar otros horizontes de diagnóstico de suelos enterrados, si su límite superior se encuentra debajo de los primeros 50 cm del suelo (excepto para un horizonte A pálido, el cual puede encontrarse a poca profundidad); tienen un pH (KCl) menor de 4.2 o mayor, por lo menos en una parte de los primeros 50 cm de suelo.

- **Cambisol éútrico:** Suelos que tienen un horizonte A sómblico o pálido y B cámbico, el cual tiene una saturación de bases del 50% o mayor cuando menos en algún subhorizonte; carecen de carbonatos en el horizonte B (los carbonatos pueden aparecer en el horizonte C) (suelos con características similares, pero desarrollados de material vítrico y/o con una baja densidad aparente en los horizontes A y B o en ambos, son separados como Andosoles).
- **Andosol ócrico:** Suelos de origen volcánico, constituidos principalmente de ceniza, la cual contiene alto contenido de alófono, que le confiere ligereza y untuosidad al suelo; Ócrico es una subunidad exclusiva de los Andosoles. Indica una capa de color claro y pobre en materia orgánica.

A continuación se muestra un cuadro con la distribución de los suelos en la subcuenca Colomos-Atemajac.

Tabla No. 1. Unidades de Suelos, Superficie y Distribución.
Subcuenca del Arroyo Atemajac

Unidad de suelo	Superficie ha	Superficie %
Je/1	190.02	4.64
Re + Hh/1	1,374.91	33.59
Re/1	2,282.05	55.74
Re/2	123.87	3.03
Re + Je/1	59.20	1.45
Re + Be + To/1	63.30	1.55
TOTAL	4,093.34	100.00

El cuadro nos reporta que el suelo dominante es Regosol eútrico de textura gruesa (Re/1) con 2,282.05 ha que representan el 55.74 % de la superficie total de la subcuenca, en tanto que los mismos suelos pero de textura media representan el 3.03 % con 123.87 ha de superficie; mientras que las asociaciones de los Regosoles con otras unidades como Regosol + Feozem alcanza una superficie de 1,374.91 ha que representan el 33.059 % del total; la asociación Regosol + Fluvisol representan el 1.45% con 59.20 ha; la asociación Regosol + Cambisol + Andosol tienen una superficie de 63.30 ha que representa el 1.55% de área total; y por último los Fluvisoles comprenden una superficie de 190.02 ha equivalente al 4.64 % de la superficie de la subcuenca.

VIII. GEOMORFOLOGÍA

Zonificación Geomorfológica

El estudio de la caracterización geomorfológica, el estudio del ciclo hidrográfico e hidrológico del sistema, así como la funcionalidad geomorfológico del sistema parte de la fotointerpretación que se hizo a partir de las fotografías aéreas para el año de 1970 y 197 del INEGI. Actualmente los rasgos en la zona están afectados severamente por el crecimiento urbano, la subcuenca está comenzando a funcionar como una cuenca urbana.

El sistema de cauces⁶ ha construido morfológicamente una serie de barrancas las que técnicamente se denominan cárcavas⁷ son formas del terreno que indica una severidad en los proceso de erosión hídrica y se refleja topográficamente en múltiples desniveles y fuerte irregularidad. Las cárcavas identificadas mediante la fotointerpretación tienen rasgos diversos y esto zonifica una serie de procesos. Los numerosos arroyos que surcan la zona de estudio están directamente relacionados con las estructuras geológicas que controlan la red de avenamiento.

Aunque es una cuenca de dimensiones reducidas, la estructura que presenta la red de drenaje puede diferenciarse en dos zonas a lo largo de su curso, las cárcavas en la parte alta están vinculadas con erosión vertical y las cárcavas relacionadas con la sedimentación y erosión lateral. Todos los cauces en la parte alta de la zona de estudio presentan un desnivel de más de 10 m esto está vinculado con el trabajo de una erosión retrocedente realizada por los cauces que buscan su perfil de equilibrio.

⁶ Son cursos de agua de poca jerarquía y caudales fluctuantes.

⁷ Por cárcava se refiere a un rasgo topográfico de muy diversos orígenes, en este estudio el término se usa para designar formas producidas por flujos superficiales y subsuperficial vinculadas con la lluvia, sobre laderas inclinadas.

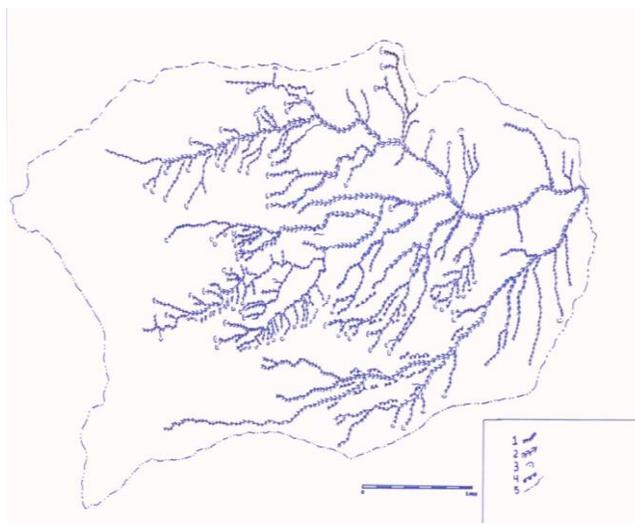


Figura No. 15. Mapa geomorfológico del los cauces 1) cauces en forma de V, 2) cauces de fondo plano U; 3) Circos de cabecera activos; 4) escarpes erosión; 5) parteoaguas principal de la subcuenca.

-cárcavas en la parte baja (sistema hidrográfico)

Las formas topográficas son convexas, (forma de U) predomina la erosión lateral y en menor medida remontante, el proceso geomorfológico es la sedimentación en los lechos. Las cárcavas se desarrollan sobre arenas pumicitas que van de poco consolidadas a consolidadas se encuentran básicamente secuencias de materiales volcánicos de caída, cenizas y flujos piroclásticos, los lechos son amplios tipo *breided*, el comportamiento del cauce es sinuoso, en ocasiones con una amplia llanura de inundación, y algunas caras activas que corresponde a la parte convexa de la ribera del cauce principal.

-cárcavas en la parte baja (sistema hidrográfico)

La forma es en V, corresponde con una morfología que indica una fuerte incisión vertical y poca lateral, indica una intensa erosión sobre la secuencia volcánica más superficial, el perfil longitudinal, principal es irregular.

-cárcavas de jerarquía uno (flujos efímeros)

Tiene una trayectoria corta de fuerte pendiente longitudinal, mueves flujos de agua de tormentas individuales, son las más activas del sistema.

Análisis de la Escorrentía

El análisis de diversos factores que condicionan la escorrentía dentro de una cuenca hidrográfica permite interpretar su dinámica y comportamiento. Asimismo, los mecanismos a los que estos cursos están sujetos tiene su explicación en esta

multiplicidad de componentes, que en el caso partícula del área estudiada ha dado como resultado un cuenca marcadamente compleja.

Los procesos geomorfológicos son muy importantes en el sistema debido a la conjunción de los aspectos litológico y el patrón de precipitación el cual está asociado con intensa lluvia de alta precipitación horaria y a que uso se le dio al área. Es importante entender el funcionamiento del sistema para poder identificar predecir y prevenir fenómenos de carácter peligroso, como inundaciones repentinas, azolve de infraestructura, proceso de remoción en masa etc.

Las topoformas del área de estudio a nivel regional son dominadas por rasgos geomorfológicos de origen volcánico. La caldera de La Primavera es el rasgo más sobresaliente del lado occidental. Los múltiples domos riolíticos y flujos de lava félsica presentan características topográficas y geomorfológicas distintivas dentro y en los márgenes de la caldera.

La mayor parte de la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG) está asentada en una planicie aluvial localizada inmediatamente al oriente del CVLP, planicie que presenta una ligera inclinación hacia el este.

La planicie aluvial antes mencionada, muestra una elevación media de 1,670 msnm hacia el lado occidental de la ciudad y un promedio de 1,500 msnm hacia el límite oriental.

El extremo sur de la ZMG está definido por una cadena de volcanes y conos cineríticos plio-pleistocénicos de composición predominantemente basáltica, con morfología tipo estrato volcán y alineados en dirección sureste - noroeste, estructuras que forman una topografía pronunciada que delimita el sector sur de la ZMG y se extiende hasta el río Grande de Santiago. Por otra parte, hacia la periferia oriental de la ciudad, los altos topográficos son surcados por varios tributarios del río Grande de Santiago, afluente mayor que bordea la parte este y norte de la ZMG, formando un cañón de más de 500 m de profundidad.

Un rasgo geomorfológico particular y distintivo es una cuenca colapsada ubicada en el límite nororiental del CVLP, cuenca que está delimitada al oriente por un fallamiento anular semicircular que se extiende desde el Cerro El Colli hasta La Venta del Astillero en la margen norte del complejo. La cuenca colapsada está dividida en dos cuencas cerradas separadas por un lóbulo de lava que cruza la cuenca hasta la localidad conocida como La Ratonera, aproximadamente a 2.0 km al norte de la intersección de Periférico y Av. Vallarta. Esta extensión de lava es reconocida por una prominencia topográfica de 30.0 a 40.0 m que divide la cuenca en dos.

La cuenca del sureste, denominada Bajío de la Arena cubre una superficie aproximada de 4.5 km de largo por 1.5 km de ancho. El lado oeste de la cuenca está delimitado por el domo de El Chapulín del CVLP. El lado oriental está definido por un notable salto topográfico de aproximadamente 15.0 m de altura respecto

del bloque levantado de la ciudad y la cuenca deprimida. Este desnivel topográfico se interpreta como la expresión superficial típica de un escarpe de fallamiento normal bajo intensos procesos de erosión regresiva, que delimita la margen colapsada de la cuenca.

En un punto cercano al escarpe de falla, recientemente se registró un notable hundimiento del terreno de ~20 m de profundidad y ~3 m de diámetro, fenómeno natural que podría ser indicativo de que esta falla es todavía activa. Por otra parte, dicha estructura presenta una deflexión hacia el este, en lo que parece ser la intersección con la estructura Colomos.

Otro rasgo geomorfológico local de importancia es el sistema de cañadas de Los Colomos. Este sistema está bien desarrollado por algunos tributarios subparalelos que aparecen entre las elevaciones 1,530 msnm y 1,650 msnm. Estas orientaciones subparalelas del drenaje sugieren un posible control estructural del basamento. En elevaciones inferiores a 1,530 msnm, todos los tributarios del sistema Colomos se unen en el arroyo Atemajac para descargar en el arroyo San Juan de Dios, el cual drena directamente hacia el río Grande de Santiago.

IX. HIDROGEOMORFOLOGÍA (Procesos Activos).

Morfología y dinámica de las cárcavas⁸ previas al proceso de urbanización

Los rasgos del sistema de cauces como su geometría y el perfil longitudinal de los escurrimientos se ajustaban a la frecuencia y magnitud de los sucesos hidrológicos los cuales están vinculados con el patrón de precipitación. De acuerdo con los criterios elaborados por Harvey et al. (1982) y Conesa García (1995) para este tipo de sucesos existen a) *menores*, con ligeros cambios en el lecho b) *moderados*, que alteran la morfología del cauce principal y c) *mayores*, que afectan a todo el sistema fluvial.

Para entender cómo funcionaba el sistema de erosión-transporte-sedimentación (procesos hidrogeomorfológicos) y el ciclo del agua en el sistema de cárcavas, se procedió a reconstruir la red hidrográfica, para ello se utilizó la fotografía aérea a color del año de 1971⁹, etapa en la cual estaba urbanizada cerca de 15% de la superficie de la subcuenca, ello permitió hacer un comparativo con lo que se reconocieron y se documentaron los cambios en los sucesos hidrológicos vinculados con la urbanización.

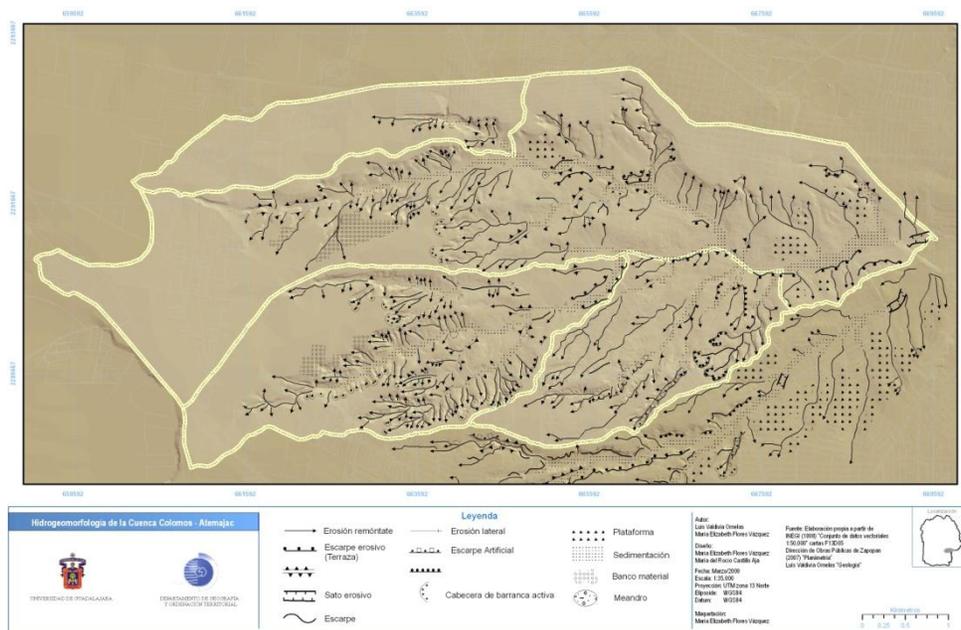


Figura No. 16. Mapa de los procesos hidrogeomorfológicos identificados en el sistema de Colomos-Atemajac para el año de 1970.

⁸ Proviene de los nombres de *Gully*, *Guilles*, se refiere a pequeños valles de paredes y cabeceras verticalizadas y perfiles longitudinales de pendiente elevada, que transmiten flujos efímeros y denota una intensa erosión hídrica.

⁹ Fotografía a color escala 1:21,000 del INEGI para el año de 1970 y 1971.

Se documentaron los siguientes procesos de carácter hidrogeomorfológico para cada uno de las unidades:

-Cauces principales.

Se reconocieron dos tipos morfológicos y de funcionalidad de los cauces en la zona de estudio; el primero tipo corresponde con formas de lechos amplios con fuerte actividad sedimentaria, con registro de grandes depósitos de arenas fluviales, en este grupo entran los arroyos La Campana, Chochocate, Milpa Alta, El Gorupo. Se tiene planicies aluviales, el trazo del canal, era divagantes parcialmente estabilizados por una incisión sobre sus sedimentos (producto de la erosión o tectónica, algunas curvaturas del canal registraban radios cerrados. El rasgo más importante era lo irregular de sus dimensiones, las zonas de acumulación de arenas fluviales ampliaban considerablemente el lecho, alcanzando más de 40 m en algunos puntos. La función de estos playones de arena¹⁰, será la de regular las avenidas y controlar la taza de transporte de los sedimentos aguas abajo (Río Colomos-Atemajac), con esto se incrementar la infiltración y se controlaba la onda de inundación de las avenida súbitas.



Figura No. 17. Las flechas indican las zonas de acumulación de arenas para el año de 1971, formando lo que se denominó como playones a lo largo de los cauces.

¹⁰ Nombre que se le dio a la zona de remanso del cauce en donde la pendiente es menor al 1.5%, con una importante depositación de arenas fluviales.



Figura No. 18. Las flechas (negro) indican las zonas de inundación de los canales y las líneas grises el trazo anastomosado de los canales principales.

Los playones se localizan particularmente en las siguientes condiciones topográficas-geomorfológicas:

- Aguas arriba de los puntos de estrechamiento de los canales.
- Meandros con las curvaturas más cerradas.
- Tramos de los cauces con pendientes menores al 1.5%.

Específicamente la morfología de los dos canales Principales; es decir Colomos-Atemajac y La Campana, se pudo observar un proceso alto de sedimentación sobre los lechos, la morfología es tipo *breide*, esto asociado con la gran cantidad de sedimentos presentes en el canal.

-Cauces secundarios.

Hay dos tipos de canales secundarios, los de jerarquía 1 (uno) transmiten rápidamente los flujos efímeros de una tormenta individual, se caracterizan por su fuerte pendiente longitudinal y altos valores de pendiente de su cuenca tributaria, se registran los mayores valores de erosión vertical y remontante, el segundo tipo de canal son los de jerarquía 2 y 3, tienden a ser más profundos y en donde la pendiente del *talweg* es fuerte pero con una menor cantidad de rupturas de pendiente. Estos canales eran profundos y angostos directamente aportaban el agua de una tormenta al sistema principal, regulando la entrada de agua a los colectores principales., además afloraba agua en su paredes de manera efímera. El proceso urbano altero radicalmente estos dos tipos de canales, haciendo que se perdieran aproximadamente un 95% de ellos, generando nuevos proceso de concentración e incremento de la velocidad del agua hacia la parte baja de la subcuenca. Los volúmenes de agua que normalmente transportan estos cursos son reducidos, pero la magnitud de sus cauces le permite conducir

adecuadamente los volúmenes que se presentan ante lluvias extraordinarias (principales eventos de precipitación).

-Cabecera de barranca.

La forma de las cabeceras de las barranca era a manera de un anfiteatros, esto asocia a los proceso geomorfológicos vinculado con seepage y erosión remontante (flujo hortoniano), se puede identificar proceso de caída desprendimientos, en bloque o desmoronamiento, socavación.

- Parteaguas en forma de mesas:

Por la condición de un relieve subhorizontal la mayoría de los parteaguas eran en forma de mesas, estas presentaban una arroyada la cual movía le exceso de agua que no era drenaje por la infiltración.

- Cuantificación de los proceso hidrogeomorfológicos.

No han existido estudios que permitan cuantificar los proceso de erosión y sedimentación de las zonas que quedan sin urbanizar, se han realizado algunas mediciones no sistematizadas, estimándose que el retroceso puede ser de 20 a 50 cm en las cabeceras de las barrancas más activas, así como, de sedimentación de más de 1 m sobre los canales de patria y Santa Isabel, esto se activa en función de los impactos por el proceso de urbanización



Figura No. 19. Cabecera que concentra la humedad subsuperficial, controla proceso de erosión hídrica.

X. EROSIÓN DE SUELOS DE LA SUBCUENCA COLOMOS-ATEMAJAC.

A. Erosión Actual de la Subcuenca de Atemajac.

La metodología empleada en este trabajo se apoya en la interpretación de la variación temporal de la cobertura vegetal de las diferentes áreas estudiadas, empleando imágenes de satélite Landsat MSS en composiciones de falso color, con verificación de campo de las unidades de interpretación obtenidas; para clasificarlas conforme a los grados de erosión de la FAO, 1954. Esta metodología es útil para detectar y priorizar zonas que requieren de trabajos más intensos, en lo que se refiere a la evaluación de los agentes causantes de la erosión en sus diferentes modalidades.

Análisis Sistemático

Esta fase tiene por objeto concretar el análisis de la información de campo y clasificar las áreas de muestreo dentro de las clases de erosión FAO, 1954.

El marco de muestreo lo constituyen la Provincias, Regiones y Subregiones Terrestres de México (CP, 1981), dentro de las subregiones se determinaron dinámicas. Los muestreos fueron reportados de acuerdo a las hojas de campo, contándose con una clasificación a priori de la erosión del área de muestreo, tomando como base imágenes de satélite Landsat, por tanto la extrapolación al resto de la dinámica muestreada debía ajustarse considerando esencialmente el relieve de la unidad con apoyo de la información cartográfica disponible.

Se revisó cada área de muestreo, cotejando con información cartográfica contenida en las cartas temáticas del INEGI (topográfica, uso del suelo y edafológica), se consideraron, vegetación, suelos, clima y geología, en cuanto a datos para cada área. Se revisó cada reporte de campo comparando con la información obtenida de la síntesis, apoyándose en apuntes de campo y fotografías de los sitios y áreas adyacentes. Se hizo una evaluación de las barrenaciones reportadas utilizando dos métodos para clasificar por erosión las áreas.

- a. Método de comparación de la media de las diferencias.
- b. Método de la Profundidad Límite Inferior para erosión Clases A y B.

El método (a) se refiere a la secuencia siguiente:

- 1.- Selección de la barrenación más profunda para comparar, considerándola como el 100 % de espesor del horizonte muestreado.
- 2.- Sacar las diferencias entre las barrenaciones, la seleccionada y las de cubrimiento del área de muestreo.

3.- Media aritmética de las diferencias obtenidas, eliminando la observación seleccionada para la obtención de la medida, esto es, un grado de libertad por el tamaño de la muestra.

4.- Obtención del porcentaje de la media de las diferencias con respecto a la barrenación más profunda, que será el porcentaje de pérdida de la capa superficial y con este dato entrar a la tabla de FAO para clasificar el área.

El método (b) indica lo siguiente:

1. Ordenar de menor a mayor las barrenaciones.
2. Computar la profundidad límite inferior para la clase de erosión A (PLIA) y la clase B (PLIB).
3. Clasificar cada barrenación dentro de cada clase de erosión y contar la frecuencia de cada clase.
4. Computar la frecuencia relativa de cada clase.
5. Clasificar el área de acuerdo a FAO tomando la frecuencia relativa de cada clase, considerando las menores como impurezas de la mayor.

Tabla No. 2. Ejemplo: Se tienen los muestreos de campo descritos en el siguiente cuadro.

Área	Dinámica cobertura Vegetal	Subregión	Clase de erosión en campo	Barrenación reportada (ai-an)
8	6	Le1	A/B	1.- 3
1			A	2.- 4
				3.- 4
				4.- 5
				5.- 21
				6.- 23
				7.- 25
				8.- 30
				9.- 30
				10.- 30

Método (a): Secuencia del método

1. Barrenación más profunda reportada: 30.0 cm
2. Diferencia con las otras barrenaciones sin considerar ésta:

$$\begin{array}{r}
 3 - 30 = -27 \\
 4 - 30 = -26 \\
 4 - 30 = -26 \\
 n = 10-1
 \end{array}$$

n = 9	5 - 30 = -25
	21 - 30 = -9
	23 - 30 = -7
	25 - 30 = -5
	30 - 30 = 0
	30 - 30 = 0

3. Media aritmética de las diferencias $\bar{x} = \Sigma di/n$

$$125/9 = 13.8 \approx 14.00$$

4. Porcentaje medio de pérdida horizonte superficial.

30 cm es 100% espesor
14 cm son X % espesor

$$X = (14 \cdot 100)/30; X = 46.6 \approx 47.00$$

Resulta que el 47%, corresponde a la pérdida del espesor del horizonte superficial, por lo que se clasifica como erosión clase B (Ver cuadro de FAO).

Método (b): Desarrollo de las etapas

1. Ordenar barrenaciones:

3, 4, 4, 5, 21, 23, 25, 30, 30, 30

2. Computar PLIA 0.75 (PMax)*: 0.75 (30) 22.5 cm Límite inferior que clasifica
A
Y PLIB 0.25 (PMin)*: 0.25 (3) 0.75 cm Límite inferior para clasificar
B.

* Profundidad máxima y mínima reportada del muestreo en campo.

3. Clasificación de las barrenas

Frecuencia de clase de erosión en el área de muestreo, donde los valores de tres al 21, corresponden a una clase de erosión "B"; y los valores de 23 a 30, son de clase "A".

3 - B	23 - A	
4 - B	25 - A	A = 5
4 - B	30 - A	B = 5
5 - B	30 - A	
21 - B	30 - A	

4. Frecuencia Relativa de cada Clase:

$$10 - 100\% \quad A = (5 \cdot 100) / 10; \quad A = 50\%$$

$$5 - A \quad B = (5 \cdot 100) / 10; \quad B = 50\%$$

5. Clasificación FAO. Por tener 50% de A se clasifica como: A/B
Se tienen así tres clasificaciones del área:

De campo = A/B y A
Método (a) = B
Método (b) = A/B

Para decidir por una de las clasificaciones se coteja el resto de la información y se define para este caso como A/B. Este tipo de análisis se hizo para cada área clasificándose por erosión de acuerdo a FAO cada una. La clasificación de la erosión aportada por la FAO en 1954 se refiere a las cinco clases generales de erosión siguiente:

Tabla No. 3. SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE LA EROSIÓN. FAO, (1954).

CLASE	NOMBRE DE LA CLASE	DEFINICIÓN DE LA CLASE
A	Erosión No Manifiesta	La capa superficial del suelo se ha perdido en menos del 25% pero se admite un 10% de la superficie del área con grado de erosión B ó C.
A/B	Erosión Leve	La capa superficial del suelo se ha perdido en menos del 25% pero se tiene de un 10% a un 25% de la superficie del área con erosión B ó C.
B	Erosión Moderada	La capa superficial del suelo se ha perdido de un 25% a un 75% pero se admite un 10% de la superficie del área con erosión A ó C.
B/C	Erosión severa	La capa superficial del suelo se ha perdido de un 25 al 75% pero se tiene de un 10 a un 25% de la superficie del área con erosión A o C.
C	Erosión Muy Severa	La capa superficial del suelo se ha perdido en un 75% y se admite un 25% de la superficie del área con erosión A ó B.

Clasificación de las Unidades Cartográficas

En base al análisis sistemático realizado en las áreas muestreadas considerando que cada unidad de muestreo es representante del grado de erosión que le correspondió dentro de su respectiva subregión, se procedió a extrapolar la clasificación de erosión al resto de unidades de dinámica de Vegetación conservando el marco de muestreo por subregión, estableciéndose la generalización cartográfica del siguiente modo:

- Obtención de una copia de cada subregión separada, con las dinámicas aparentes dentro de ellas, y localización de las áreas de muestreo correspondientes.
- Asignación de la clasificación de erosión correspondiente a cada dinámica, de acuerdo a las áreas de muestreo.
- Ajustes con la carta topográfica, eliminación de áreas no cartografiables a escala de edición.
- Coloreado de las unidades de erosión, y corrección de empalmes entre subregiones.
- Obtención de superficies de los distintos grados de erosión clasificados, mediante el uso de sistemas de información geográfica.

Con esta metodología de trabajo se obtuvo finalmente un plano general de la erosión actual de la subcuenca de Atemajac, que se anexa a esta memoria técnica.

RESULTADOS

El reconocimiento de las áreas erosionadas con la metodología explicada en el capítulo precedente, llevó a la elaboración del plano de erosión actual de la subcuenca de Atemajac, en dicho plano se presentan las áreas de ocurrencia de las cinco clases de erosión según FAO (1954), cuyas superficies totales para la subcuenca se presentan en el cuadro siguiente:

Tabla No. 4. Superficies ocupadas por las diferentes clases de erosión. (FAO, 1954).

CLASE	NOMBRE DE CLASE	SUPERFICIE (ha)	PORCENTAJE DEL TOTAL
A	Erosión No Manifiesta	405.27	9.90
A/B	Erosión Leve	323.46	7.90
B	Erosión Moderada	2,250.65	64.76

B/C	Erosión Severa	0.00	0.00
C	Erosión Muy Severa	713.96	17.44
	TOTALES:	4,093.34	100.00

Del cuadro de clases de erosión de la microcuenca Atemajac, se interpreta que la clase de erosión actual, dominante es la Clase B “Erosión Moderada” presente en una superficie de 2,250.65 ha, que corresponden al 64.76 % de la superficie total de la microcuenca. En segundo término tenemos la erosión Clase C “Erosión Muy Severa”, con una superficie de 713.96, que representa el 17.44 % del área total; la Clase A “Erosión No Manifiesta es representada por un 9.90 % lo que equivale a 405.27 ha de superficie; por último la Clase A/B, “Erosión Leve”, con una superficie de 323.46 ha, que representan el 7.90 % de la superficie total estudiada.

Las clases de erosión presentes en la microcuenca, se distribuyen de la siguiente forma:

Clase “A” Nula o Ligera, se distribuye especialmente en las áreas sensiblemente planas y sin procesos de urbanización.

Clase “A/B” Leve, se distribuye al noroeste de la microcuenca en donde aún se encuentran parcelas dedicadas a la agricultura lo cual contribuye un poco a frenar la erosión del terreno.

Clase “B” Moderada, corresponde principalmente a la zona urbanizada, que ha perdido la capacidad de erosionarse pero en base a la metodología señaliza podemos concluir este resultado, distribuyéndose por toda la microcuenca.

Clase “C” Severa, se presenta en la porción central de la microcuenca citada, principalmente en la zonas aledañas por donde existe el Río Atemajac, la urbanización, pavimentación del suelo y otras actividades antrópicas intensas, produce que los escurrimientos pluviales sean más abundantes y rápidos, esto se manifiesta con una gran superficie afectada por cárcavas en las zona anteriormente señalada.

En resumen tenemos que en la microcuenca Atemajac, el 74.95 % de la superficie se presenta erosión moderada, lo que implica la implementación de un programa con prácticas intensivas de conservación de suelos y aguas, acorde a las condiciones fisiográficas de la microcuenca citada.

Solamente el 4.93 % de la superficie se considera sin erosión o con erosión incipiente, que requiere de prácticas básicas de conservación del suelo y agua; y

solo el 8.59 % de la superficie, presenta erosión severa, por lo que requiere de un programa especial con prácticas intensivas para el control de la erosión de suelos.

Riesgo de Erosión Subcuenca del Arroyo Atemajac

Metodología

La metodología de la FAO para evaluar erosión considera 4 grupos de factores: i) Factores climáticos, ii) Factores edáficos iii) Factores topográficos y iv) Factores humanos, cuyas características y calificaciones se muestran a continuación.

i) Factores Climáticos

El índice usado por la FAO para la cartografía a pequeñas escalas es una modificación del Índice de Fournier como sigue:

$$R1 = \frac{1 \sum_{i=1}^{12} p_i^2}{P}$$

Donde p1 es la precipitación mensual y P es la precipitación anual. Como ya se mencionó, los valores de R1 se correlacionan con el índice R de la ecuación universal de Wischmeier (Arnoldus, 1977).

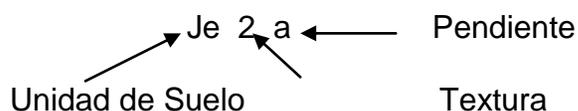
Los valores de R1 también conocido como Índice de erosividad de la lluvia, pueden a su vez ser clasificados como sigue:

Calificación

R1 =	0 – 50	50 – 500	500 – 1000	>1000
	Ligera	Moderada	Alta	Muy Alta

ii) Factores edáficos

En los mapas de suelos elaborados por la organización FAO a nivel mundial y por la Dirección de Estudios del Territorio Nacional (DETENAL) en nuestro medio, utilizan en común la simbología y significados siguientes:



Los dos primeros términos (Unidad de Suelos y Textura) constituyen a los factores edáficos y a partir de ellos se puede atribuir un factor de erodabilidad como sigue:

i. Unidades de Suelos

Tabla No. 5. Las clases de erodabilidad de las unidades de suelos de FAO son:

A: Acrisoles;	II	J: Fluvisoles;	II	S: Solonetz;	III
B: Cambisoles;	II	K: Castañozems;	I	T: Andosoles;	II
C: Chernozems;	I	L: Luvisoles;	II	U: Rankers;	I
D: Podzoluvisoles;	III	M: Greyzems;	II	V: Vertisoles;	III
E; Rendzinas;	I	N: Nitosoles;	I	W: Planosoles;	III
F; Ferralsoles;	I	O: Histosoles;	I	X: Xerosoles;	III
G: Gleysoles;	II	P: Podzoles;	III	Y: Yermosoles;	III
H; Faeozems;	I	Q: Arenosoles;	I	Z: Solonchaks;	II
I: Litosol;	I	R: Regosoles;	II		

A cada clase de erodabilidad se le asigna un valor, de la siguiente forma:
Calificación:

Clases de Erodabilidad	I	II	III
Calificación	0.5	1.0	2.0

(b) Clases Texturales

Las clases texturales son de tres tipos, cuyas definiciones son:

1. Textura gruesa (<18% arcilla y >65% arena)
2. Textura media (<35% arcilla y <65% arena o <18% arcilla y <82% arena),
3. Textura fina (>35% arcilla)

Al igual que otros factores, la textura recibe una calificación cuyos valores se reportan a continuación:

Calificación:

Textura del mapa de suelos	1 Gruesa	2 Media	3 Fina	Fase gravosa o pedregosa
Calificación	0.2	0.3	0.1	0.5

iii) Factores Topográficos

La pendiente se agrupa en tres clases las cuales son:

- a. nivel a ligeramente ondulada de 0 al 8%
- b. de ondulada a fuerte de 8 al 30%
- c. de fuerte a quebrada mayor de 30%

De estas clases se realiza una subdivisión en seis rangos, siendo:

Clase de Pendiente	aa Cónca vo	a Plano	ab Ondulad o	b Muy Ond.	bc Quebra do	c Escarpad o
Calificación	0.15	0.35	2.0	3.5	8.0	11.0

Con los datos anteriores es posible calcular el RIESGO DE EROSIÓN, cuyo valor es muy útil no con fines predictivos sino con fines COMPARATIVOS, de la siguiente forma:

$$\text{Riesgo} = R1 \times C \text{ unidad} \times C \text{ textura} \times C \text{ pendiente}$$

Para evaluar sus resultados obtenidos en ton/ha/año se tiene la siguiente clasificación:

Tabla No. 6. CLASES DE DEGRADACIÓN

Clases	Pérdidas de suelo Ton/ha/año
Ninguna o ligera	<10
Moderada	10 - 50
Alta	50 - 200
Muy Alta	>200

Los resultados se reportan en Ton/ha/año y se usa la misma clasificación de riesgo para caracterizarla (ninguna o ligera, moderada, alta y muy alta).

RESULTADOS

El reconocimiento de las áreas con riesgo de erosión con la metodología explicada en el capítulo precedente, llevó a la elaboración del plano de riesgo de erosión de la subcuenca del Atemajac, en dicho plano se presentan las áreas de ocurrencia de las cuatro clases de riesgo erosión según FAO (1979), cuyas superficies totales para la microcuenca se presentan en el cuadro siguiente:

Tabla No. 7. Superficies torales para cada clase de riesgo en la microcuenca

CLASES DE RIESGO	PERDIDA DE SUELO (Ton/Ha/Año)	SUPERFICIE (Ha)	SUPERFICIE (%)
Ninguna o ligera	< 10	0.00	0.0
Moderada	10 – 50	4,093.34	100.0
Alta	50 – 200	0.00	0.0
Muy Alta	> 200	0.00	0.0
TOTAL		4,093.34	100.0

Del cuadro de clases de riesgo de erosión de la microcuenca Atemajac, se interpreta que la única clase de riesgo de erosión, presente es la Clase Riesgo de Erosión “Moderada” con una superficie de 4,093.34 ha, que corresponde al 100.0 % de la superficie total de la microcuenca. Este resultado se obtiene debido a las características similares de suelos presentes en la microcuenca, y la variación en textura que es la más notoria no es significativa en el resultado, cabe mencionar que este método es con fines comparativos.

XI. HIDROLOGIA SUPERFICIAL E HIDROGEOLOGÍA

HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

Clasificación Hidrológica y Área de la Subcuenca Arroyo Atemajac

En este apartado la subcuenca del arroyo Atemajac se agrupa con la microcuenca “El Bajío o Arroyo de La Arena”, estas unidades se toman por separado en este subcapítulo debido a que son dos unidades independientes, pero para los fines de manejo de la propuesta de protección hidrológica se utilizan en conjunto, debido a los motivos y características expuestos en los capítulos respectivos.

Las microcuencas del proyecto se localiza en la Región Hidrológica Lerma-Santiago (RH-12); Cuenca “1” Río Santiago-Guadalajara; Subcuenca “b” Corona-Río Verde; Subcuenca Atemajac (RH-12-I-b Atemajac) y Microcuenca El Bajío.

El límite de la subcuenca del arroyo Atemajac y parte baja de la microcuenca El Bajío, se definieron delimitando sus parteaguas, empleando para ello planos fotogramétricos; esto es, la carta topográfica F13D65 Guadalajara Oeste a escala 1:50,000, editada por el INEGI. La subcuenca del Arroyo Atemajac, tiene una superficie de 3,089-19-26-.26 ha; mientras que la microcuenca “Arroyo El Bajío” tiene una superficie de 2,856-54-62-.54 ha, de ésta, solo se consideran 1,003.0 ha aproximadas, para efectos de la propuesta de protección hidrológica, ya que el área de El Bajío es zona de infiltración de las aguas provenientes de la parte alta de la microcuenca y su flujo subterráneo es hacia al sistema hidrológico de Los Colomos; de acuerdo con Torres (1984), presentan una forma irregular, siendo su índice de forma (IF):

Subcuenca Atemajac IF = 2.30

Microcuenca El Bajío IF = 1.02

Para la microcuenca A. Atemajac se presenta un índice de forma de 2.30, lo que significa que el volumen de captación pluvial es “Bajo”; mientras que la microcuenca A. El Bajío su índice de forma es de 1.02 lo que significa que el volumen de captación pluvial es “Medio”; el índice de forma está determinado por el relieve y pendientes de la microcuenca, los que le dan su forma y por ende el área de captación de lluvia.

Caracterización Hidrológica de la Subcuenca Arroyo Atemajac

- Pendiente y Elevación de la Subcuenca A. Atemajac

La topografía de la subcuenca A. Atemajac presenta un relieve plano a ligeramente ondulado con pendientes del 1.0 % hasta el 8.0 %, siendo la

pendiente media del 4.5%. La altura media de la subcuenca está dada por la cota 1,575 m.s.n.m. presentando un rango de altura de los 1,480 a 1,670 m.s.n.m. Mientras que la topografía de la microcuenca A. El Bajío está definido por dos tipos de relieve bien identificados, en su porción Oeste y Suroeste presenta un relieve de ondulado a fuertemente ondulado con pendientes del 11.0 % hasta el 24.0 %, siendo la pendiente media del 17.5%, mientras en su porción Noreste presenta un relieve plano a ligeramente ondulado con pendientes menores del 1.0 % hasta el 2.0 %, siendo la pendiente media del 1.1%. La altura media de la microcuenca está dada por la cota 1,890 m.s.n.m. presentando un rango de altura de los 1,670 a la 2,110 m.s.n.m.

- Clase de Corrientes, Orden de corrientes y modelo de drenaje.

La red de drenaje para la subcuenca A. Atemajac, presenta un modelo dendrítico y contiene corrientes de Clase Intermitentes hasta de cuarto orden y efímeras de primer orden. Existen dos corrientes principales intermitentes, que en conjunto con las corrientes efímeras, están integradas a la red de drenaje de la subcuenca, de tipo exorréica; es decir, debido a las características de la subcuenca como pendiente del terreno y textura del suelo, el agua se infiltra hacia el subsuelo pero la mayoría de las corrientes están dentro de la zona metropolitana de Guadalajara, muchas de ellas están canalizadas y siguen su curso a través del drenaje subterráneo de dicha ciudad.

La red de drenaje de la microcuenca A. El Bajío, presenta un modelo Subdendrítico y contiene corrientes de Clase Intermitentes hasta de cuarto orden y efímeras de primer orden. Existen tres corrientes intermitentes principales, las cuales en conjunto con las corrientes efímeras están integradas a la red de drenaje de la microcuenca, esto es, debido a las características de la microcuenca en pendiente del terreno y textura del suelo, el agua confluye hacia una misma zona denominada “El Bajío”, siendo la parte mas baja de la microcuenca; debido a una falla geológica y a la textura del suelo el agua se infiltra casi en su totalidad, descontando el agua por evapotranspiración, dado que es una cuenca endorréica.

- Longitud y Pendiente del Cauce Principal

El Cauce principal de la subcuenca A. Atemajac, nace en las inmediaciones de del fraccionamiento habitacional Virreyes residencial, y fluye hacia el Noreste de la subcuenca, hasta confluir con el río Grande de Santiago; dentro de la subcuenca del arroyo Atemajac, tiene una longitud de 9,170.12 metros y un desnivel de 183.0 metros, por lo que la pendiente media del cauce es de 1.99 %. La cota más alta es la 1,663 y la más baja la 1,480, en la confluencia con el parque Ávila Camacho, en el municipio de Zapopan.

- Densidad de Drenaje y Densidad de Corrientes

Para la densidad de drenaje, se cuenta con los siguientes datos de 30.89 km² y una Longitud de corrientes de 60.05 km para la subcuenca arroyo Atemajac

y para la microcuenca El Bajío, se tienen 28.56 km² y una longitud de cauces de 79.08 km; dando como resultado:

$$\begin{aligned} \text{Subcuenca Atemajac } Dd &= 1.94 \\ \text{Microcuenca El Bajío } Dd &= 2.77 \end{aligned}$$

El resultado nos indica que para la subcuenca A. Atemajac la densidad de drenaje es “Alto” ya que se tiene cerca de 2.0 km de cauce por km² de área de cuenca; mientras que la microcuenca A. El Bajío, la densidad de drenaje es “Muy Alto” ya que se tiene cerca de 3.0 km de cauce por km² de área de microcuenca.

En lo que respecta a la densidad de corrientes, la subcuenca Atemajac cuenta con 37.0 cauces, mientras que la microcuenca El Bajío cuenta con 61.0 cauces; dando como resultado:

$$\begin{aligned} \text{Subcuenca Atemajac } Dc &= 1.19 \\ \text{Microcuenca El Bajío } Dc &= 2.13 \end{aligned}$$

Para la subcuenca A. Atemajac la densidad de corrientes es “Media”, ya que se tiene más de un cauce por km² de superficie de cuenca; mientras que para la microcuenca A. El Bajío, la densidad de corrientes es “Alta”, ya que se tienen en más de dos cauces por km² de superficie de microcuenca.

Coeficiente de Escurrimiento Ponderado

Para determinar el Coeficiente de Escurrimiento Ponderado (Cep), en la microcuenca del Arroyo Atemajac, se consideró que el 87.45 % de la superficie total presenta la clase de textura 1 “Gruesa”, mientras que el restante 12.55% es de textura 2 “Media”; además se tomó en cuenta el relieve y las pendientes dominantes, así como la cobertura vegetal, encontrándose que el 11.73 % del área es agrícola de temporal, 11.53 % son áreas Forestales y el restante 76.74% son suelos urbanizados. Mientras que para la microcuenca A. El Bajío se consideró que el 100.0 % de la superficie total corresponde a la clase de textura 1 “Gruesa”; tomando en cuenta el relieve y las pendientes dominantes, así como la cobertura vegetal, encontrándose que el 5.43 % es área agrícola de temporal, 80.24 % son áreas Forestales y el restante 14.33% son suelos urbanizados. Se calcula en hectáreas, con la siguiente ecuación:

$$Cep = \frac{(A_i * C_{ei}) + \dots + (A_n * C_{en})}{\text{Área total}}$$

Donde:

A_i = Área parcial iésima (1, 2, 3..., n.)

C_{ei} = Coeficiente de escurrimiento ponderado (1, 2, 3, ..., n.)

Resultando:

Subcuenca Atemajac Cep = 0.80

Microcuenca El Bajío Cep = 0.39

Volumen Medio Escurrido

Para el cálculo de volúmenes de escorrentía y gasto de la microcuenca, se emplearon datos de la estación meteorológica de Zapopan (14-120), dado que es la más cercana al sitio de proyecto. El Volumen Medio Escurrido de las microcuencas se estima a partir de la siguiente ecuación:

$$Vm = (Cep) (A) (Pp)$$

Donde:

Vm.- Volumen medio (Mm3).
Cep.- Coeficiente de Escorrentía Ponderado
(adimensional).
A.- Área de la microcuenca (Km2)
Pp.- Lluvia media anual (mm)

Sustituyendo la ecuación, para las microcuencas se aprecian los siguientes datos:

Subcuenca Atemajac $Vm = (0.80) (30.89) (979.6)$; $Vm = 24,133.74 \text{ Mm}^3$

Subcuenca El Bajío $Vm = (0.39) (28.56) (979.6)$; $Vm = 10,911.18 \text{ Mm}^3$

Gasto Máximo Extraordinario, Tr 50 años.

En la estimación del gasto máximo para un periodo de retorno determinado, es necesario tomar en consideración la precipitación máxima en 24 horas; dato que es obtenido de la estación meteorológica correspondiente. La determinación del gasto o avenida máxima extraordinaria, se estima con el método Racional Americano, si se cuenta con datos de intensidad de lluvia (cm/hr); o bien con el método Racional Modificado si sólo se cuenta con datos de lluvia máxima en 24 horas.

Se emplearon datos de la estación meteorológica Zapopan (14-120), de lluvia máxima en 24 horas; también se consideraron las curvas isoyetas de intensidad de lluvia de la SCT (2000), para un periodo de retorno (Tr) de 50 años.

Para el cálculo del gasto máximo extraordinario se elige la intensidad de lluvia de 9.3 cm, de una tormenta de 30 minutos de duración, con los resultados siguientes:

$$Q \text{ max} = 0.028 (\text{Cep}) (\text{LI Máx ó Int. Lluvia}) (A)$$

Donde:

Q_{máx}.- Gasto máximo extraordinario (m³/seg).

Cep.- Coeficiente de Escorrentía Ponderado (adimensional).

A.- Área de la microcuenca (ha)

LI.- Lluvia máxima en 24 horas (cm)

IL.- Intensidad de lluvia (cm)

Sustituyendo la ecuación, para las microcuencas se aprecian los siguientes datos:

Subcuenca Atemajac Q_{máx} = 608.94 m³/seg (LI Máx)

Subcuenca El Bajío Q_{máx} = 274.50 m³/seg (LI Máx)

Subcuenca Atemajac Q_{máx} = 830.32 m³/seg (Int. Lluvia)

Subcuenca El Bajío Q_{máx} = 374.25 m³/seg (Int. Lluvia)

Como se aprecia, el gasto máximo extraordinario, es alto en las dos cuencas, ya que se refiere al gasto en la zona más baja de las cuencas y para una tormenta de valor histórico máximo en los últimos 50 años. Se anexa cuadro de datos de la estación meteorológica de Zapopan y el mapa de isoyetas de intensidad de lluvia, para una tormenta con duración de 30 minutos, para un periodo de retorno de 50 años.

Tabla No. 8. Estación meteorológica Zapopan (14-120), Zapopan Jalisco (Inifap, 2003)

Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	Mav	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Temperatura máxima media (°C)	24.0	25.3	28.1	30.7	31.7	29.3	26.6	26.8	26.3	25.7	24.3	23.3	26.8
Temperatura máxima maximorum (°C)	30.0	37.0	38.0	38.0	39.0	38.0	39.0	34.0	34.0	32.0	32.0	33.0	39.0
Temperatura mínima media (°C)	8.3	8.8	10.5	12.9	14.6	15.7	15.1	15.6	15.3	13.2	9.2	8.3	12.3
Temperatura mínima minimorum (°C)	2.0	3.0	4.0	7.0	9.0	12.0	11.0	12.0	9.0	8.0	2.0	0.0	0.0
Temperatura media (°C)	16.2	17.1	19.3	21.8	23.2	22.5	20.9	21.2	20.8	19.5	16.8	15.8	19.6
Temperatura diurna media (°C)	20.6	21.5	23.8	26.2	27.3	25.7	23.6	24.0	23.6	22.8	21.0	20.0	23.3
Temperatura nocturna media (°C)	11.7	12.6	14.8	17.4	19.0	19.3	18.1	18.4	18.0	16.1	12.5	11.6	15.8
Oscilación térmica (°C)	15.7	16.5	17.6	17.8	17.1	13.6	11.5	11.2	11.0	12.5	15.1	15.0	14.6
Precipitación (mm)	23.0	7.7	5.4	7.6	20.1	180.8	251.0	240.5	142.0	73.0	15.0	13.5	979.6
Precipitación máxima en 24 horas (mm)	55.0	16.0	24.0	24.0	47.0	88.0	80.0	65.0	62.0	45.0	60.0	16.0	88.0
Fotoperíodo (hr)	11.1	11.6	12.2	12.8	13.3	13.5	13.4	12.9	12.3	11.7	11.2	11.0	12.3
Humedad relativa (%)	57.4	55.1	52.0	51.5	53.4	63.3	69.2	70.1	70.6	66.4	59.1	59.3	60.6
Número de días con lluvia	2.5	1.7	0.8	1.1	3.6	14.8	21.8	20.2	16.1	7.3	1.7	2.6	94.2

Latitud 20° 44'
Longitud 103° 24'
Altitud 1,580 m
Periodo 1969-2000

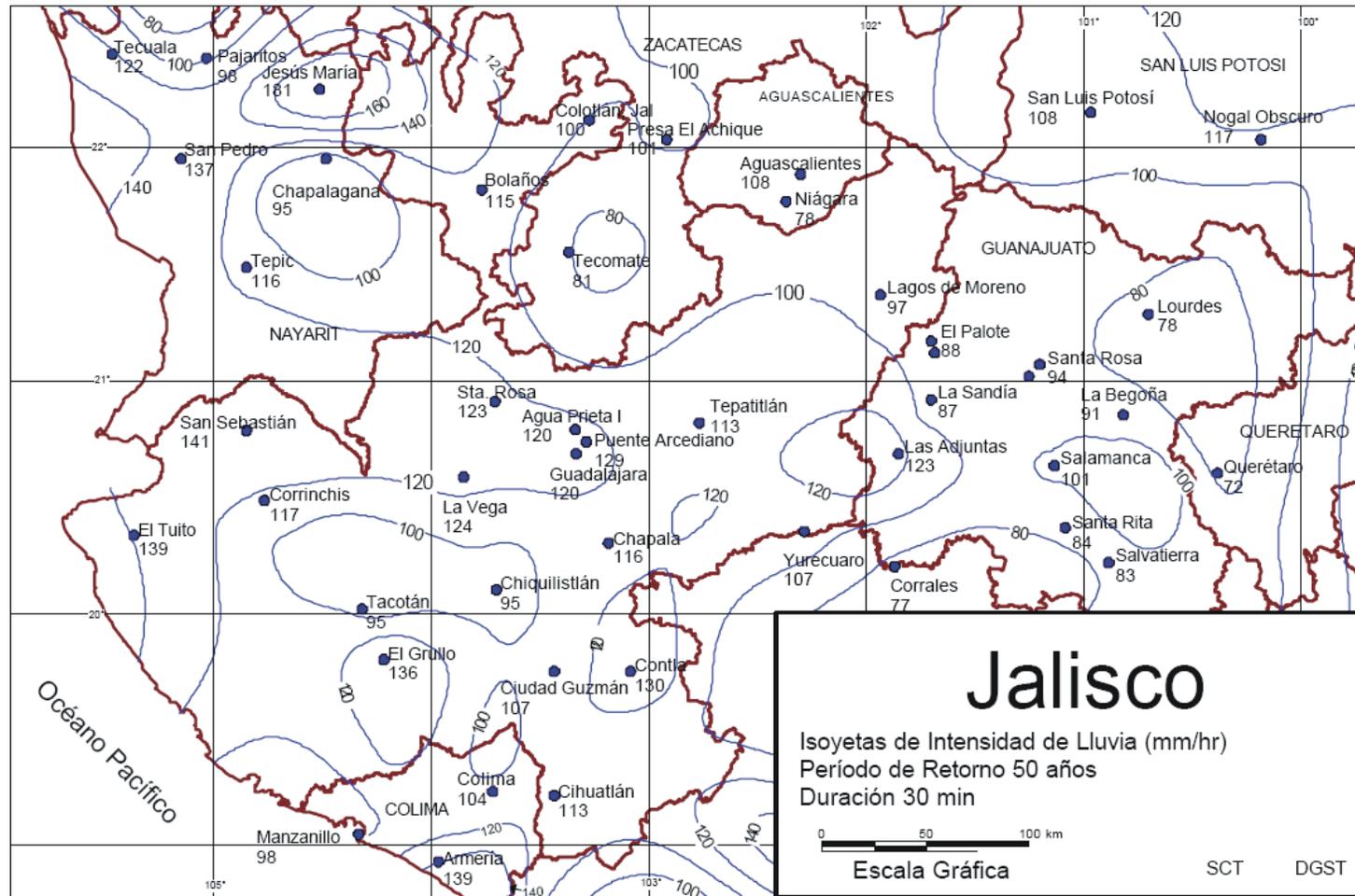


Figura No. 20. Isoyetas de Intensidad de Lluvia (mm/hr) Período de Retorno 50 años, Duración 30 minutos. (SCT, 2000)

Balance Hidrológico

Para el desarrollo del balance hidrológico, se emplea el Segundo Sistema Clasificación del Clima de C. W. Thornthwaite; la estación representativa es la de Guadalajara, por contar con datos de una estación Normal Climatológica (> 30 años consecutivos). En el cuadro de cálculo del clima, se observa que las primeras dos filas señalan la temperatura (TE) y precipitación (PR) medias mensuales y anuales (TEA, PRA); enseguida el índice de calor mensual (ICM) y la evaporación sin corregir (EV); le sigue el factor de corrección por latitud (FC) y evapotranspiración potencial (EP). En las filas siete a 10, se muestra el balance de humedad para el sitio de la estación meteorológica, señalando el movimiento de humedad (MH), la humedad almacenada (HA), las demasías de agua (DA) y deficiencias de humedad (DE); en las filas 11 a 13 se presenta la evapotranspiración real (ER), el escurrimiento superficial (ES) y la relación pluvial (RP); finalmente se obtiene la clave del clima en términos de la humedad y temperatura, siendo ésta C2SEB3'A*, la que se define como:

Clima subhúmedo lluvioso (C2), con periodo de lluvias de Junio a Octubre, en donde se precipitan 93.65 cm de lluvia que corresponden al 91.0% de la total anual (103.16 cm); con gran deficiencia de agua estival (SE), durante los meses de Enero a Mayo (33.42 cm); el mes más lluvioso es Julio con 27.64 cm y el menos lluvioso Abril con 0.42 cm. Las reservas de humedad del suelo, conforme al balance hidrológico, inician en el mes de Junio y alcanzan hasta el mes de Diciembre, por lo que se cuenta con siete meses de humedad suficiente para el uso consuntivo de las plantas, siendo suficiente para la mayoría de los cultivos de la zona y para las especies nativas, el estiaje lo manifiestan a mediados del mes de Enero hasta mediados del mes de Mayo.

Los escurrimientos superficiales, se manifiestan durante todo el temporal de lluvias (Jun-Oct) y considerando los suelos de textura franco arenosa y material geológico pumítico, el 61 % del volumen llovido se infiltra, escurriendo solo el 39%; he aquí la importancia de la subcuenca Atemajac como zona de infiltración y recarga de acuíferos.

Por su temperatura es templado cálido (B3'), con temperatura media anual de 20.81 °C; siendo el mes más caliente Mayo, con 24.4 °C y el mes más frío Enero con 16.9 °C; con baja concentración de calor en verano, siendo la oscilación térmica anual de 7.5 °C. Durante el verano y otoño las temperaturas son mayores a 8.0 °C, por lo que no hay temperaturas bajas que afecten el desarrollo y crecimiento de los cultivos; las plantas nativas están muy bien adaptadas a este régimen térmico.

Tabla No. 9. Calculo de Clima

CALCULO DE CLIMA SEGUNDO SISTEMA DE THORNTHWAITE

ESTACION: GUADALAJARA, JAL.
 LATITUD: 20 41 ' 0 "
 LONGITUD: 103 21 ' 0 "
 ALTITUD: 1583 MSNM
 PERIODO: 1967-2003

M E S E S

CONCEPTO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	CLAVE	VALOR
TE (C)	16.9	18.1	20.5	22.8	24.4	25.7	22	21.9	21.8	21.1	19.1	17.4	TEA	20.81
PR (CM)	1.79	.69	.66	.42	2.33	21.74	27.64	22.75	15.68	5.84	2.2	1.42	PRA	103.16
ICM	6.32	7.01	8.47	9.95	11.02	10.55	9.42	9.96	9.29	8.85	7.61	6.61	ICA	104.45
EV (CM)	4.82	5.64	7.51	9.58	11.19	10.47	8.82	8.73	8.64	8.02	6.38	5.15		
FC	.94	.9	1.03	1.05	1.13	1.11	1.15	1.11	1.02	1	.92	.94		
EP (CM)	4.53	5.08	7.73	10.06	12.64	11.62	10.15	9.69	8.81	8.02	5.87	4.84	EPA	99.04
MH (CM)	-1.73	0	0	0	0	10	0	0	0	-2.18	-3.67	-3.42		
HA (CM)	0	0	0	0	0	0	10	10	10	7.82	4.15	.73		
DA (CM)	0	0	0	0	0	.12	17.49	13.06	6.87	0	0	0	DAA	37.54
DE (CM)	2.02	4.39	7.07	9.64	10.31	0	0	0	0	0	0	0	DEA	33.42
ER (CM)	2.52	.69	.66	.42	2.33	11.62	10.15	9.69	8.81	8.02	5.87	4.84		
ES (CM)	0	0	0	0	0	.06	8.78	10.9	6.7	1.72	0	0		
RP	-1.61	-1.86	-1.91	-1.96	-1.82	.87	1.72	1.35	.78	-1.27	-1.63	-1.71		

CONCEPTO	FORMULA DEL CLIMA	
	CLAVE	DESCRIPCION
$IH = 100 \times DAA / EPA =$ $IA = 100 \times DEA / EPA =$ $IP = IH - 0.6 (IA) =$ $CT = 100 \times SUM (EPN) / EPA =$	37.9 % 33.7 % 17.7 % 34.7 %	CATEGORIA DE HUMEDAD REGIMEN DE HUMEDAD CATEGORIA DE TEMPERATURA REGIMEN DE TEMPERATURA
	C2 SE BS' A*	SUBHUMEDO LLUVIOSO GRAN DEFICIENCIA DE AGUA ESTIVAL TEMPLADO - CALIDO MUY BAJA CONC. DE CALOR EN VERANO

FUENTE Tópete-Angel, J. P. (1987). CALCULO DEL CLIMA 2º SST C. W. Thornthwaite 198 Est. Meteorológicas del Estado de Jalisco, Facultad de Geografía, U. De G., Jalisco, Mex.

Hidrogeología

La información presentada en este apartado fue obtenida tanto de estudios previos como por fuentes oficiales como la Comisión Estatal del Agua de Jalisco (CEA)¹¹ y el Sistema Intermunicipal de Agua Potable y Alcantarillado (SIAPA).

De acuerdo con el estudio elaborado por el SIAPA (GEOEX-SIAPA, 2003), la red de alcantarillado y abastecimiento de agua potable aportan importantes cantidades de agua al subsuelo debido a las fugas en la red de distribución. Asimismo, los numerosos pozos de absorción construidos en las últimas décadas, contribuyen con volúmenes considerables a la recarga artificial del acuífero. El agua infiltrada por este proceso proviene de agua acumulada en azoteas, patios, jardines y vialidades.

A pesar de lo anterior, el acuífero Atemajac se considera sobreexplotado de acuerdo con la información publicada por la CEA. En el estudio antes mencionado, se estima que existe una densidad de 1 a 1.5 pozos/km² con un caudal promedio de extracción del agua subterránea de 30 l/s en la zona geohidrológica de Atemajac. Debido a la complejidad y heterogeneidad de la geología regional y a la variabilidad de los espesores saturados, los rangos de transmisividad fluctúan entre de 3.81×10^{-5} a 2.0×10^{-2} m²/s.

A continuación se muestra un esquema del acuífero Atemajac con sus volúmenes de recarga y extracción.

¹¹ Antes Comisión Estatal de Agua y Saneamiento (CEAS).

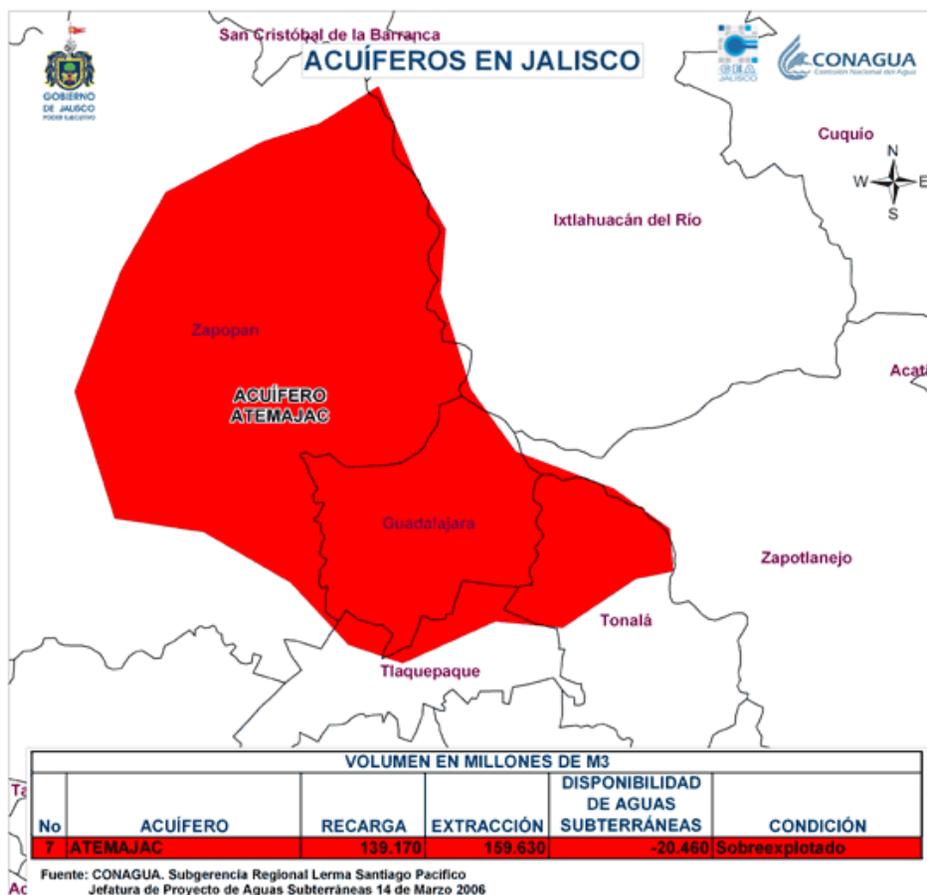


Figura No. 21. Acuífero Atemajac (CEA, 2009).

Unidades Hidroestratigráficas

Se distinguen dos unidades hidroestratigráficas que representan fuentes de abastecimiento de agua potable para la Zona Metropolitana de Guadalajara:

Un acuífero profundo, con niveles piezométricos registrados entre 35 y 150 m de profundidad aproximados. Se considera semiconfinado y se encuentra emplazado en rocas del grupo Guadalajara superior del período Terciario, época Plioceno (4.71 - 1.39 Ma).¹²

Un acuífero somero en condiciones libres (bajo la presión atmosférica) con alta conductividad hidráulica y profundidades que varían entre 1 a 15 m de profundidad dependiendo de las grandes variaciones topográficas del área. El acuífero está

¹² Este grupo está formado por flujos de ignimbrita, basalto y domos riolíticos con pocas brechas, material piroclástico y escoria. Incluye las unidades geológicas: Ignimbrita San Gaspar (4.71 Ma), Basalto Guadalajara (4.7 – 3.7 Ma), Ignimbrita Guadalajara (3.44 – 3.23 Ma) y los domos riolíticos del Grupo Chicharrón (3.07 – 1.39 Ma).

alojado en los materiales piroclásticos porosos de la Toba Tala¹³. El acuífero alimenta los manantiales aprovechados en Colomos y se recarga por la infiltración del agua de lluvia en el Bajío de la Arena, principalmente.

La recarga pluvial se favorece por la mediana a alta permeabilidad del paquete superficial de tobas¹⁴ (depósitos de cenizas volcánicas conocidas localmente como jal) que aflora en la zona de recarga. El acuífero somero se aloja principalmente en depósitos de tobas con intercalaciones de espesores delgados de suelos enterrados y niveles de sedimentos redepositados por acción fluvial. Los depósitos aluviales alojan también importantes cuerpos de agua subterránea en los sectores bajos, representando el subálveo de los arroyos temporales, importantes zonas de recarga y conducción.

El acuífero somero recarga lentamente al acuífero profundo desde su sección inferior. En el área de Colomos tiende a descargar en el lecho sedimentario (subálveo) de los cursos de agua locales (incluyendo a las subcuencas de los arroyos La Campana y Atemajac). En las adyacencias de estas áreas de descarga se registra manantialismo focalizado en puntos topográficamente bajos donde se interseca con el nivel freático poco profundo.

Modelo Conceptual de Flujo

El escurrimiento superficial de La Primavera descarga e infiltra sus aportaciones hacia la cuenca El Bajío de la Arena. Cuenca cerrada (endorreica) donde se localiza la parte topográficamente más baja, en su mitad norte. Por tanto, el escurrimiento naturalmente se dirige hacia la mitad norte, sector que coincide con tres rasgos geológicos mayores característicos, ellos son:

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

La Toba Tala se ha interpretado con una conductibilidad hidráulica y capacidad de almacenamiento muy alta. Los escurrimientos y las aportaciones directas de lluvia se infiltran rápidamente a través de la Toba Tala y la relativamente delgada

¹³ Esta unidad consiste de una toba silíceo o material piroclástico, integrado por tobas de caída libre, lapilli y flujos de ceniza con abundantes fragmentos de pumicita, vidrio volcánico y ocasionales bloques. Localmente presenta soldamiento y procesos de sedimentación.

¹⁴ La Toba Tala es del período Cuaternario, específicamente de la época Pleistoceno (0.095 Ma), tiene espesores variables, encontrándose los más profundos, hasta de 300 m cerca del borde de la Caldera de la Primavera y disminuyendo hasta la cota 0 hacia el río Santiago. Espesores hasta de 100 m se presentan en la porción noroccidental, en el valle de Tesistán.

cubierta de materiales fluvio-aluviales sobreyacentes hasta alcanzar el nivel freático local, el cual está presente a profundidades de ~ 90 m. El movimiento lateral de agua subterránea ocurre a través de la porción saturada basal la Toba Tala y las riolitas superiores del grupo Guadalajara Inferior. Ambas unidades presentan un espesor marcadamente más grueso al norte de la cuenca Bajío de la Arena.

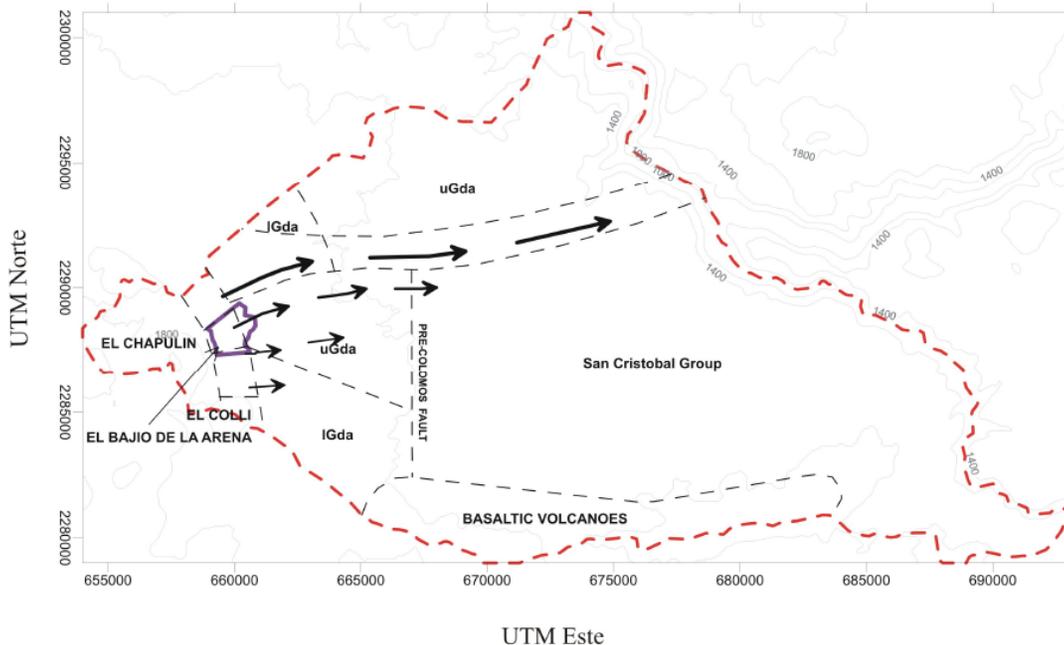


Figura No. 22. Modelo conceptual de flujo subterráneo. (Clifton Associates, 2003).

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.

Los basaltos del grupo San Cristóbal se han estimado con la conductividad hidráulica más baja de todas las unidades estratigráficas mayores. Esta unidad subyace a la Toba Tala y una delgada secuencia adyacente de rocas félsicas que ocurren en la parte sur de la cuenca. La presencia de basaltos con baja permeabilidad adyacente a la parte sur del Bajío de la Arena y la alta permeabilidad de las riolitas adyacentes a la parte norte de la cuenca, favorece el flujo del agua subterránea a través de las rocas volcánicas félsicas hacia la zona tectónica del norte.

La gradiente hidráulico regional se estima subhorizontal del orden de 0.008 m/min y negativo hacia el este (Río Santiago). La erosión preferencial asociada

con la estructura Colomos sobre las laderas del cañón del Río Grande de Santiago, han permitido el desarrollo del tributario San Juan de Dios.

Los flujos preferenciales de agua subterránea y los escurrimientos superficiales a lo largo de la estructura Colomos, ha propiciado el desarrollo de las barrancas de los Colomos. La descarga de aguas subterráneas ocurre cerca del límite este de la Toba Tala, en la zona de contacto con las rocas subyacentes del grupo Guadalajara.

Dirección de Movimiento de Flujo Subterráneo

Las fronteras impermeables al flujo subterráneo están constituidas al Norte por cerros formados de rocas volcánicas del grupo 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).

Se estima que la mayor parte del flujo de agua subterránea regional ocurre en general de Oeste a Este, pasando los mayores volúmenes precisamente por la estructura Colomos. Ésta descarga está asociada principalmente a la zona de contacto entre la Toba Tala y el Complejo Volcánico Basal subyacente. Situación debida a factores topográfico – estructurales, pero principalmente al marcado cambio en las características hidráulicas de las unidades hidroestratigráficas.

La principal fuente de recarga es el agua de lluvia y la de descarga es la extracción por bombeo. El movimiento del agua subterránea que antes de la explotación por bombeo ocurría naturalmente de oeste a este, se ha modificado, formando notables e irregulares conos de abatimiento en las subcuencas.

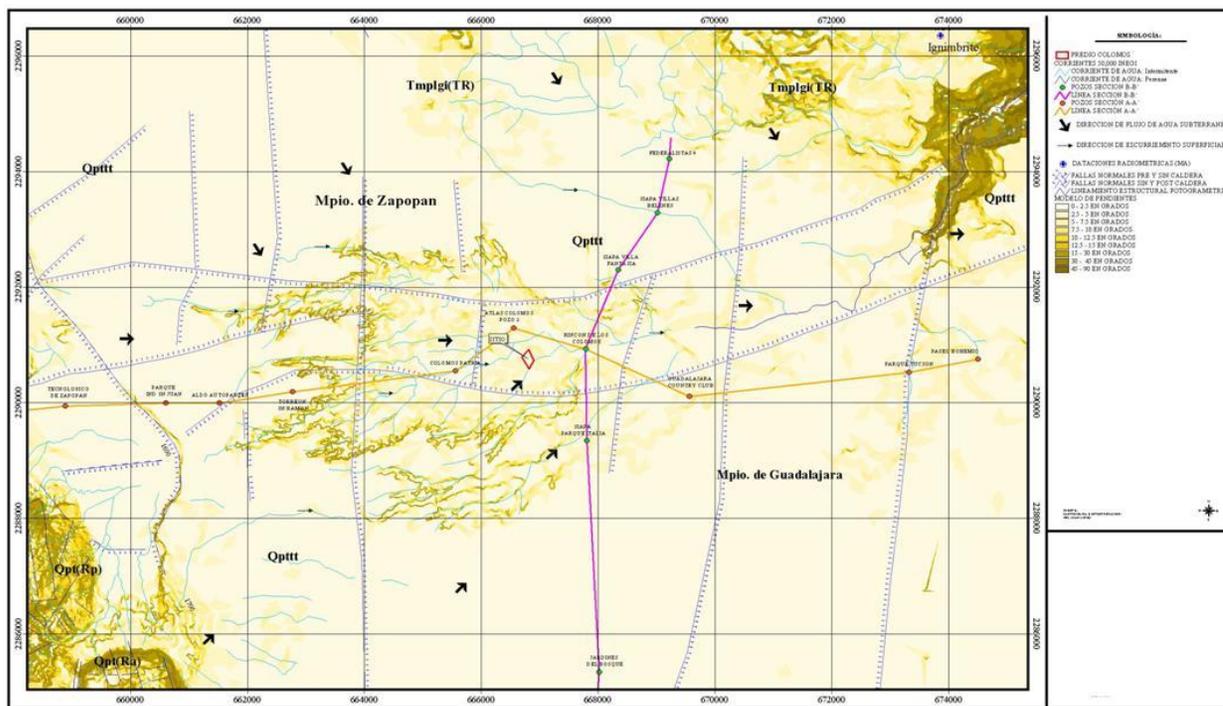


Figura No. 23. Dirección del flujo subterráneo sobre el modelo de pendientes.

Niveles Piezométricos y Gradiente Hidráulico

La evolución de los niveles piezométricos presenta un nivel estático actual cercano a los 1575 msnm, muy cerca de la base del CVLP y ~1500 msnm antes de la descarga al río Santiago, nivel que inicia con un gradiente hidráulico de ~1% al poniente de Los Colomos. Este gradiente que se incrementa a ~2% cerca del Río Santiago, nivel que presenta 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 flujo⁽¹⁵⁾.

El gradiente hidráulico y las configuraciones piezométricas en las últimas décadas han sufrido variaciones significativamente en su comportamiento debido a la sobreexplotación del acuífero, motivado por el continuo crecimiento de la mancha urbana y el consecuente incremento de las actividades antropogénicas. Durante el período de 1996-2003, en la subcuenca de Atemajac se registraron abatimientos promedio de - 2.21 m/año.

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.

Sin embargo, la zona de El Bajío se localiza al Oeste de la zona metropolitana de Guadalajara, colindante con la sierra de La Primavera, conformada por dos

¹⁵ Estudio Hidrogeológico para el predio denominado La coronilla en Zapopan, Jalisco, 2004. Documento inédito.

subcuencas denominadas Bajío de la Arena y Rancho Contento aportan caudales considerables al acuífero de Atemajac.

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 (18.53 km²), incrementan las posibilidades de implementar sistemas de la recarga artificial en estas áreas que ayudarían a mejorar las condiciones de sobreexplotación de los acuíferos y alcanzar una gestión más racional del recurso.

Sistema de Galerías de Los Colomos

Son galerías filtrantes y manantiales que datan de finales del siglo XIX, los cuales continúan aportando caudales permanentes cercanos a los 200 lps, caudales que tradicionalmente se han venido utilizando para abastecimiento público urbano.

Las aportaciones de agua más importantes son La Campana, El Chochocate, El Barreno y Rosa Amarilla, el agua es conducida a través de galerías subterráneas hasta descargar a dos tanques almacenadores con capacidad de 5,460 m³.

En los tanques están instalados cuatro equipos de bombeo: tres son de 12" de diámetro y el otro de 10", equipos que elevan el agua a 54 m por medio de una tubería de 20" de diámetro, para después continuar por gravedad a través de un acueducto hasta el tanque distribuidor denominado Pedro de Gante.

Descripción de los Sistemas de Galerías Filtrantes

Existen dos sistemas principales de galerías de captación del agua subterránea somera en Los Colomos. Estos sistemas 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 Av. Patria y el agua subterránea que fluye a través los sedimentos del cauce (subálveo) del arroyo Chochocate¹⁶. Ambas redes de captación y conducción descargan sus aguas en los estanques de Colomos.

El primer sistema (descrito en este reporte como Sistema de Galerías 1 (SG1):

- capta el agua de los manantiales localizados en el lindero con Av. Patria,
- las conduce hasta la Torre-Registro de nivelación para el cruce subsuperficial del arroyo Chochocate,

¹⁶ También conocido como arroyo El Chocolate

- capta el agua del subálveo del arroyo Chochocate en su cruce desde la Torre – Registro hacia los estanques y las conduce hasta los estanques de acumulación de Los Colomos con un sentido general Este – Oeste.

El segundo sistema (descrito en este reporte como Sistema de Galerías 2 (SG2):

- capta el agua del subálveo del arroyo Chochocate en una extensión aproximada de 200 m hasta cerca de su desembocadura en el arroyo Atemajac, y
- capta y conduce agua subterránea con un tendido general de rumbo NO-SE y luego hacia el sur, hasta los estanques de acumulación.

Censo de Aprovechamientos

En la cuenca hidrológica de Atemajac existen aproximadamente 1,220 obras de abastecimiento, de los cuales 784 son pozos y 423 norias.

En la tabla siguiente se presentan 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).

Tabla No. 10. Aprovechamientos existentes en la subcuenca Atemajac (2003).

POZOS DENTRO DE LA SUBCUENCA DE ATEMAJAC						
NÚM. ID	X	Y	Z	MUNICIPIO	TIPO*	ACUÍFERO
1	669092	2289903		GUADALAJARA	N	ATEMAJAC
7	665231	2294109		ZAPOPAN	N	ATEMAJAC
26	665164	2289096		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
27	672228	2291688		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
34	668800	2290147		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
39	660924	2287579		ZAPOPAN	N	ATEMAJAC
42	668185	2293769	1600	ZAPOPAN	N	ATEMAJAC
77	668650	2290606		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
93	671717	2292319		ZAPOPAN	N	ATEMAJAC
105	668162	2290263	1600	ZAPOPAN	N	ATEMAJAC
135	668331	2290695		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
137	663161	2289753		GUADALAJARA	P	ATEMAJAC
138	662081	2287682		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
184	668711	2290392		GUADALAJARA	N	ATEMAJAC
217	666989	2288929		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
218	666935	2288467		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
219	666180	2288737		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
220	664939	2288386		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
279	663735	2290189		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
300	662055	2290449	1650	ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
325	663217	2289907		GUADALAJARA	P	ATEMAJAC
327	669769	2291571		ZAPOPAN	N	ATEMAJAC
328	669245	2291873		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
343	665874	2287565		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
350	660511	2291480		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
352	664822	2291491	1582	ZAPOPAN	N	ATEMAJAC

365	669241	2292365		ZAPOPAN	N	ATEMAJAC
378	662107	2287959		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
403	668084	2289340		GUADALAJARA	P	ATEMAJAC
408	664509	2288044		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
412	669073	2288919		GUADALAJARA	P	ATEMAJAC
413	669070	2289134		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
424	666202	2289475		GUADALAJARA	P	ATEMAJAC
425	666635	2289633		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
426	666490	2289632		GUADALAJARA	P	ATEMAJAC
427	666202	2289475		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
428	666199	2289782		GUADALAJARA	P	ATEMAJAC
436	667041	2289514		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
437	666554	2289017		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
438	665824	2289625		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
443	666935	2288467	1591	ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
444	666699	2288926	1580	ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
445	666068	2288397	1608	ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
446	666531	2288371		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
447	666467	2289016		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
448	665835	2288549		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
449	665808	2288364		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
462	664250	2290778		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
463	664248	2290993		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
470	666241	2288430		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
491	668760	2291192		ZAPOPAN	N	ATEMAJAC
494	672321	2291074	1520	GUADALAJARA	N	ATEMAJAC
498	667486	2288381	1593	GUADALAJARA	P	ATEMAJAC
548	669422	2291598		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
549	671062	2292537		ZAPOPAN	N	ATEMAJAC
556	665851	2289841	1586	ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
607	668754	2291837	1570	ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
611	668932	2291439		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
615	665231	2294109		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
622	667752	2290752		GUADALAJARA	P	ATEMAJAC
643	661391	2293272		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
663	671390	2291526	1560	ZAPOPAN	N	ATEMAJAC
668	667318	2290747		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
671	667279	2291731		ZAPOPAN	N	ATEMAJAC
672	667307	2291823	1540	ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
675	664365	2290902		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
676	661162	2292055		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
682	669446	2289200	1560	GUADALAJARA	P	ATEMAJAC
689	666556	2291693		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
719	665982	2288335		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
727	669450	2288769		GUADALAJARA	P	ATEMAJAC
745	662520	2290177	1650	ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
757	669016	2291656	1540	ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
765	669202	2293318		ZAPOPAN	N	ATEMAJAC
769	666229	2289629		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
770	666206	2289045	1595	ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
775	665967	2289842	1598	ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
776	665851	2289841	1597	ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
779	666180	2288737	1610	ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
784	669393	2288738		GUADALAJARA	P	ATEMAJAC
824	669222	2291319	1540	ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
828	671956	2292762	1505	ZAPOPAN	N	ATEMAJAC
829	671927	2292792	1503	ZAPOPAN	N	ATEMAJAC
830	669393	2288738		GUADALAJARA	N	ATEMAJAC
843	668795	2290608	1535	ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
844	668766	2290669	1533	ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
848	661345	2291980		GUADALAJARA	P	ATEMAJAC
849	660825	2291975		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
861	665990	2293409		ZAPOPAN	N	ATEMAJAC
876	669665	2290463		GUADALAJARA	N	ATEMAJAC
877	669665	2290463		GUADALAJARA	N	ATEMAJAC
878	668736	2290761		GUADALAJARA	N	ATEMAJAC
879	669752	2290402		GUADALAJARA	P	ATEMAJAC
880	669752	2290402		GUADALAJARA	P	ATEMAJAC
882	669364	2291567	1560	ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
902	665967	2289842		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
903	665851	2289841		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
929	669770	2291540		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC

930	669741	2291509		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
994	671698	2292513		ZAPOPAN	N	ATEMAJAC
1046	669240	2289505		GUADALAJARA	N	ATEMAJAC
1051	669247	2291750		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
1054	661422	2292996		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
1056	662751	2290210		ZAPOPAN	N	ATEMAJAC
1068	661719	2292230		ZAPOPAN	N	ATEMAJAC
1092	667419	2292224		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
1131	661221	2292932		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
1157	667373	2290993		ZAPOPAN	N	ATEMAJAC
1187	669414	2292367		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
1234	667097	2292621		ZAPOPAN	N	ATEMAJAC
1236	671956	2292962		ZAPOPAN	N	ATEMAJAC
1249	659846	2291412		ZAPOPAN	N	ATEMAJAC
1250	667198	2291176		ZAPOPAN	N	ATEMAJAC
1265	661485	2289491		ZAPOPAN	N	ATEMAJAC
1270	663260	2294459		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
1310	671230	2293093		ZAPOPAN	N	ATEMAJAC
1326	659903	2291567		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
1402	666614	2291755		ZAPOPAN	N	ATEMAJAC
1415	667225	2288409		GUADALAJARA	P	ATEMAJAC
1458	660769	2291698		ZAPOPAN	N	ATEMAJAC
1481	668584	2291498		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
1583	662165	2288021		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
1588	668656	2290022		GUADALAJARA	N	ATEMAJAC
1600	667111	2288315		ZAPOPAN	N	ATEMAJAC
1617	660404	2290587		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
1658	669364	2291567		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
1659	661345	2291980		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
1660	662523	2289900		GUADALAJARA	P	ATEMAJAC
1662	660669	2290229		GUADALAJARA	P	ATEMAJAC
1663	660669	2290129		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
1674	668932	2291439		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
1675	665609	2288024		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
1676	665435	2288022		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
1721	671333	2291494		ZAPOPAN	N	ATEMAJAC
1724	667779	2290967	1580	ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
1751	664807	2293059		ZAPOPAN	N	ATEMAJAC
1755	669697	2293046		ZAPOPAN	N	ATEMAJAC
1781	660392	2291817		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
1782	660399	2291141		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
1819	666832	2290189		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
1826	670420	2292992		GUADALAJARA	P	ATEMAJAC
1827	670420	2292992		GUADALAJARA	P	ATEMAJAC
1843	671869	2292761		ZAPOPAN	N	ATEMAJAC
1845	669770	2291540		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
1846	669741	2291509		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
1878	671404	2290204	1532	GUADALAJARA	P	ATEMAJAC
1887	668429	2289559	1549	GUADALAJARA	P	ATEMAJAC
1892	672214	2290212	1527	GUADALAJARA	P	ATEMAJAC
1912	664464	2289673	1600	ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
1954	667752	2290751	1540	ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
1955	667752	2290751		GUADALAJARA	N	ATEMAJAC
1973	668930	2291593	1550	ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
1979	664122	2289086		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
1982	664269	2288872		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
1984	666590	2288310		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
2019	672188	2292764		ZAPOPAN	N	ATEMAJAC
2021	665497	2287623		ZAPOPAN	P	ATEMAJAC
2024	671434	2290081	1533	GUADALAJARA	P	ATEMAJAC

*P=pozo
N=noria

En la figura siguiente se puede observar la ubicación y distribución espacial de los aprovechamientos dentro de la subcuenca de estudio.

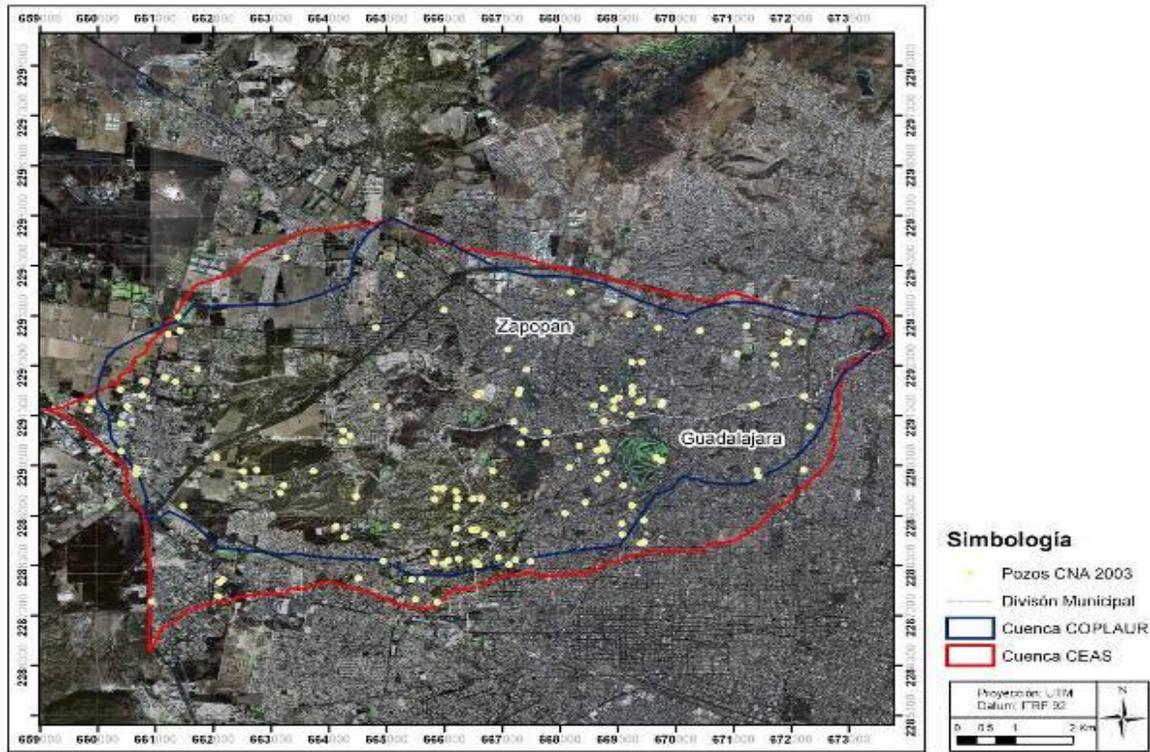


Figura No. 24. Aprovechamientos registrados en la CNA dentro de la subcuenca del arroyo Atemajac.

Los pozos y norias de abastecimiento censados en el valle de Atemajac – Tesistán, 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 lps, con predominio de gastos superiores a 15 lps.

XII. HIDROGEOQUÍMICA Y CALIDAD DEL AGUA

Los acuíferos en su paso por el subsuelo van cambiando sus propiedades fisicoquímicas, cambios que definen el tipo de acuífero en relación con las características de los materiales geológicos por donde transita o se almacena el agua.

Las familias de agua manifiestan los iones dominantes y se agrupan realizando la modelación espacial para visualizar geográficamente su relación con la geología y con el desarrollo de la mancha urbana.

La calidad del agua se determina de acuerdo al uso que se le va a dar. Para consumo humano (uso público urbano) la Norma Oficial Mexicana NOM-127SSA1-1994 es la que determina los elementos, compuestos y límites máximos permitidos. Los parámetros que contempla la norma son: pH, Conductividad, Temperatura, Sólidos Totales Disueltos (STD), Cloruros, Bicarbonatos, Fluoruros, Nitratos, Dureza Total, Alcalinidad Total, Sulfatos, Calcio, Cadmio, Boro, Arsénico, Magnesio, Manganeseo, Sodio, Silicatos, Hierro, Plomo, Cromo Total y Coliformes Totales.

En la información existente se encontraron datos de pH, STD y familias de agua que se muestran a continuación.

El potencial hidrógeno (pH) mostró valores de rango ligeramente ácido al suroeste de la ZMG, específicamente en las confluencias de la Av. Mariano Otero y Periférico, además, por el sector sur del Cerro del Colli, se obtuvieron valores promedio de pH de 6.30, valor ubicado dos centésimas abajo del límite permitido por la Norma. Este valor realmente no es significativo y se interpreta como la expresión geoquímica de las rocas ácidas que predominan en esa zona.

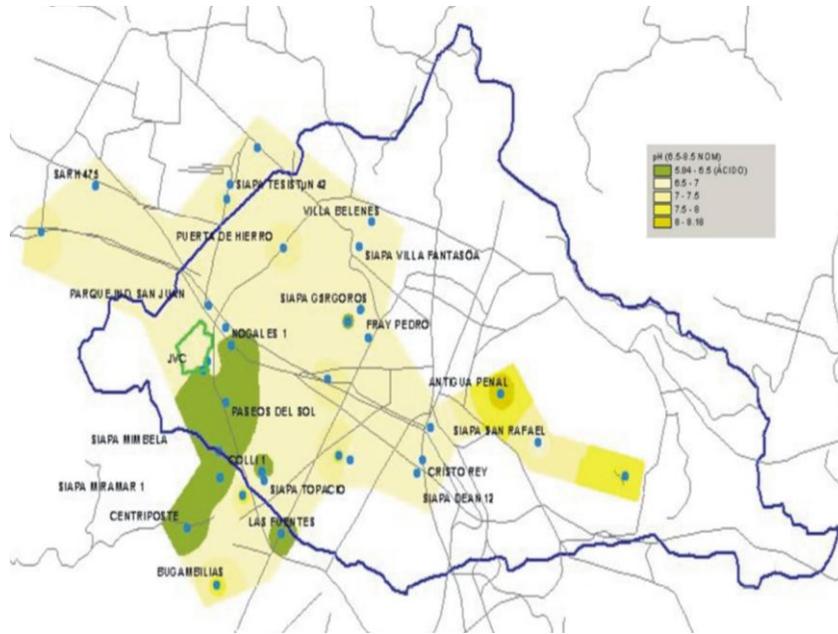


Figura No. 25. Configuración Hidrogeoquímica regional del pH. (Clifton Associates, 2003).

En relación a los sólidos totales disueltos, la Norma Oficial Mexicana fija el valor de 1,000 ppm (partes por millón) como límite máximo permitido para consumo humano. Las anomalías en sólidos totales disueltos se ubicaron congruentemente al igual que el pH, en el sector sur del Cerro El Colli y su alteración responde como se mencionó anteriormente, a la composición de las rocas félsicas que alojan el agua subterránea.

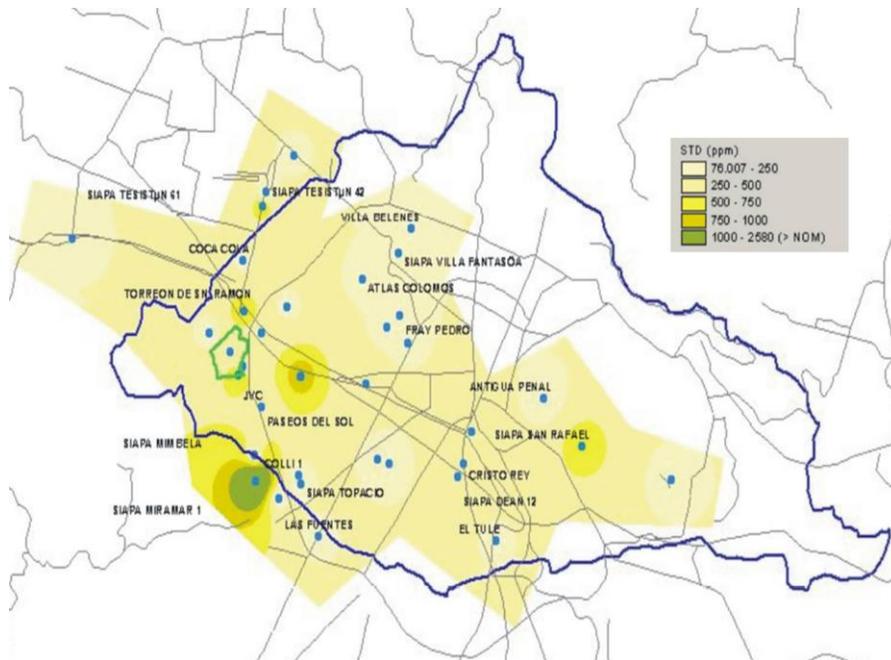


Figura No. 26. Configuración Hidrogeoquímica regional de STD. (Clifton Associates, 2003).

El agua subterránea con bajo contenido de STD tiene proporciones altas de sodio (Na), lo cual indica que la mayoría de los iones disueltos provienen de la precipitación pluvial. Agua que se cataloga de reciente infiltración y proveniente de lluvia.

Las familias de agua se pueden definir en tres grupos globales, cada una con sus diferentes tendencias secundarias.

Tabla No. 11. Grupos globales de familias de agua.

Grupo global de familia	Tendencia secundaria
Ca (Cálcica)	Ca-Cl
	Ca-Mg
Mg (Magnésica)	Mg-Ca
Na (Sódica)	Na-Ca
	Na-HCO ₃
	Na-SO ₄

El grupo de la familia cálcica obedece a la presencia de las rocas con contenido anormal de carbonato de calcio (CaCO₃), compuesto que posiblemente es de origen secundario y presente con más persistencia hacia la parte oriental de la ZMG.

El segundo grupo de familias corresponde a las magnésicas y se origina por el predominio de rocas volcánicas básicas ricas en minerales ferromagnesianos.

El tercer grupo más abundante de familias corresponde a las sódicas, clasificación que 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.

Por los tipos de rocas volcánicas que predominan en la región, los elementos de mayor abundancia son el Sodio, Calcio, Magnesio y Potasio. El modelo espacial de distribución de las familias de agua justifica y valida la caracterización geológica de la zona y permite establecer el modelo de evolución hidrogeoquímica.

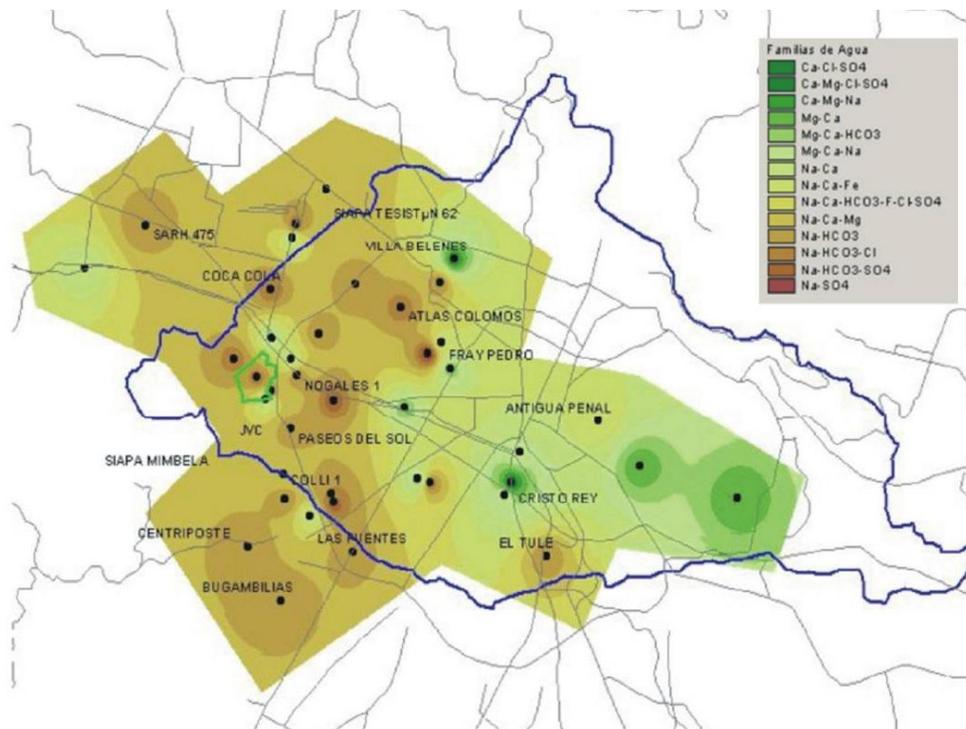


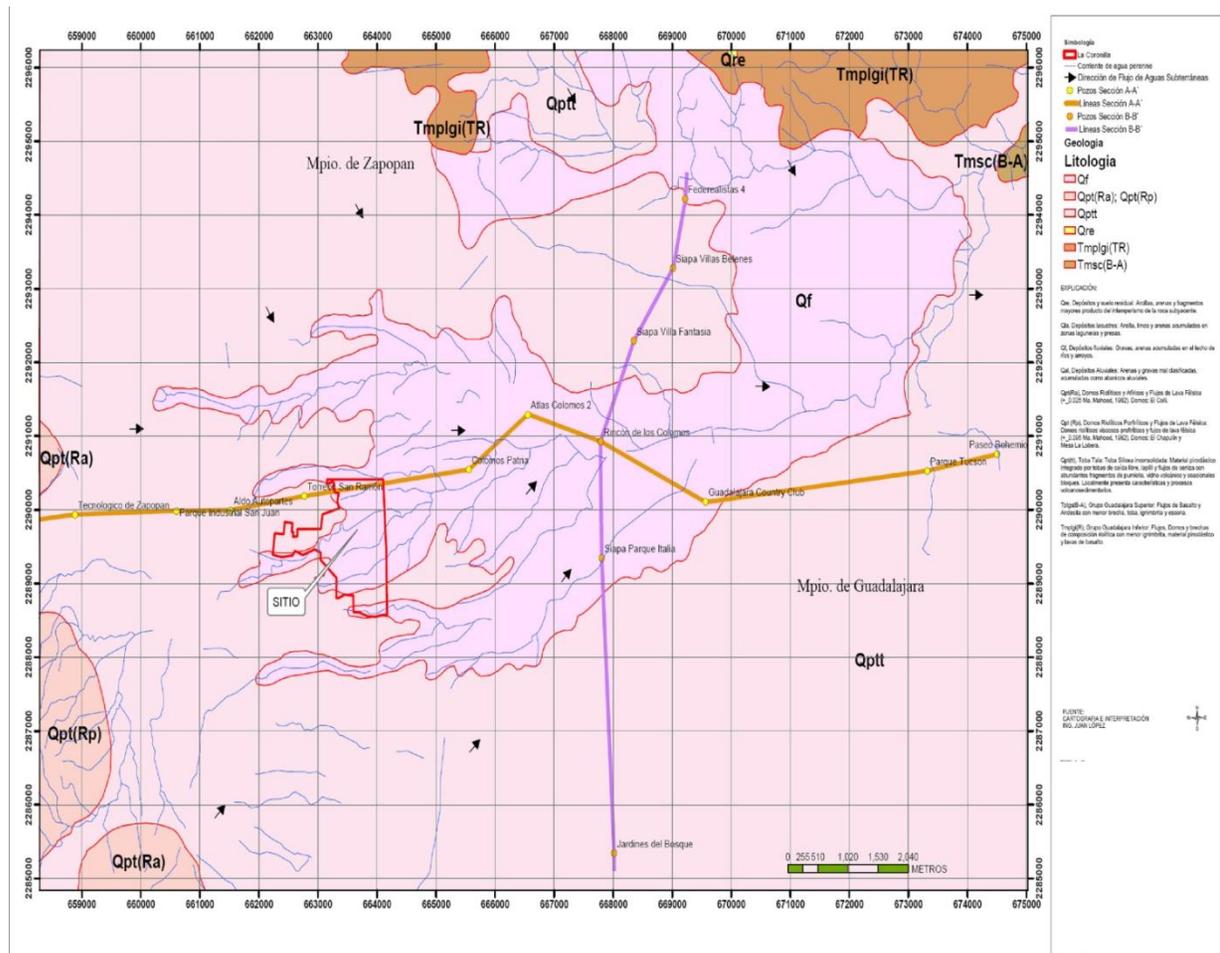
Figura No. 27. Configuración hidrogeoquímica de las familias de agua. (Clifton Associates, 2003).

Como se puede observar en la figura, la familia imperante en la zona de estudio es sódica.

XIII. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA RELEVANTES PARA LA SUBCUENCA DEL ARROYO ATEMAJAC

Condiciones Geológicas Relevantes

En estudios anteriores específicamente de la parte noroeste y suroeste de las cañadas de Los Colomos, se han diferenciado tres unidades litológicas de características particulares, conformando los depósitos superiores de la Toba Tala reconocida regionalmente y dos unidades aluvionales de depositación reciente alojadas en los sectores topográficamente menos elevados. Estos depósitos, al igual que los suelos superficiales, están sufriendo intensos procesos de erosión. Los sedimentos resultantes de baja densidad por su composición mayoritariamente pumítica - son redepositados en sectores de cambio de pendiente aguas abajo del área de estudio, dentro de la subcuenca del arroyo Atemajac.



Unidades Litológicas Superiores Distintivas de la Toba Tala

ULS A

Unidad piroclástica de caída libre, muy deleznable y de alta permeabilidad, constituida principalmente por fragmentos porosos de lapilli de hasta 15 cm de diámetro, conjunto empacado en ceniza volcánica, materiales dispuestos en capas sub-horizontales de estratificación delgada. Los fragmentos exhiben formas angulosas y básicamente son de composición pumicítica, con menor proporción de vidrio volcánico (obsidiana) y otros fragmentos de riolita. Las capas sub-horizontales ordinariamente presentan una coloración blanquecina con tonalidades rojizas paralelas a la estratificación debido al aporte de óxidos de hierro por intemperismo y edafización posterior a su depositación. Esta unidad alcanza un espesor de hasta 12 m.

ULS B

Unidad volcano-sedimentaria integrada por una alternancia de capas sub-horizontales de sedimentos limo-arcillosos de baja permeabilidad depositados en un ambiente subaéreo, sedimentos que presentan intercalaciones de facies lagunares de baja energía, facies aluviales y horizontes con materiales piroclásticos de caída libre que muestran poco retrabajo, estos últimos constituidos básicamente por lapilli y ceniza volcánica, ambos de composición predominantemente pumicítica. La unidad ocasionalmente exhibe fragmentos mayores de hasta 10 cm de diámetro.

Los horizontes limo-arcillosos presentan un contenido variable de arena fina, tonalidades café-rojizas y grisáceas, óxidos e hidróxidos de hierro y una estratificación delgada a laminar; capas que presentan espesores milimétricos a decimétricos. Los materiales piroclásticos se observan en capas con espesores decimétricos a métricos. En las facies fluvio-aluviales intercaladas es común observar estratificación cruzada. Esta unidad presenta espesores de hasta 10.0 m en algunas zonas.

Una característica distintiva de esta unidad es la presencia constante de fisuras o grietas multidireccionales con espesores centimétricos, las cuales normalmente están rellenas por material degradado pero más duro que forma “costras” (“duricostras”) semi-impermeables y resistentes a la erosión, las cuales llegan a controlar la evolución de la morfología del paisaje y reducen los efectos de la erosión fluvial retrocedente.

Otro rasgo distintivo de esta unidad es la presencia constante de filtraciones y escurrimientos sub-superficiales ligados a los horizontes semi-impermeables limo-arcillosos y/o “costras” de material cementado de baja permeabilidad y/o en las zonas de contacto con la unidad litológica superior o inferior.

ULS C

Unidad piroclástica de caída libre integrada principalmente por ceniza volcánica, la cual incluye fragmentos volcánicos heterogéneos tipo lapilli de composición riolítica, pumicítica y vidrio volcánico.

La unidad en general presenta un arreglo textural caótico indicativo de una actividad volcánica continua e intensa, exhibiendo locales procesos de sedimentación aluvio-lagunar y de diagénesis diferencial. La coloración de la unidad es blanco-grisácea, con tonalidades de color beige. Esta unidad presenta exposiciones parciales al suroeste de Los Colomos, por lo que se desconoce su espesor real. Sin embargo en las zonas topográficamente más bajas, se han identificado afloramientos con espesores de hasta 8.0 m.

B. Condiciones Geomorfológicas Relevantes

El principal rasgo geomorfológico local de importancia es el sistema de cañadas denominadas Los Colomos, el cual inicia inmediatamente al oriente de la cuenca colapsada del Bajío de La Arena. Este sistema que está bien desarrollado por tributarios subparalelos que aparecen entre las elevaciones 1,530 msnm y 1,650 msnm. Estas orientaciones subparalelas del drenaje sugieren un posible control estructural del basamento (y por ende de la topografía) sobre el desarrollo de un antiguo paisaje cubierto por los piroclastos de los últimos eventos del Complejo Volcánico La Primavera (CVLP) y que actualmente se encuentra en proceso de reactivación.

El intenso proceso erosivo que conformó el particular relieve de valles y cañadas subparalelas es favorecido por la alta erosividad de las unidades aflorantes y su patrón de avance es controlado por la posición de los antiguos paleocanales.

La impermeabilización por urbanización de importantes áreas del sistema y la rectificación de cauces, está acelerando la profundización local de cauces y sus redes de drenaje en distintos sectores de las nanocuenas.

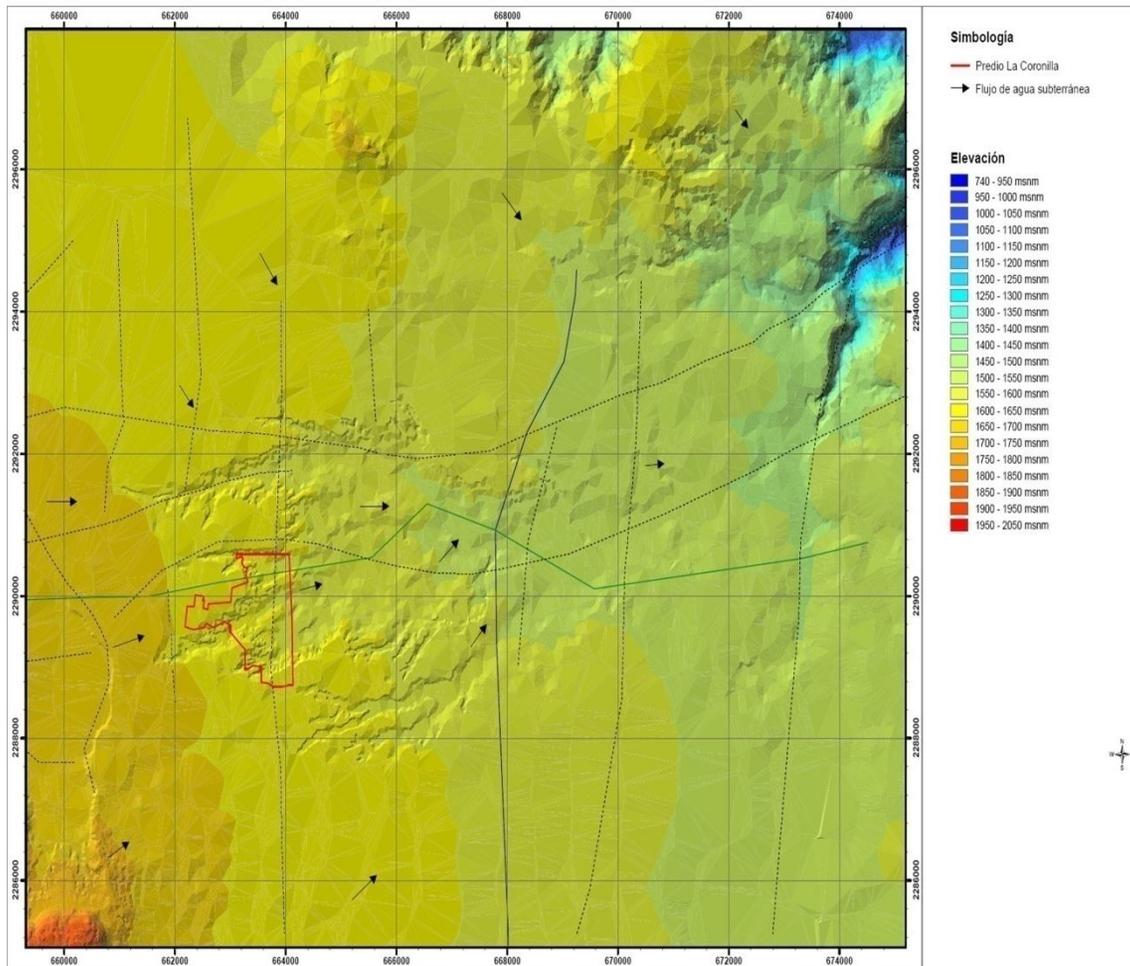


Figura No. 29. Modelo digital de elevación y flujo de agua subterránea dentro de la subcuenca de Atemajac.

En los estudios anteriores de la parte suroeste de Los Colomos antes mencionados, se ha encontrado que la erosión hídrica representa el principal factor modelador del paisaje y de abundantes microtopografías (principalmente cárcavas y oquedades). Las distintas unidades litológicas de la Toba Tala identificadas y descritas presentan controles estructurales diferenciales sobre los procesos erosivos que se explican a continuación.

Controles Estructurales al Suroeste de Los Colomos

ULS A

Es fácilmente disgregable y a pesar del arreglo granulométrico o textura intergranular que presenta, cualquier modificación de la línea de base de erosión local (orden de decenas de centímetros) acelera los procesos de erosión regresiva y produce cambios notorios en el perfil de los microescurrimientos superficiales. El proceso de socavamiento en la formación de cárcavas es intenso y es controlado en el

relieve original sólo por la escasa vegetación de pastos. La redepositación del material lapíllico rico en pómez se produce en los sectores más bajos (fondo de valles), generando volúmenes relevantes en la zona más baja que pueden ser retransportados posteriormente agua abajo.

En la temporada de lluvias los procesos de erosión/depositación son muy intensos sobre los materiales expuestos por cualquier movimiento de tierras y sobre rellenos artificiales compuestos por piroclastos de la Unidad Litológica Superior 1.

Los procesos de cárcavas y erosión de base de talud en los sectores con exposición de la Unidad Litológica Superior 2, están temporal y estructuralmente controlados por la presencia de niveles de “duricostras” y paleosuelos diagenizados. La denudación de los espesores areno-limosos y el retroceso de resaltos resultantes de cambios en los niveles de base de erosión local producen microtopografías muy variadas que pueden ser parcialmente estabilizadas por la formación de suelos.

Los procesos de cárcavas y erosión de base de talud en los sectores con la Unidad Litológica Superior 2 aflorante, son controlados por la presencia de niveles de “duricostras” y de paleosuelos diagenizados. El control estructural es temporal. La remoción de vegetación y el avance del retroceso de resaltos resultantes de cambios en los niveles de base de erosión local (nanorredes de drenaje) producen microtopografías variadas en la temporada de lluvias. Estas microtopografías controlan los patrones de desarrollo de procesos de carcavamiento importantes.

ULS B

Se han registrado discontinuidades por alivio en los laterales de los valles y las fisuras resultantes de variaciones en las fuerzas intergranulares suelen ser ocupadas por raíces arbóreas. Estas discontinuidades representan planos preferenciales de flujo del agua infiltrada desde superficie, y contribuye a la acumulación de arcillas y coloides.

En las adyacencias a los taludes de mayor pendiente, la variación de las fuerzas intergranulares por saturación superficial y la presencia de estas discontinuidades -combinada con el socavamiento basal de taludes principales por erosión hídrica- favorece la caída en bloques de rocas vulcanosedimentarias y los asentamientos. Estas discontinuidades deben ser caracterizadas en detalle durante cualquier proceso que implique movimiento de tierra. En algunos de los sectores más elevados de los cursos de agua de primer orden, son frecuentes los procesos de caída de sedimentos, rocas sedimentarias aflorantes y la presencia de frentes prácticamente verticales de hasta 40.0 m de altura.

En determinados frentes, esta elevada tasa de erosión regresiva en las partes altas de los valles de cursos de primer orden afecta directamente obras civiles recientes como son caminos y muros.

Los frentes verticales se generan como resultado de la combinación de una serie de factores, que resultan en tasas de erosión regresiva del orden de los metros por año donde intervienen:

- La socavación basal que producen las caídas de agua temporales que se producen luego de precipitaciones intensas,
- la meteorización física de las rocas expuestas,
- los planos de discontinuidades generados por alivio y potenciados por acción de las raíces arbustivas y arbóreas,
- las variaciones en tensión en el espacio poroso de los sedimentos,
- el flujo preferencial del agua pluvial infiltrada desde superficie a través de los contactos entre la unidad 1 y la unidad 2 (como así también sobre los niveles menos permeables de paleosuelos en la unidad 2) y el espesor saturado de la Unidad 2 pendiente abajo del afloramiento de estos cuerpos de agua subterránea.

Esta descarga satura los espesores de la Unidad 2 subyacentes en los afloramientos del talud produciendo su saturación y cambios en las presiones del agua poral, con consecuencias sobre la estabilidad de las pendientes. En la zona se han registrado importantes eventos de caída de rocas, deslaves y retroceso de coronamiento de cañadas como consecuencia de este fenómeno.

El socavamiento por erosión hídrica ha generado oquedades importantes en la base de taludes de metros a decenas de metros en sectores donde aflora la Unidad Litológica Superior 2.

Estas oquedades suelen reducir la estabilidad de la pendiente inmediatamente superior, produciéndose el colapso y caída del material sedimentario de la misma.

Escasamente, estas oquedades han sido posteriormente rellenadas por material aluvial transportado y redepositado por el mismo curso de agua y conforman pequeñas discontinuidades estructurales no visibles.

Los depósitos aluviales de fondo de valle están sufriendo un proceso de erosión generalizado. Los distintos niveles de terrazas aluviales resultantes son resultado de modificaciones en el régimen de flujo de los cursos de agua más importantes en el área de estudio y del descenso del nivel de base de erosión regional y local.

ULS C

Esta unidad presenta mayor consistencia, menor permeabilidad y mayor resistencia a la meteorización física, por lo que no se han observado localmente microformas erosivas particulares en los afloramientos de la Unidad Litológica Superior 3.

Los depósitos aluviales de fondo de valle están sufriendo un proceso de erosión generalizado a nivel del sitio estudiado. Los distintos niveles de terrazas aluviales son resultado de modificaciones en el régimen de flujo de los cursos de agua y del descenso del nivel base de erosión regional y local.

El aumento de la superficie impermeabilizada por urbanización y el incremento de tramos canalizados en la cuenca altera el equilibrio del proceso de erosión/depositación sedimentaria en el área de influencia de la zona. El incremento de pendientes en el perfil de erosión, aumento de caudales y velocidades de flujo, resulta en la profundización de cauces, con el consiguiente efecto sobre la formación de nuevas terrazas en los depósitos aluviales en los fondos de los valles y nuevos pulsos de erosión regresiva sobre las Unidades Litológicas Superiores aguas arriba.

La denudación de los afloramientos sedimentarios o modificación de pendientes y el retiro de la vegetación aceleran intensamente el proceso de cárcavas, en la temporada de lluvias.

En temporadas húmedas llegan a formarse nuevos cursos de agua de primer orden como resultado de capturas y del control temporal sobre la microtopografía de las “duricostras” y horizontes de paleosuelos diagenizados de la Unidad 2.

El nuevo volumen de sedimentos transportados hasta los cursos de agua principales como resultado de la formación de cárcavas y erosión hídrica intensa son rápidamente retransportados como carga sedimentaria de saltación y suspensión por los cursos de agua superficial principales dada el reducido peso específico de los clastos de composición pumítica predominantes. La carga sedimentaria adicional es mayoritariamente depositada aguas debajo de la cuenca del arroyo Atemajac.

b. Condiciones Hidrogeológicas Relevantes

En la zona de estudio se mantiene la superposición de cuerpos de agua subterránea -profundos y someros-, aunque los manantiales y los afloramientos en el subálveo de los cursos de agua superficiales de microcuencas que alimentan el sistema de Los Colomos – eventos que históricamente caracterizaron este sector están relacionados con el flujo y descarga de cuerpos de agua subterránea someros.

No existe una red de monitoreo del agua subterránea somera local que permita establecer parámetros de flujo y calidad del acuífero libre. Por otro lado, no se han realizado estudios geofísicos con ese fin que permitieran inferir la posición y forma del nivel freático en el área de recarga, actividad que supera el alcance de este estudio.

Por la falta de freatómetros que generen información sobre posición del nivel freático y sentidos de flujo en los sectores de descarga, estos datos se infirieren a partir de la información antecedente geológica, geomorfológica y de la información hidrogeológica regional.

Nivel Específico de la Zona de la Coronilla (Al Suroeste de Los Colomos)

El riesgo de contaminación del acuífero somero y el aporte de aguas residuales desde descargas y conducciones en mal estado, son los aspectos ambientales más relevantes.

La parte suroeste de Los Colomos representa un área importante de recarga del acuífero somero. La recarga del acuífero somero que se explota mediante las galerías de Colomos se produce en un área que incluye la recarga generada desde el Bajío de la Arena, al oeste de la avenida Vallarta.

En las adyacencias de Los Colomos, el agua superficial proveniente del oeste recarga los cuerpos de agua subterránea alojados principalmente en los depósitos aluviales de fondo de valle y éste alimenta, a su vez, el flujo subsuperficial del cauce del arroyo La Campana, y luego fluye por el subálveo del arroyo hasta descargar en el cauce del arroyo Atemajac, bordeado por la Av. Patria. Estacionalmente se registra el afloramiento del agua del subálveo en determinados sectores del cauce del arroyo La Campana.

En las zonas más elevadas donde aflora la denominada Unidad Litológica 1, la tasa de infiltración es muy elevada por el bajo relieve relativo y las características muy permeables de las rocas piroclástica de caída libre constituida principalmente por fragmentos porosos de lapilli de hasta 15 cm de diámetro.

La elevada diferencia de permeabilidad de la Unidades 1 y la Unidad 2 subyacente produce una zona de saturación de agua en la temporada de lluvias en el espesor superior a la superficie de contacto entre estas dos Unidades. En esta zona saturada predomina el flujo lateral hacia las zonas de descarga, fundamentalmente los valles y cañadas donde aflora ese contacto.

En los sectores donde el contacto entre las Unidades Litológicas 1 y 2 aflora con las cotas más bajas, se produce la descarga de cuerpos de agua subterránea alojados en la Unidad 1 durante las temporadas de lluvias y en los meses posteriores. Estos afloramientos resultantes de la diferencia de permeabilidad entre unidades litológicas controlan importantes procesos de remoción en masa y el retroceso de cabeceras de barrancas.

Riesgo de Contaminación del Acuífero Somero

De acuerdo con información revisada de estudios previos dentro de la subcuenca de Atemajac se tiene lo siguiente:

En la zona de la Coronilla, el riesgo de contaminación es alto debido a:

- La presencia de descargas de agua residual sin tratar adecuadamente y sobre el curso de agua principal que alimenta otros arroyos para descargar en el arroyo Atemajac.
- Aportes de volúmenes contaminados importantes que terminan infiltrándose en el subálveo del arroyo principal.

En los alrededores de Los Colomos, el riesgo de contaminación es alto debido a:

- La vulnerabilidad del acuífero, que se potencializa por la escasa profundidad del agua subterránea somera en las adyacencias del arroyo El Chocolate (que representa el sector de descarga local).
- La presencia de una línea de conducción de agua residual en mal estado que corre casi paralela al cauce El Chocolate (Chochocate) y a la galería de captación descrita en este reporte como Galería 2 con frecuentes pérdidas de volúmenes importantes que terminan infiltrándose en el subálveo del arroyo El Chocolate.
- El mal estado de sectores de la galería filtrante, en especial en:
 - su cruce del cauce del Chocolate (Chochocate), y
 - en el límite oriental, donde los procesos de erosión son intensos, dejando expuesta a la galería. La erosión remontante en el área está siendo controlada básicamente por las raíces de un grupo de casuarinas.
- La presencia constante de heces fecales de los caballos sobre el mismo cauce del Chocolate, y por lo tanto por encima de la Galería 2, derivados de los recorridos equinos y paseos que se desarrollan a lo largo del cauce del arroyo.

XIV. IMPACTOS URBANOS Y CAMBIO EN LAS CONDICIONES DEL CICLO DEL AGUA SUPERFICIAL.

IMPACTOS URBANOS

La subcuenca Colomos ha experimentado en las últimas décadas una importante alteración medioambiental producto de cambios de uso del suelo que pueden entrar en la categoría de cambios mayores de acuerdo con Conesa y García op cit. Como él (revestimiento) y de la desaparición de los canales secundarios así como, constricción (confinamiento y rectificación y pérdidas de la rugosidad) modificaciones a las pendientes, cambios en el perfil de equilibrio de los cauces principales, las implantaciones de obras de infraestructura ha modificado el funcionamiento de los cauces, hace que actualmente funcione como una cuenca urbana¹⁷, esto ha traído como consecuencia modificaciones en el régimen de las corrientes afectando los proceso de erosión, transporte sedimentación, así como el grado de efectividad geomorfológico, en el hidrógrafa de crecidas, así como una nueva funcionalidad del sistema hidrográfico-hidrológico. Por ello se hizo un recuento detallado por década de los impactos más severos y los **cambios en los sucesos hidrológicos vinculados con la urbanización**. Esta nueva funcionalidad está siendo conflictiva y se puede constatar a través del registro cada vez mayor de hundimiento, mal funcionamiento de los sistema hidráulicos y el registro de inundación severas.



Figura No. 30. Imagen de la urbanización en la parte media, tomado desde la parte alta (área por urbanizarse en los próximos meses).

¹⁷ Las cuencas urbanas se caracterizan por el incremento de la impermeabilización y la reducción de la infiltración debido al revestimiento de suelos como consecuencia de la urbanización. Estos factores aumenta el volumen y la velocidad de la escorrentía produciendo caudales pico mayor en comparación con las cuencas no intervenidas o con menores impactos.

Recuento de las alteraciones

Los asentamientos humano antes de 1970, estaban distribuidos al norte, corresponde con la cabecera municipal y la colonia Seattle al norte, al sur existía una incipiente urbanización de La Barranca Ancha (actualmente Montevideo y Naciones Unidas), la parte alta de la microcuenca del Chicalote, por el fraccionamiento San Javiera, y la UAG, y al poniente por el poblado de San Juan Ocotán.

Los impactos antes de la década de los años setenta se derivaban de las acciones que se desprendieron para aprovechar los manantiales de Colomos a principios del siglo XX para satisfacer las necesidades de agua de Guadalajara, el resto del sistema, es decir los canales principales y secundarios no estaban intervenidos, en la zona de los parteaguas existía una agricultura de temporal, lo que hoy es la mesa de la Coronilla, y Los Coyotes. En la parte media se construyó una obra hidráulica, la presa de Zoquipan con objeto de que el agua y la energía fueran usada por la compañía Industrial Guadalajara.

Los impactos mayores al sistema del ciclo de agua y que han afectado a todo el sistema de cauces inician en la década de los años de 1970, específicamente a partir de la continuación de la Avenida Patria a partir de Plaza Patria hasta la UAG y el trazo de la Avenida Acueducto.

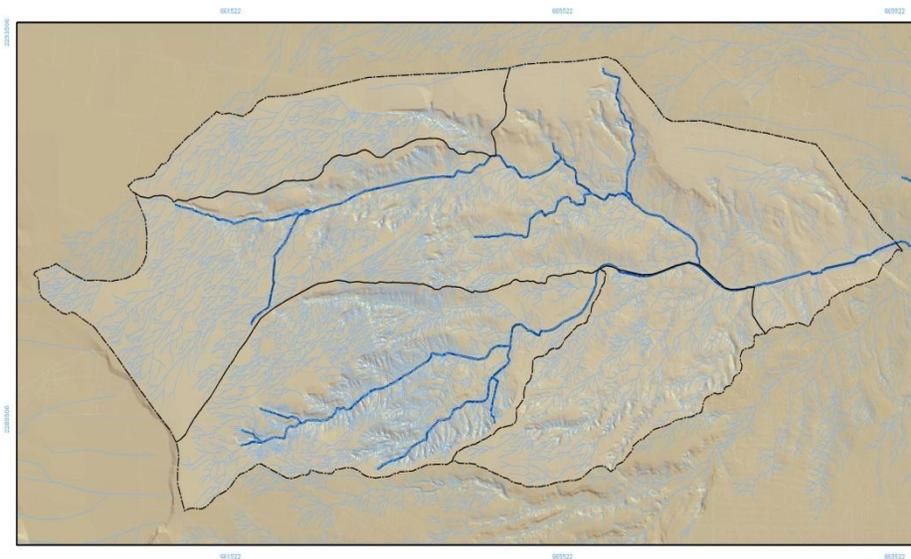


Figura No. 31. Imagen en don se puede observa la red preexistente (azul bajo) y la actual red (azul fuerte). Se perdieron los canales secundarios y se corrigieron los cauces principales. Actualmente predominan formas antropizadas de los canales.

Paulatinamente el proceso urbano ha ido alterando desde la parte baja a la parte alta del sistema por lo que la infraestructura más antigua siempre queda aguas abajo. Debido a que no ha existido un estudio del entendimiento del sistema hidrográfico en su conjunto los criterios que se fueron utilizando para establecer políticas de manejo hidráulico fueron cambiado a lo largo de los años., entre los impactos más significativos tenemos:

Criterios para Manejar los Canales Naturales.

Diferentes políticas de manejo a lo largo de un mismo canal, con dimensiones de las secciones y naturaleza del revestimiento diferente.



Figura No. 32. Impacto urbano ha generado funcionalidades distintas entre los segmentos de una misma corriente, así como cambios abruptos en la dirección del escurrimiento.

- 1) canal de fondo de tierra con bordos de piedra de 10 m de ancho por 2 de alto
- 2) puente el cual disminuye considerablemente.
- 3) Canal 50% menor en dimensiones que el segmento aguas arriba.

Perdida de la Mayoría de los Cauces de Primer y Segundo Orden

Producto del relleno con objeto de ampliar las zonas urbanizables, particularmente en las partes altas. Ha traído como consecuencia directa, efectos en los aportes laterales de agua y sedimentos, se incrementa la velocidad así

como la cantidad de agua, se activan proceso de erosión, lo que obliga a que de de un acomodo del canal colector a las nuevas condiciones dinámicas.



Figura No. 33. Substitución de un canal de jerarquía uno por uno antropizado. Se puede observa una pendiente constante así como una concentración del flujo aunque se trata de romper la velocidad del agua, está incrementa la velocidad y la taza de erosión y está modificando los proceso erosivos a nivel de canal principal.

Rectificación de la Pendiente del Canal Principal

Se ocasiona que se incremente la velocidad y la capacidad de evacuación del agua, pero se incrementa sensiblemente la velocidad y la respuesta de la cuenca.

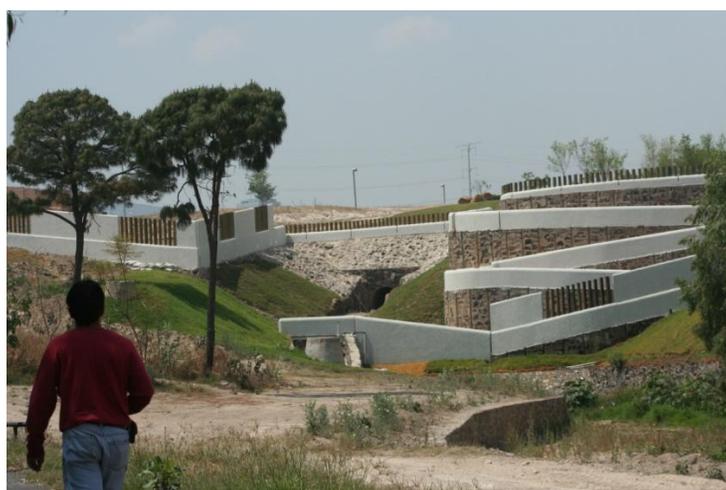


Figura No. 34. Obras que afectan la funcionalidad de los cauces ya que alteran el perfil.

Rectificación de la Anchura del Canal

Una de las acciones más importantes que ha afectado la respuesta de la cuenca, esto ha traído como consecuencia confinamientos, acentuación de los volúmenes, y por lo tanto una mayor probabilidad de desborde.



Figura No. 35. Pérdida del canal natural debido a malas decisiones, y a no considerarlo como un único.

Obras Hidráulicas

Generalmente estas obras no contemplan las características de los gastos de la microcuenca, o se subestiman los escurrimientos superficiales, en perjuicio de las áreas construidas y generando problemas de socavamiento y deposición e incrementando el riesgo de inundación. Por lo regular se construyen obras muy limitadas en suficiencia y eficiencia, dejando ver las escasas dimensiones de construcción.

CAMBIO EN LAS CONDICIONES DEL CICLO DEL AGUA SUPERFICIAL

Incremento de los Tamaños de Sedimentos

En los lechos se puede observar una gran cantidad de sedimentos de tamaños gruesos, lo que sugiere mayores tasas de energía y transporte de fondo.



Figura No. 36. Segmento en donde se observa una gran cantidad de sedimentos sobre un canal, ocasionando la disminución del proceso de evacuación.

Desplazamientos Laterales de los Canales.

Para salvar proyectos específicos se desplazan los cauces, generando curvas cerradas y en ángulos agudos.

Cambios en los Valores de las Curvaturas (Pérdida de la Sinuosidad).

Con el objetivo de aumentar la velocidad de agua para generar más rápidas evacuaciones incremento de la onda de inundaciones se ha corregido las curvas existentes en los canales principales, afectando de dos maneras la dinámica del sistema, una disminución de la infiltración, se generan nuevas tasas de arrastre, y se incrementa la velocidad de respuesta de las microcuencas, lo que tiene un aspecto negativo ya que incrementa el fenómeno de torrencialidad y las afectaciones aguas abajo.

Modificación de las Condiciones de Sedimentación

La creación de plataformas dispara los procesos erosivos y sedimentarios en secciones de los canales, genera problemas en donde existen obras hidráulicas ya que generan proceso de colmatación.



Figura No. 37. El intenso movimiento de tierras ha ocasionado que se dispare la tasa de erosión de los sedimentos. Han llegado a colmatar de manera severa el canal natural, haciendo susceptible que ante una avenida fuerte los sedimentos sean evacuados de manera súbita incrementando el problema de inundación y generando pequeños aluviones (flecha).

Incremento de los Valores de Pendiente.

Las plataformas incrementan los valores de las pendientes a nivel de las microcuencas. En algunos puntos de la vertiente se presenta fuertes procesos de erosión ante los nuevos micropatrones del agua que se mueve producto de la disposición de las vialidades, generándose lavados por fuerte proceso erosivos.



Figura No. 38. Proceso de retroceso acelerado de los escarpes, inducidos por la actividad antrópica, escurre el agua sin control generando el inicio de la cárcava de jerarquía uno inducida.



Figura No. 39. Urbanización cerca de un escarpe inestable por las condiciones de pendiente y el tipo de material que lo forman.

Modificación de los Proceso de Retroceso de las Cabeceras.

En las cabeceras rellenadas se registran proceso de lavado de los material de relleno, mediante el aforamiento de agua subsuperficial lo que registra el inicio de hundimientos lentos pero continuos de la capa de relleno lo que se refleja en asentamientos diferenciales de las viviendas.

A nivel de la cabecera de los tributarios representan la situación de urbanizaron y relleno se ha identificado los siguientes procesos:
Cambio en la dinámica de sedimentación en los lechos.



Figura No. 40. Actividad de los flujos hipodérmicos.

Hace que continúen los procesos de retroceso de la cabecera, incrementándose debido a filtraciones de agua asociadas a la presencia de jardines; obligando a la ramificación de cauces en la conducción del agua.

Condiciones morfológicas del perímetro

Debido a la urbanización de los perímetros tienden a suavizarse y hacerse menos irregulares, por lo que se incrementa la capacidad de respuesta de las cuencas.



Figura No. 41. Asentamiento de viviendas debido a procesos de erosión acelerada, no considerados en el proyecto de construcción, con el consecuente riesgo de colapso de la estructura.

Infraestructura hidráulica

Acciones e impactos negativos en los encauzamientos, al no considerar el equilibrio hidráulico (compromete la capacidad), el cual se trata de forzar según los requerimientos de la construcción. Estas acciones producen sedimentos aguas arriba, debido a las escasas dimensiones de los encauzamientos, los que obstruyen el flujo normal del escurrimiento pluvial; ocasionando a su vez, inundaciones y socavamientos.

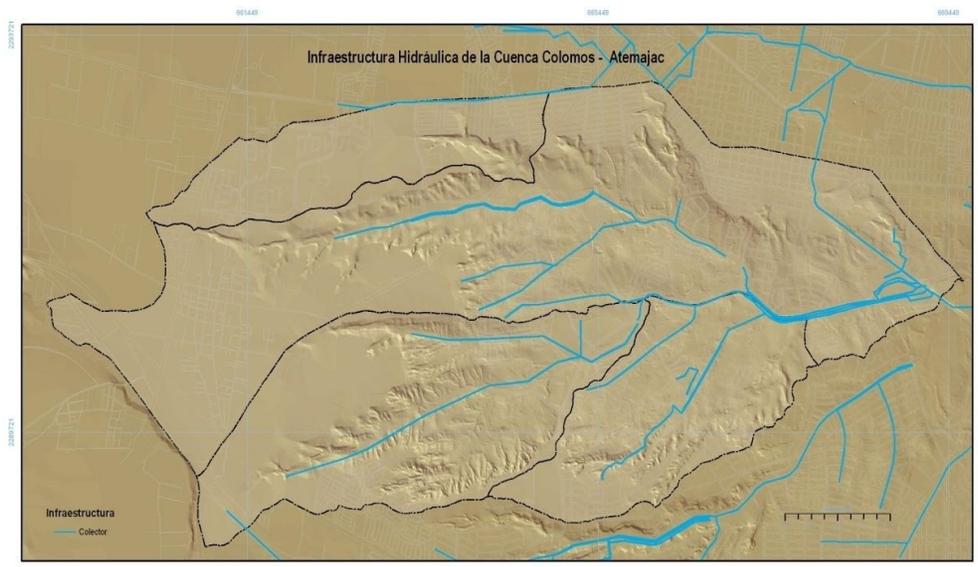


Figura No. 42. Mapa que muestra la infraestructura hidráulica en la subcuenca Colomos-Atemajac.

Descripción de Fenómenos Peligrosos

Inundaciones

Las inundaciones¹⁸ se refieren cuando el flujo de energía (agua) se incrementa a través del sistema, en consecuencia se superan umbrales de resistencia en el sistema fluvial de modo que las crecidas e inundaciones representan episodios de aceleración (proceso de erosión, transporte y sedimentación), en la evolución ambiental de la cuenca. Las inundaciones no únicamente depende de la intensidad y amplitud de la tormenta, sino que de otros factores que la intensifican o moderna los picos de las crecidas. Estos últimos pueden agruparse en tres escalas diferentes:

- a) Características de las cuencas de drenaje.
- b) Características de la red de drenaje.
- c) Características de los cauces.

¹⁸ Existen dos tipos de inundaciones, las lentas y la súbitas, en la zona de estudio corresponde a las rápidas

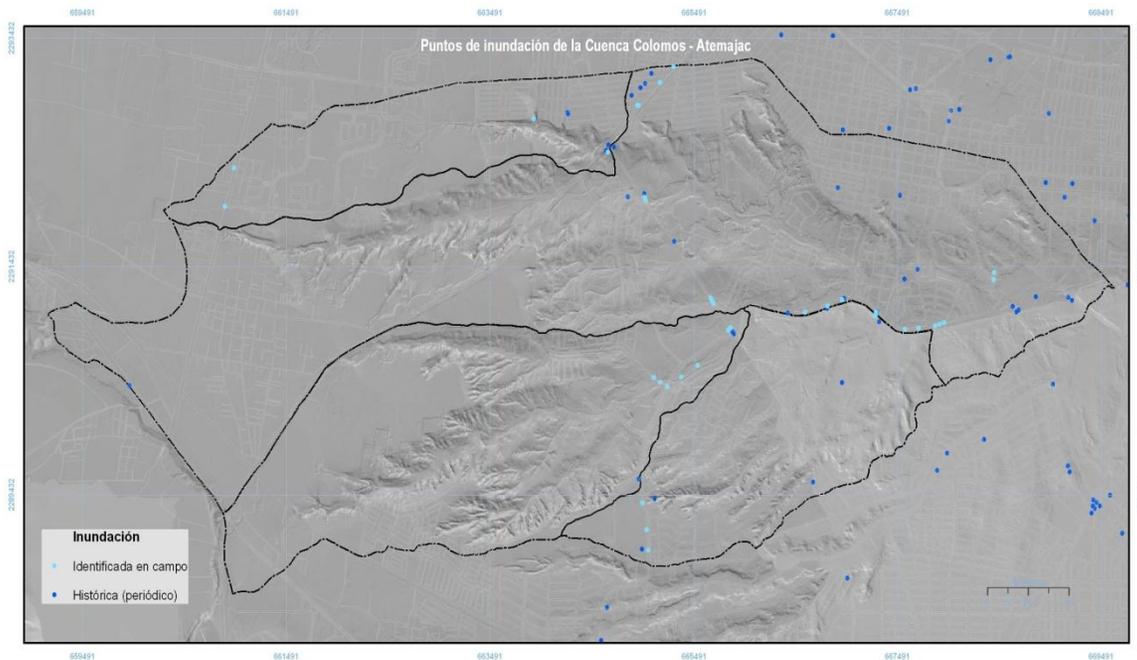


Figura No. 43. Mapa de la ubicación de sitios que han registrado eventos de inundación, estas se asocian con el canal principal Patria-Atemajac, y en los años más recientes a las cunetas formadas por el trazo de la Av. Acueducto, y los puntos de interferencia de estructura hidráulica.

Características de las cuencas de drenaje urbanas.

Al aumentar el área revestida y la pérdida de los elementos de conducción se incrementan las condiciones para que también lo haga la magnitud absoluta de la inundación¹⁹; las cuencas pequeñas pueden generar enormes puntas de crecidas.

En cuencas urbanas existen dos patrones de movimiento superficial del agua, el macrodrenaje definido a partir de los cauces fluviales y el microdrenaje definido a partir del trazo de las calles y la disposición de los machuelos. El macrodrenaje está controlado por los canales principales, tanto antrópicos como naturales.

¹⁹ Leopold (1968) menciona que la urbanización completa de una microcuenca de 260 Has, el caudal pico puede aumentar hasta 6 veces en relación con una condición natural.

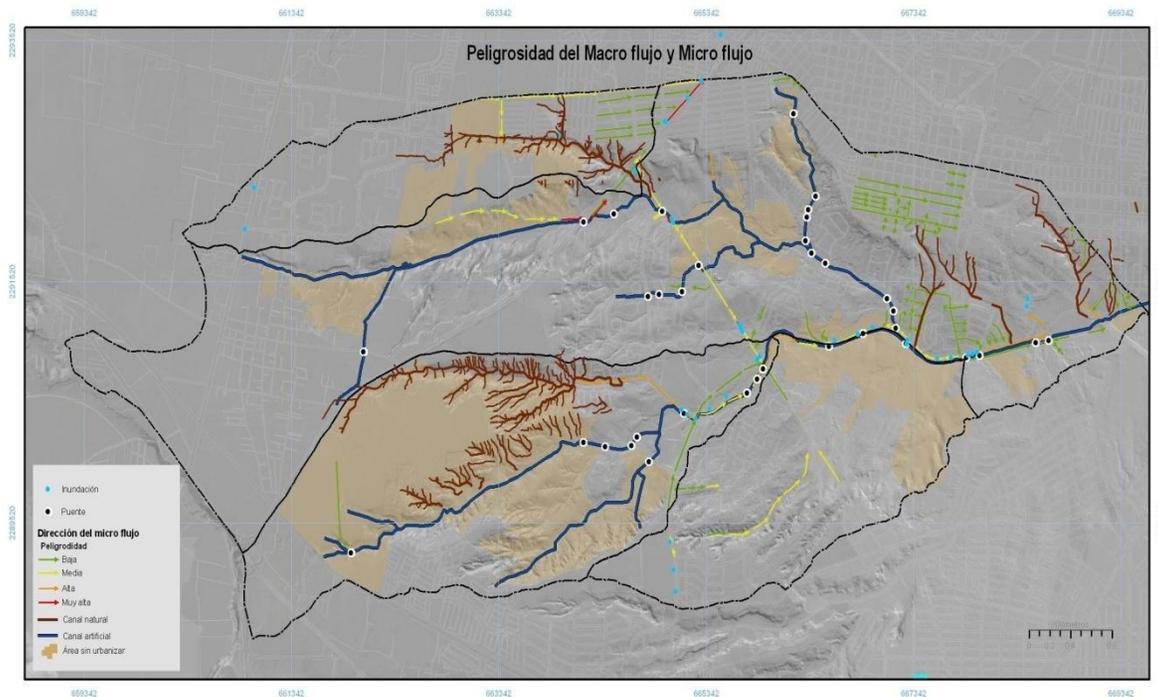


Figura No. 44. Patrón del macrodrenaje existente para el año del 2007.

Es controlado por los canales artificiales que han substituido la mayoría de los cauces naturales, quedando solo algunos segmentos del cauce de natural, en las cunetas que se forman sobre la Avenida Acueducto. El microdrenaje está definido por el trazo de las vialidades, generándose represamiento en las zonas como Periférico, Acueducto, y tramos de la Avenida patria, principalmente.

El micro drenaje está determinado por la disposición de las calles y la orientación de los machuelos, parte de este microdrenaje ha reconocido algunos de los tributarios de Colomos, por lo que ha ampliado la superficie original que tenía la subcuenca de Colomos. Para reconocer el microdrenaje se utilizó los recorridos de campo atizando navegadores con un erro de * - 2 m.

El microdrenaje debería de operado sin problemas para periodos de retorno de 2, 10 años, este sistema se colapsa con las lluvias anuales que se presentan en la zona.

Análisis Multicriterio

La aproximación metodológica para el análisis de cuencas se puede dividir en tres ejes principales:

- El análisis hidrográfico que se relaciona con las características morfológicas y morfométricas de las cuencas así como el aspecto geomorfológico del sistema de cauces, el objeto es identificar las cuencas más sensibles a las lluvias de alta intensidad horaria, así como entender los procesos de intercambio de energía (erosión, transporte

y sedimentación) directamente relacionados con la funcionalidad natural del sistema.

- La funcionalidad hidráulica del sistema; corresponde con las actuaciones antrópicas a nivel del cauce, el cual puede definir segmentos críticos y nodos en donde puede estar comprometida la capacidad hidráulica del sistema, y

En aquellas cuencas que, por las condiciones de urbanización, se han revestido completamente y que de acuerdo con Tucci, et al., 1995 se puede utilizar criterios basados en la simulación

- La metodología que se utilizó para evaluar las corrientes urbanas fue la utilizada por Barros y Vallejo (2007), en ella se integra información de datos de campo, información histórica y datos técnicos. Con el objeto de construir indicadores para medir por tramo de corriente urbana y en toda la microcuenca la funcionalidad, así como analizar la interconectividad entre tramos de corriente de distintas condiciones de capacidades hidrológicas, con el objeto de desarrollar un análisis multicriterio, con el fin de identificar los puntos más críticos de la red hídrica, según tres criterios básicos:
 - Evaluación en campo.
 - Registro de inundación,
 - La capacidad hidráulica.
- El objeto es definir zonas más peligrosas a registrar eventos de inundación más severos.
- Esta metodología se complementó con la utilizada por CENAPRED para la elaboración de mapas de riesgo por inundaciones de la subdirección de riesgos hidrometeorológicos del año 2004.
- El método de Barros y Vallejo particularmente se aplicó en las microcuencas de Agua Fría, y Arroyo Seco, Colomos, El Arenal El Chicalote, etc.

El método de Barros y Vallejo consiste en lo siguiente:

- Revisando la información para cada tramo, se identifican aquellos que se consideran críticos o de atención (según la evaluación de problemas ambientales actuales en las corrientes), los que tienen registro de inundación (según la información histórica) y los que tienen incapacidad para un periodo de retorno definido (según la evaluación hidráulica).
- Cruzando la información de los tres criterios, se identifican las situaciones de los tramos más críticos en cuanto amenaza por inundación, así como priorizar las acciones en función de los

segmentos con menos capacidad para evacuar volumen de acuerdo con los periodos de retorno considerados y los registros históricos.

- Este método se complementó con una metodología elaborada específicamente para aquellas microcuencas en donde ha sido borrado el canal natural, por lo que el patrón de inundación en estas zonas responde a rasgos micro-morfológicos y a la disposición de la retícula urbana.
- Para poder identificar las zonas más peligrosas por inundación en donde no se presenta un canal natural se hicieron recorridos de campo para obtener la siguiente información:
 - Dirección del escurrimiento.
 - La altura del encharcamiento o inundación.
 - la velocidad del agua.
 - Las veces que se ha presentado la inundación, y datos complementarios.

Mediante la evaluación de cada tramo según los tres criterios, se identifican los de mayor amenaza de inundación para la población, bajo las siguientes consideraciones:

$$Ic_{\text{corriente}}^{\text{según tramos}} = \frac{\text{Número de tramos críticos}}{\text{Número de tramos totales de la corriente}} \times 100 \quad (1)$$

$$Ic_{\text{corriente}}^{\text{según longitudes}} = \frac{\text{Longitud de los tramos críticos}}{\text{Longitud total de la corriente}} \times 100 \quad (2)$$

$$Ic_{\text{ponderado}} = \frac{\sum (Ic * longitud)_{\text{corriente}}}{(\text{longitud total de las corrientes})_{\text{microcuenca}}} \times 100 \quad (3)$$

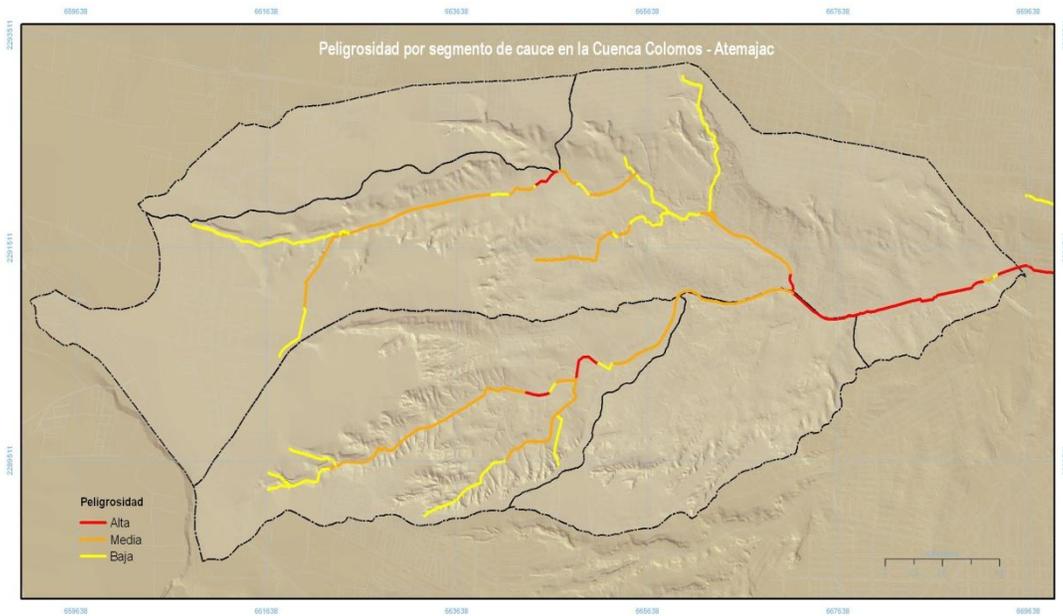


Figura No. 45. Imagen en donde se identifican los tramos más peligrosos de los canales.



Figura No. 46. Sección hidráulica que produce el confinamiento del canal a la mitad de sus dimensiones.

Modelo de propagación de la escorrentía tienen variación espacial

Diversos autores han estudiado los efectos de los mecanismos geomorfológicos e hidrodinámicos en la respuesta hidrológica de una cuenca; sin embargo, no se ha analizado cómo varían tales efectos cuando los parámetros del modelo de propagación de la escorrentía tienen variación espacial. En este trabajo se presenta una metodología que combina modelos de propagación basados en la ecuación de difusión de onda cinemática y modelos digitales de terreno (MOT), obteniendo expresiones analíticas para la varianza del tiempo de viaje del agua en la cuenca.

La varianza del tiempo de viaje permite analizar los efectos difusivos en la respuesta de la cuenca y el uso del Mot introduce la variación espacial de parámetros. El planteamiento logrado permite definir el coeficiente de dispersión hidrodinámica de la cuenca (OH) de tal forma que el término hidrodinámico de la varianza no se altere, obteniendo una expresión para el coeficiente de dispersión geomorfológico de la cuenca (OG) cuando existe variación espacial de parámetros. Se analiza la importancia relativa de los mecanismos geomorfológicos e hidrodinámicos en la respuesta a través del parámetro adimensional λ que representa la razón entre OH y OG. Esta metodología se aplicó en cinco cuencas sudamericanas, considerando dos zonas de flujo: terreno y cauces.

Se determinaron relaciones entre los coeficientes OG, OH y PH para diferentes tamaños y configuraciones de la red de drenaje. Se analizan también los efectos de la variación espacial de parámetros en el caudal máximo y el tiempo de respuesta de la cuenca.

Palabras clave: dispersión geomorfológica, dispersión hidrodinámica, variación espacial, modelo digital de terreno, sistemas de información geográfica, modelos lluvia-escorrentía, propagación de la escorrentía, ecuación de difusión de onda cinemática, hidrograma unitario instantáneo geomorfológico

Hundimientos y movimientos en masa

Por ser una zona de fuerte irregularidad topográfica combinado con una litología parcialmente consolidada. La mayoría de los taludes han sido tratados técnicamente, algunos de ellos han provocado serios problemas.

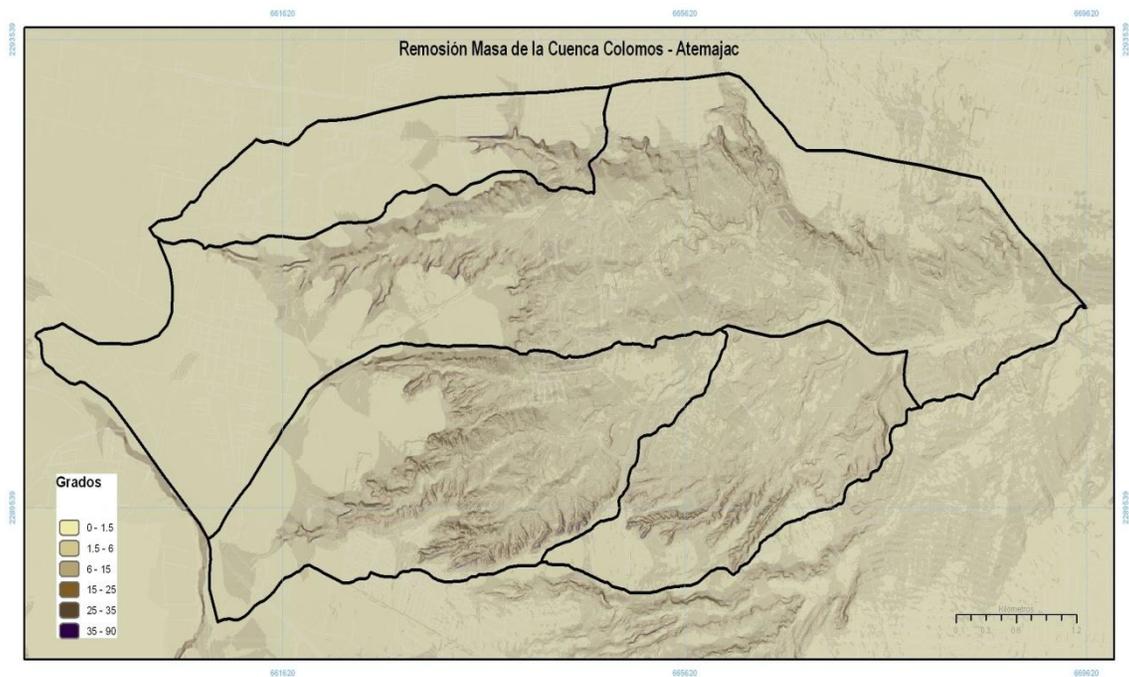


Figura No. 47. Mapa de la localización de los taludes peligrosos, debido a la urbanización de la parte baja y la alta.

XV. CONCLUSIONES

La región se caracteriza por el afloramiento de depósitos volcánicos de tobas de caída libre (cenizas y piroclastos) provenientes de la actividad volcánica extinta de la Caldera de La Primavera, actividad volcánica que cubrió un complejo volcánico basal asociado con un paleopaisaje controlado por un sistema de fallamiento mayor de dirección este – oeste, referido como estructura Colomos, que se extiende desde el extremo noreste de La Primavera hasta el río Grande de Santiago.

En algunas áreas se han diferenciado afloramientos de 3 unidades distintas de la formación regional conocida como Toba Tala, unidades litológicas que presentan características distintivas en su conductividad hidráulica y en sus propiedades mecánicas. Su distribución espacial controla la evolución del paisaje, y la recarga de los acuíferos someros. La Unidad Litológica Superior 1 caracterizada por fragmentos porosos de lapilli empacados en ceniza volcánica de caída libre; la Unidad Litológica Superior 2 formada por una alternancia de capas sub-horizontales de sedimentos limo-arcillosos, con la presencia de fisuras o grietas multidireccionales rellenas que forman costras, y; la Unidad Litológica Superior 3 integrada por ceniza volcánica que incluye fragmentos heterogéneos de composición riolítica, pumicítica y vidrio volcánico.

Los flujos preferenciales de agua subterránea y sucesivos cambios en el nivel de base de erosión de los escurrimientos superficiales a lo largo de la estructura Colomos, han propiciado marcados procesos erosivos que favorecieron el desarrollo de profundas cañadas y cárcavas sobre los depósitos de tobas superficiales y subsuperficiales, sobre las que paulatinamente ha ido creciendo la mancha urbana en los municipios de Zapopan y Guadalajara.

El aumento de la superficie impermeabilizada que conlleva la urbanización, potencializa el poder erosivo de los cursos de agua superficiales y, como consecuencia, los procesos de erosión remontante en los sectores medios y altos de la zona de estudio.

La depositación de mayor cantidad de sedimentos se produce en los sectores topográficamente más bajos de las cuencas y en los quiebres de pendiente aguas abajo de los tramos corregidos o modificados antrópicamente.

En la zona alta y media de la subcuenca, los procesos erosivos son muy intensos generando un riesgo geomorfológico relevante. En algunos de los sectores más altos de los cursos de agua de primer orden, son frecuentes los procesos de caída de sedimentos, rocas sedimentarias que afloran y la presencia de frentes prácticamente verticales de hasta 40.0 m de alto. En determinados frentes, esta elevada tasa de erosión regresiva del orden de los dos a tres metros por año – particularmente sobre la Unidad Litológica Superior 1- afecta directamente obras civiles recientes como son caminos y muros.

El socavamiento por erosión hídrica ha generado oquedades importantes en la base de taludes de metros a decenas de metros en sectores donde aflora la Unidad Litológica Superior 2. Estas oquedades suelen reducir la estabilidad de la pendiente inmediatamente superior, provocando el colapso y caída del material sedimentario de la misma. En escasos puntos, estas oquedades han sido posteriormente rellenadas por material aluvional transportado y redepositado por el mismo curso de agua, constituyendo de esta manera pequeñas discontinuidades estructurales no visibles.

Los depósitos aluviales de fondo de valle están sufriendo un proceso de erosión generalizado. Los distintos niveles de terrazas aluviales resultantes son resultado de modificaciones en el régimen de flujo de los cursos de agua más importantes y del descenso del nivel de base de erosión regional y local. La denudación de los afloramientos sedimentarios por construcción de caminos o modificación de pendientes y el retiro de la vegetación dispara el proceso de erosión acelerada en cárcavas, en la temporada de lluvias.

En temporadas húmedas llegan a formarse nuevos cursos de agua de primer orden como resultado de capturas y del control temporal sobre la microtopografía de las duricostras y horizontes de paleosuelos diagenizados de la Unidad 2. El nuevo volumen de sedimentos transportados hasta los cursos de agua principales como resultado de la formación e incremento de las cárcavas y erosión hídrica acelerada, son rápidamente retransportados como carga sedimentaria de saltación y suspensión por los cursos de agua superficial principales dada el bajo peso específico de las partículas y clastos de composición pumítica predominantes.

No se observaron depósitos aluviales relevantes y actuales resultantes del aporte sedimentario adicional que se está generando por la intensa erosión de laderas y caminos. La carga sedimentaria adicional es mayoritariamente depositada aguas abajo de la cuenca del arroyo Atemajac.

En el área de estudio se superponen dos cuerpos acuíferos de relevancia ambiental y con función social como fuentes de abastecimiento de agua para uso público urbano: un acuífero profundo y un acuífero somero en condiciones libres (bajo la presión atmosférica), alimentado desde superficie y distintos niveles saturados formando "cuerpos colgados" en los contactos entre unidades de distinta permeabilidad dentro de la Toba Tala.

El acuífero somero presenta alta conductividad hidráulica y es el que alimenta los manantiales aprovechados aguas abajo en Colomos. El nivel freático se encuentra a poca profundidad, directamente relacionado con las variaciones topográficas del área.

El acuífero somero aprovechado en Los Colomos se recarga por la infiltración del agua de lluvia, considerándose el Bajío de la Arena como la principal zona de recarga, y en segundo término el área de la cuenca propia de los arroyos La Campana y Atemajac.

Con respecto al área puntual de La Coronilla, aún no construida en su totalidad, representa un área de recarga del acuífero somero que descarga en Los Colomos. La recarga del acuífero somero se produce parcialmente en el área de influencia del sitio y en una extensión mayor, incluyendo la intensa infiltración en el Bajío de la Arena. En el área de estudio de la Coronilla se ha registrado²⁰ la descarga de aguas residuales de origen urbano, que afectan la calidad del agua que se infiltra parcialmente en el subálveo de los cursos de agua y terminan recargando acuíferos someros. La recarga que se produce en sitio llega a ser relevante y crítica en lo referente a su calidad.

El proceso urbano en la zona de Colomos se dio de la zona baja (núcleo de Atemajac) hacia la zona media y alta, por lo que la parte más antigua corresponde a la zona en donde se acumula el agua proveniente de nuevas urbanizaciones, generándose así nuevas presiones.

Los arroyos y la ciudad estableció a comienzo de la década de los años 1970 la relación de peligro bajo un clima de mayor aceptabilidad social del riesgo y con una sociedad menos vulnerable que la actual, desde entonces apenas se han realizado operaciones de mejora de los puntos críticos de la red de drenaje.

De acuerdo con el estudio se considera que la red esta encajonada en sus tramos medios y finales y estrangulada por una serie de infraestructuras urbanas interceptoras, no mejorada o renovada para afrontar las escorrentías inducidas por las nuevas extensiones urbanas, y presionada por unos caudales más críticos que los originales vinculados a las transformaciones de usos en sus cuencas, de esta forma, la red de drenaje (natural y antrópica) está recibiendo mayor agua sin renovarse, ante los cambios habidos en los usos del suelo. Además son múltiples las interferencias de las infraestructuras urbanas con la red drenaje que limitan su funcionalidad, esto ha repercutido en que los arroyos no tienen capacidad para evacuar avenidas extraordinarias y que se presenta una sobrecarga de la red de los colectores.

La falta de una definición y consideración unitaria del cauce se produce una fragmentación de hecho del mismo y de sus condiciones funcionales de forma que las distintas intervenciones infraestructurales y transformaciones urbanísticas no garantizan la conservación de su capacidad de evacuación. Entre las situaciones de riesgo más frecuentes se destacan:

- a) La distorsión de las corrientes propiciada por la sucesión longitudinal de tramos fluviales con distinto tratamiento funcional (a cielo abierto o soterrado, urbanizado o natural),
- b) La potenciación de efectos sobre las zonas no defendidas derivada de la ejecución de defensas exclusivamente para una de las márgenes o para un sector de suelo urbanizable.

²⁰ Estudio Hidrogeológico para el predio denominado La coronilla en Zapopan, Jalisco, 2004. Documento inédito.

- c) Discrepancias en el diseño y dimensionado de los tramos alternos.
- d) La reducción de la capacidad de evacuación fluvial y el incremento de la peligrosidad derivada de la intersección al mismo nivel entre infraestructuras de abastecimiento y saneamiento y la red de drenaje.
- e) Existe un desajuste entre los ritmos del crecimiento urbano y de las actuaciones sobre la red de drenaje.
- f) La potenciación de los caudales de avenida provocada por el aumento del coeficiente de escorrentía y los tiempos de concentración característicos de la urbanización en ladera.
- g) El incremento de los caudales sólidos y la pérdida de funcionalidad de los cauces por colmatación. Durante el proceso de transformación del medio rural en suelo urbanizado dotado de sistemas de evacuación de pluviales suficiente y eficaz, se genera una situación de alto riesgo debido a que no se cuenta con la protección natural (vegetación e infiltraciones), ni tampoco con la artificial que debe sustituirla, en un contexto de abundancia de suelos poco consolidados.

Del estudio realizado se desprende que ninguno de los cauces de arroyos canalizados tiene capacidad suficiente para desaguar la avenida de 10 años mucho menos de 50 años de periodo de retorno, por lo que se considera.

Las intervenciones en cuencas y cauces han tenido un carácter puntual, generándose de forma independiente entre sí, y sin contemplar los posibles efectos acumulativos sobre las avenidas.

La acción que se ha realizado es drenar lo más rápidamente la lluvia en exceso hacia aguas abajo, a través de rectificaciones de canales, redes de tubería, lo que produce un caudal aguas abajo, y como consecuencia directa fenómeno de inundación y contaminación, esto ha generado que en la ocupación del territorio se está consolidando un modelo que ha supuesto la potenciación paulatina del riesgo natural

Consideraciones/acciones de carácter estructural y no estructural.

- ❖ Considerar que existe una relación directa entre superficie revestida y volumen máximos esperados.
- ❖ El estudio de la dinámica del medio natural debe considerarse como crítico fundamental en los estudios locales de ordenamiento o planeación.

- ❖ Generalmente el diseño y cálculo de los encauzamientos se viene realizando en hipótesis de avenidas de aguas limpias.
- ❖ Es necesario que los desarrollos urbanos deben de garantizar la continuidad en la capacidad hidráulica de los cauces principales, es decir es necesario controlar el impacta de la urbanización sobre el drenaje preexistente.
- ❖ Cualquier modificación tiene que estar en función de los diseños para tormentas con alta recurrencia, se debe de corregir el diseño hidráulico errado.
- ❖ La formación de comités por barrio para mantener en constate alimentación, permite construir en un grupo de alerta ante inundaciones y de apoyo para identificación de puntos críticos.
- ❖ Se requiere establecer criterios como cuenca de amortiguamiento.
- ❖ Es importante en ciertos segmentos, establecer medidas de puntuales de carácter estructural.
- ❖ Los impactos hidrológicos no deben ser transferidos.
- ❖ Es vital retardar el escurrimiento, y establecer un control en la parte alta de las microcuencas (área fuente).
- ❖ En conclusión el riesgo por inundaciones súbitas están relacionadas con el desconocimiento de la casuística de la ocurrencia que justifique el desconocimiento de la ocurrencia proceso natural de carácter extremo o de la falta de previsión ante los cambios originados por el proceso urbano dentro del ciclo hidrológico.
- ❖ Incorporar en el proceso de planificación los condicionantes del medio físico, y en especial los relativos a la red hídrica y sus riesgos naturales. Analizar el nivel de respuesta actual de la red de drenaje ante los riesgos de avenidas, identificar los problemas y establecer las soluciones pertinentes, especialmente en cuencas donde se prevean nuevos desarrollos urbanísticos, e incorporar las actuaciones necesarias para conseguir su adaptación a las características y dimensiones de la nueva ciudad.
- ❖ Definir un modelo de desarrollo urbano contrastado con la realidad físico-territorial de los municipios. El nuevo crecimiento, basado en criterios de sostenibilidad y racionalidad y cuya viabilidad debe quedar asegurada, debe causar los mínimos efectos posibles sobre la red hidrográfica y el ciclo del agua.

- ❖ Considerar las repercusiones de este nuevo modelo de crecimiento sobre los cauces fluviales y sus riesgos asociados, incorporando las infraestructuras y medidas de corrección y prevención necesarias.
- ❖ Introducir determinaciones para el planeamiento de desarrollo y, específicamente, para los proyectos de urbanización, que garanticen una transformación medio respetuoso con el dominio público hidráulico y un funcionamiento eficaz de la red de drenaje natural.

XVI. RECOMENDACIONES

El decreto del Área Estatal de Protección Hidrológica Bosque

Colomos-La Campana debe estar sustentado en un Programa de conservación y manejo donde se dicten las acciones y lineamientos que regulan la preservación, restauración, administración y mantenimiento del área.

Estas actividades deben estar reguladas bajo un marco de acción que contemple el pleno conocimiento de las características cualitativas y cuantitativas de la zona de estudio a partir de la generación de términos de referencia.

Aunque la información que se ha recopilado para este estudio es contundente y cuantitativa, no exime al proyecto de complementar la investigación con información a detalle y actualizada de la hidrología superficial y subterránea, la calidad del agua y tendencias, en la subcuenca.

Los escurrimientos superficiales, se manifiestan durante todo el temporal de lluvias (Jun-Oct) y considerando los suelos de textura franco arenosa y material geológico pumítico, el 61 % del volumen llovido se infiltra, escurriendo solo el 39%; he aquí la importancia de la subcuenca Atemajac y del área de El Bajío, como zonas de infiltración y recarga de acuíferos.

Con el fin de tener fundamentos cuantitativos contundentes para establecer el uso y manejo prioritario de la subcuenca Atemajac, es indispensable conocer la topografía a detalle de la zona de estudio, para esto, se sugiere que se haga cartografía, por lo menos, a escala 1:2,000 de toda la zona. Ya que en cuestiones de hidrología es primordial conocer el cauce de los arroyo, los parteaguas, de manera que con esa cartografía se podría cubrir precisamente esa área.

Aunado a esto es necesaria la identificación, secuencia y descripción de la composición geológica de toda la zona, esto para entender el tránsito del agua de manera intersticial. Para cumplir con este punto sería necesario hacer un estudio detallado de estratigrafía de la zona.

Debido al tipo de suelo que hay en la zona, es primordial hacer un estudio de mecánica de suelos, ya que con este se podría cubrir la parte de desprendimientos (muy comunes) y con esto, la afectación a los asentamientos o desarrollos y aprovechamientos de la zona.

Con el objetivo de minimizar el riesgo a la salud, es estratégico controlar el aporte de químicos de riesgo (por ejemplo, aguas residuales, hidrocarburos o pesticidas) a las conducciones pluviales que terminan alimentando o uniéndose al arroyo Atemajac.

Por la razón anterior, las nuevas líneas de conducción de aguas pluviales deberían ser instaladas con materiales flexibles de alta densidad, resistencia química y durabilidad. En el mediano plazo su integridad debe ser monitoreada. De manera

paralela se considera oportuno que sean instalados, de manera estratégica, piezómetros que determinen la calidad del agua en toda la subcuenca.

En suma, sería necesario generar un sistema de información georreferida y detallada que incluyera:

- Mapa estratigráfico;
- Mapa geomorfológico;
- Impacto hidrológico;
- Mapa Erosión actual del Suelo a detalle
- Procesos sedimentarios;
- Pruebas de infiltración de Suelos
- procesos de recarga;
- Calidad del agua superficial y subterránea.

De manera paralela a la generación de la información cualitativa ambiental de la subcuenca Atemajac, es necesario implementar herramientas de gestión que promuevan el conocimiento cualitativo y cuantitativo de la zona de estudio para que esto derive en una evaluación fundamentada que apoye a la toma de decisiones para definir el uso y los destinos del suelo.

De manera paralela se debe tomar en cuenta la realidad que enfrenta el gobierno en cuanto a abastecimiento del líquido, por eso no se debe perder de vista que el área conurbada requiere una fuente permanente y sustentable para el abastecimiento de agua potable.

Aguas arriba de la subcuenca –y como política en general- es prioritario tecnificar los sistemas de riego y mejorar la operación y distribución en redes hidráulicas de diversos usos (doméstico, riego agrícola, industrial, etc.). Como parte de esto se deben Instalar medidores en las fuentes de aprovechamiento que no tienen.

Además a nivel cultural, es preciso fomentar –permanentemente- la cultura y ahorro del agua. Incentivando a la población a llevar un control del consumo de agua y de energía eléctrica.

Es aconsejable elaborar un modelo matemático para el acuífero granular (libre) y fracturado (semiconfinado) de la cuenca de Atemajac.

Se debe regular la impermeabilización máxima que puede tener cada microcuenca, esto está en función de las condiciones de los sistemas hidráulicos, y de los registros de la recurrencia de la inundación.

Hay que considerar el impacto del aumento de los caudales máximos aguas abajo, causante de los problemas, debido a los fenómenos de impermeabilización. Se acelera las ondas de crecidas de las inundaciones, es decir se reducen los tiempos de concentración.

Implementar una red de monitoreo de variables hidrológicas-hidráulicas- (estaciones hidrometeorológicas) para ajustar los modelos de lluvia-caudal existentes y en elaboración.

Implementar un programa de manejo que contemple la construcción de obras de conservación del suelo y del agua; desazolve de cauces, reforestación de áreas federales de cauces y cuerpos de agua; construcción de presas filtrantes y de gaviones en cauces para disminuir velocidad erosiva de las aguas pluviales. Crear infraestructura para la red de pozos de absorción.

Crear las condiciones legales y jurídicas para la concesión y dotación de agua subterránea; dando prioridad al abastecimiento de agua de calidad a la población de la zona conurbada de Guadalajara y de haber capacidad del acuífero, considerar el embotellamiento de agua para consumo humano y finalmente el abastecimiento industrial, en ese orden de prioridades; y no de forma contraria como sucede.

XVII. DELIMITACIÓN DE LAS UNIDADES DE MANEJO

Para el cumplimiento de los objetivos previstos en el Área Estatal de Protección Hidrológica Bosque Colomos - La Campana, se define la zonificación que permite identificar y delimitar las porciones del territorio que la conforman, de acuerdo a los usos actuales del suelo, elementos naturales, físicos y socioambientales, así como a los objetivos de conservación planteados para cada área, acorde a la modalidad de protección establecida, por ello se define la siguiente zonificación.

Unidades de manejo

Tabla No. 12. Zonas de Manejo y superficie en el área natural protegida

ZONIFICACIÓN DEL POLIGONO		
ZONIFICACIÓN	SUPERFICIE has	%
Zona de restauración	60.0	28.86
Zona de protección	8.2	3.96
Zona de uso público	6.7	3.21
Zona de infraestructura	6.5	3.14
Zona Bosque Los Colomos	90.8	43.69
Zona de uso especial	35.6	17.13
Total	207.90	100.00

ZONIFICACIÓN POR MUNICIPIO			
ZONIFICACIÓN	SUPERFICIE has	%	MUNICIPIO
Zona de restauración	5.1	2.46	GUADALAJARA
Zona de restauración	54.9	26.40	ZAPOPAN
Zona de protección	4.7	2.25	GUADALAJARA
Zona de protección	3.6	1.71	ZAPOPAN
Zona de uso público	6.7	3.21	ZAPOPAN
Zona de infraestructura	3.3	1.59	GUADALAJARA
Zona de infraestructura	3.2	1.55	ZAPOPAN
Zona Bosque Los Colomos	90.8	43.69	GUADALAJARA
Zona de uso especial	13.8	6.66	GUADALAJARA
Zona de uso especial	21.8	10.47	ZAPOPAN
Total	207.90	100.00	

Zona de Protección

Se considera las superficies dentro del Área Natural Protegida, que requieren de un cuidado especial para asegurar su conservación a largo plazo por la función ambiental de recarga de agua al manto freático, suman 8.2 hectáreas, tendrán por objeto mantener las condiciones de los ecosistemas representativos de las áreas, así como la continuidad de los procesos ecológicos.

Zona de Uso Especial

Esta zona comprende una superficie de 35.6 hectáreas, integra diversos predios, algunos sin uso aparente; dentro de estos predios, se encuentra el vivero El Guamúchil, el cual está dedicado a las actividades de producción, propagación de plantas y compostaje, es administrado por el Ayuntamiento de Zapopan. Los otros predios tienen un potencial para el desarrollo de infraestructura o vivienda, la cual, en caso de desarrollarse, deberán asegurar y mantener las condiciones de permeabilidad de suelo que salvaguarden la protección de los acuíferos de la zona, que contemple mantener los servicios ambientales y que estén sujetos a estrictas regulaciones de uso del suelo.

Zona de Uso Público

Las zonas de uso público presentan atractivos naturales para la realización de actividades de recreación y esparcimiento, en donde es posible mantener concentraciones de visitantes, en los límites que se determinen con base en la capacidad de carga de las áreas; estas zonas son abiertas y presentan elementos arbóreos y jardines, son aptas para la realización de actividades recreativas, de esparcimiento, de educación ambiental y deporte.

La superficie destinada a uso público es de 6.7 hectáreas

Zona de restauración

Estas zonas se encuentran severamente alteradas o degradadas, por ello el énfasis en la restauración con el fin de restablecer sus funciones ambientales. El objetivo de estas zonas es controlar los problemas de erosión y asegurar la colonización exitosa de comunidades nativas bien adaptadas de árboles y sotobosque. Otros valores como la resiliencia, la infiltración y la generación de hábitat para fauna se beneficiarán con el manejo adecuado. Abarcan un total de 60 hectáreas.

En estas zonas deberán utilizarse preferentemente para su rehabilitación, especies nativas de la región; o en su caso especies compatibles con el funcionamiento y la estructura de los ecosistemas originales. Las zonas de Restauración tendrán carácter provisional y deberán ser monitoreadas y evaluadas periódicamente para detectar los cambios que se presenten, una vez que éstas hayan sido rehabilitadas, se les determinará cualquier otro tipo de zonas acorde a los objetivos y modalidad del área protegida.

Zona de Infraestructura

En esta zona se considera la superficie destinada al paso de vehículos, corresponde principalmente a la Av. Patria (la vialidad y la banqueta), tiene una superficie aproximada de 6.5 hectáreas.

Zona Bosque Los Colomos

Se considera el total del polígono del Área Municipal de Protección Hidrológica Bosque Los Colomos, cuya superficie total es de 90.8 hectáreas y para su adecuado manejo se considerará lo establecido en la actualización del Programa de Aprovechamiento denominado Plan Maestro 2013 el cual señala la siguiente subzonificación;

- a. **Subzona de Uso Público Intensivo.** Estas son zonas donde no es necesario restablecer las funciones ecológicas, sino más bien facilitar el uso público intensivo. Son zonas abiertas con una densidad de árboles muy baja y jardines de alto mantenimiento (podas y riego). Si bien se promueve la irrigación, se recomienda usar especies ornamentales nativas que no requieran irrigación excesiva y que no sean invasoras.
- b. **Subzona de bosque en transición pino---encino.** Zonas donde se requieren intervenciones sutiles de restauración, donde el enfoque es mejorar su resiliencia a través de la sustitución paulatina de especies (exóticas a nativas). Se promoverán los aclareos y podas para mejorar el vigor de las especies nativas y promover el desarrollo de sotobosque y se deberá de asegurar la colonización exitosa de comunidades nativas. Otros valores como la infiltración y la generación de hábitat para fauna se beneficiaran con el manejo adecuado de estas zonas. Se deberá reforestar con especies arbóreas y de sotobosque asociadas al bosque de pino-encino.
- c. **Suzona de bosque en transición tropical caducifolio - encinar.** Zonas donde se requieren intervenciones sutiles de restauración con el enfoque de mejorar su resiliencia a través de la sustitución paulatina de especies (exóticas a nativas). Se promoverán los aclareos y podas para mejorar el

vigor de las especies nativas y promover el desarrollo de sotobosque y se deberá de asegurar la colonización exitosa de comunidades nativas. Otros valores como la infiltración y la generación de hábitat para fauna se beneficiaran con el manejo adecuado de estas zonas. Se deberá reforestar con especies arbóreas y de sotobosque asociadas al bosque de tropical caducifolio y encinar

- d. **Subzona de bosque en transición galería.** Estas son zonas riparias o de humedales, con cauces temporales, que están relativamente bien conservadas. Se promoverán los aclareos y podas para mejorar el vigor de las especies nativas y promover el desarrollo de sotobosque y se deberá de asegurar la colonización exitosa de comunidades nativas. Otros valores como la infiltración y la generación de hábitat para fauna se beneficiaran con el manejo adecuado de estas zonas. Se deberá reforestar con especies arbóreas y de sotobosque asociadas al bosque de galería.
- e. **Subzona de uso especial.** Zonas destinadas a la administración y asistencia a visitantes, así como edificaciones ocupadas por concesionarios que son independientes a la administración del Bosque Los Colomos.
- f. **Subzona de restauración.** En estas zonas se presenta procesos de degradación, por lo que se deberán de ejecutar acciones tendientes a la recuperación. Estas zonas, a excepción del Jardín del Agua, deben de estar restringidas al público, por lo que solamente se permiten recorridos guiados.

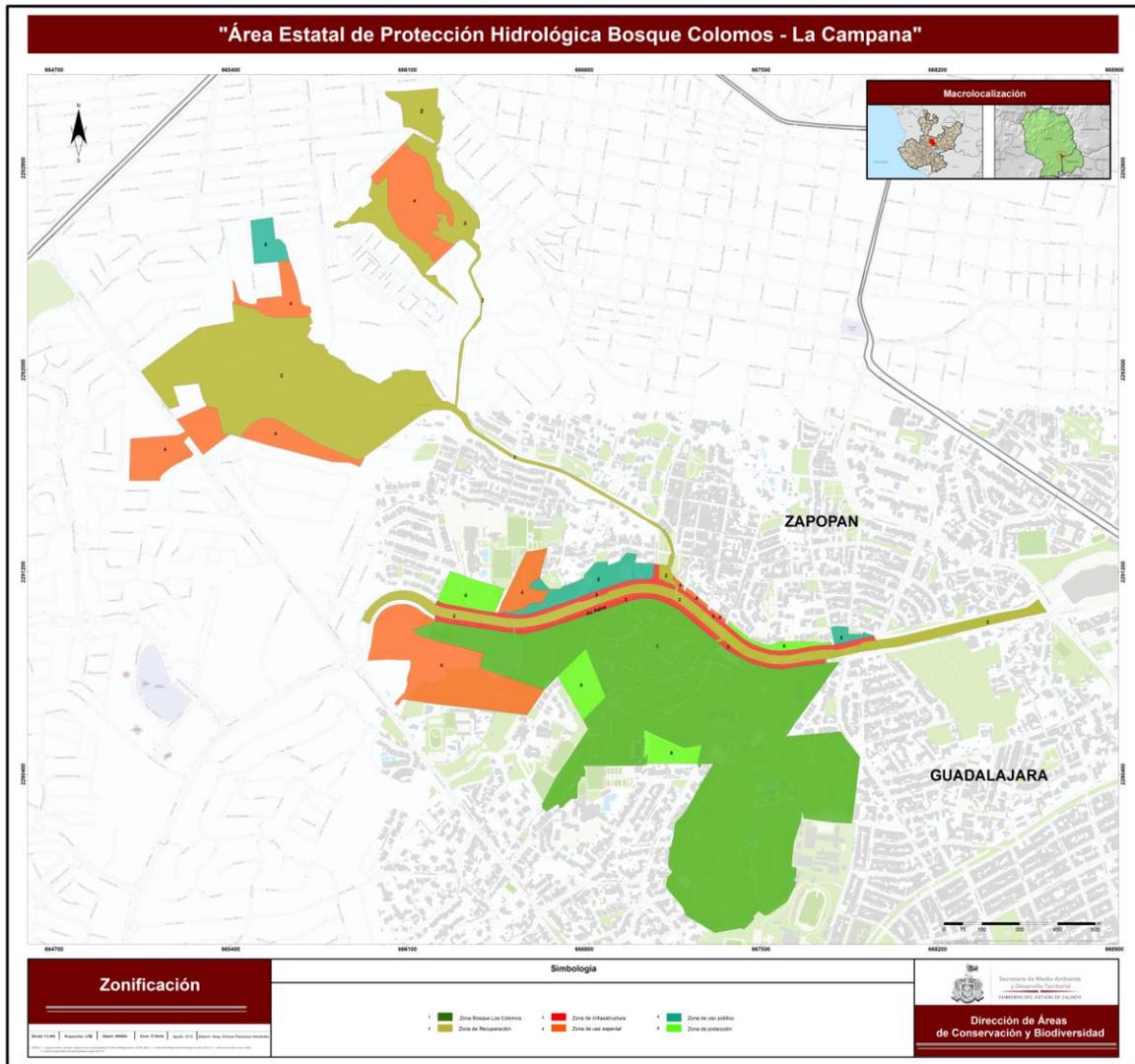


Figura No. 48. Mapa de zonificación

XVIII. PROGRAMA DE CONSERVACIÓN Y MANEJO

Introducción

El Programa de Conservación y Manejo (de Aprovechamiento, como lo establece la LEEPA), es un documento rector de planificación en el cual se establecen lineamientos, actividades y acciones para el manejo y la administración del Área Estatal de Protección Hidrológica “Bosque Colomos – La Campana”, es concebido como una herramienta dinámica y flexible, que identifica, analiza y jerarquiza la problemática ambiental y socioeconómica asociada al uso de los recursos naturales en el área con la finalidad de facilitar la toma de decisiones; asimismo plantea las directrices de conservación y define una zonificación con una serie de componentes de manejo.

El Área Natural Protegida, con el carácter de Área Estatal de Protección Hidrológica Colomos-La Campana se ubica en los municipios de Guadalajara y Zapopan, su superficie total es de 207.90 hectáreas, comprendidas entre las coordenadas extremas expresadas en metros con la proyección Universal Transversa de Mercator y Datum WGS84.

Nº	X	Y
1	664998.0993	2293115.149
2	668631.722	2289772

Las coordenadas del cuadro de construcción se encuentran en el apartado de Anexos.

Para conservar los recursos naturales y atender integralmente las distintas actividades que se encuentran en el área, es necesario abordarlos desde una perspectiva de la condición que guardan cada uno de ellos en el polígono definido, por ello se representa en una tabla, donde se identifican los recursos naturales y se describe la situación encontrada, así como la manera de abordar el problema identificado.

Tabla No. 13. Recursos a proteger, Diagnostico y Estrategia

Recurso a proteger/ actividad por regular	Diagnóstico	Estrategia
Fauna	Perdida del hábitat, vandalismo hacia madrigueras y a especies, especies exóticas e invasoras; y de	Aumentar los hábitats para la fauna; controlar y erradicar las actividades de uso público que contribuyen a la pérdida

	forma indirecta: erosión, contaminación hídrica, auditiva, y lumínica, invasión de hábitats, y proliferación de senderos y veredas.	del hábitat; y controlar a las especies exóticas e invasoras.
Suelo	Erosión severa en algunos sitios. Causas: erosión hídrica por drenajes pluviales y compactación del suelo debido al uso público incontrolado	Controlar los problemas de erosión, aumentar la capacidad de infiltración y promover el desarrollo de los suelos.
Agua	Falta de control de volúmenes de agua; contaminación por fracturas y falta de capacidad de los drenajes sanitarios subterráneos; falta de manejo enfocado a aumentar la capacidad de infiltración para la recarga de acuíferos y el control de inundaciones; y zonas riparias abandonadas.	Restaurar los manantiales, estanques y cauces de agua para crear zonas riparias y humedales representativos de la región, libres de contaminación.
Vegetación	Especies inadecuadas (exóticas); ausencia de manejo silvícola adecuado (aclareos y podas); ausencia de sotobosque (hierbas y arbustos debajo de los árboles); falta de vigor del arbolado y susceptibilidad a plagas y enfermedades, debido a la competencia entre árboles (alta densidad); falta de estrategia de reforestación y de sanidad; y especies invasoras.	Bosque diverso con especies nativas y resiliente, con una estructura forestal con dosel moderadamente abierto que mejorará las oportunidades para la regeneración de árboles y sotobosque, lo que conllevará al incremento de hábitat para fauna, mejorará la capacidad de infiltración y promoverá la formación de suelos.
Uso público	Redes de caminos y senderos causando fragmentación y erosión;	Regular y controlar eficazmente las actividades de uso

	falta de respeto por parte de los usuarios a la señalización existente; falta de capacidad del personal operativo para controlar y evitar la apertura de veredas por usuarios; infraestructura inadecuada e insuficiente para soportar la cantidad de usuarios; provocando fragmentación y pérdida del hábitat.	público con el fin de disminuir su impacto al ecosistema.
Clima	Se pronostica que el clima cambie de forma tal que los desastres sean cada vez más frecuentes e intensos, los cuales se agudizarán con la alta vulnerabilidad de los sistemas naturales y sociales; en particular, cuando los sistemas naturales han sido fragmentados o degradados	Elaborar un programa de adaptación ante el cambio climático. Restauración de zonas riparias. Mejorar capacidad de infiltración a través de la restauración de vegetación y suelo.
Investigación y monitoreo	El monitoreo del manejo del área y la generación de información, a través de la investigación, juegan un papel fundamental para mejorar el entendimiento del ecosistema y para fortalecer el manejo	Elaborar un programa de adaptación ante el cambio climático para el área natural protegida en coordinación con la academia. Mejorar capacidad de infiltración a través de la restauración de vegetación y suelo.

El presente programa de conservación y manejo se desarrolla en diferentes componentes atendiendo el recurso natural a proteger, de igual manera, cada uno de los componentes a su vez están conformados por estrategias, estableciéndose para cada una de ellas los objetivos, metas y la zonificación donde se llevará a cabo, así mismo se establecen los plazos de ejecución de cada una.

COMPONENTES

Conservación de suelo

Objetivo: Controlar los problemas de erosión, aumentar la capacidad de infiltración y promover el desarrollo de los suelos.

Estrategias:

Control de erosión y capacidad de infiltración. Dada la relación entre cobertura forestal, infiltración y desarrollo de suelos, las obras de conservación de suelos y la sustitución de especies serán factores claves para controlar los problemas de erosión y aumentar la capacidad de infiltración en el área natural protegida.

Se plantea una sustitución paulatina de especies vegetales exóticas, por especies nativas que propicien el desarrollo de sotobosque (hierbas y arbustos) para el enriquecimiento del suelo y para aumentar la capacidad de infiltración.

Control de aguas pluviales. Otro factor clave será el control de los volúmenes de agua de los drenajes pluviales que desembocan en el bosque con el fin de detener la erosión hídrica, por lo que se requerirán obras de infraestructura hidráulica de bajo impacto que propicien la infiltración y contribuyan a la función del ecosistema.

Uso público. Dada la fragilidad de los suelos del Área Estatal de Protección hidrológica, la regulación y eliminación de actividades de uso público que los degraden será fundamental.

Tabla No. 14. Estrategias del componente Conservación del suelo

Estrategias	Actividades	Zonificación	Plazos
Control de erosión y capacidad de infiltración	Estudio de aguas superficiales. Proyecto ejecutivo restauración de humedales. Construcción de infraestructura hidráulica y restauración de humedales. Restauración de cauces y manantiales.	Zona de Uso Público, Zona de Restauración, Zona de Uso Especial y Zona de Protección	Corto Plazo, Mediano Plazo y Largo Plazo
Control de aguas pluviales	Elaborar plan de acción para reparación de drenajes pluviales y sanitarios. Reparación de drenajes pluviales	Zona de Restauración, Zona de Uso Público, Zona de Uso Especial	Corto Plazo y Mediano Plazo
Uso público	Estudio de red de caminos para corredores. Señalización	Zona de Uso Público	Corto Plazo y Mediano Plazo

Manejo de agua

Objetivo: Restaurar los manantiales, estanques artificiales y cauces de agua para crear zonas riparias y humedales representativos de la región, libres de contaminación.

Estrategias:

Control de aguas pluviales. Controlar los volúmenes de agua pluvial que desembocan en el bosque será fundamental para controlar la erosión hídrica en el bosque; se necesitan estudios de aguas superficiales para todos los cauces superficiales con el fin de determinar qué tipo de obras hidráulicas se requieren. Sin embargo, estas obras deberán de ser de bajo impacto y deberán respetar el paisaje, con el fin de disminuir el impacto al ecosistema.

Restauración de zonas riparias. Una vez construidas las obras para controlar los volúmenes de agua, se deberán restaurar los arroyos, estanques artificiales y manantiales, con el fin de recuperar humedales representativos de la región y así propiciar mayores beneficios ambientales.

Aumentar capacidad de infiltración y control de inundaciones. Restaurar el bosque con el objetivo de aumentar la capacidad de infiltración y para el control de inundaciones; se espera que con las estrategia de manejo de suelo y vegetación se logren estos objetivos.

Reparación de drenajes pluviales y sanitarios. Reparar y monitorear las redes de drenajes pluviales y sanitarios será indispensable para detener la contaminación hídrica. Se necesitará una estrecha coordinación con personal del SIAPA y se deberá elaborar un plan de acción para reparar y monitorear las redes de drenaje que están contaminando al bosque.

Tabla No. 15. Estrategias del Componente Manejo del Agua

Estrategias	Actividades	Zonificación	Plazos
Control de aguas pluviales	Realizar estudios de aguas superficiales para calcular volúmenes de agua	Zona de Protección, de Restauración, de Uso Público	Corto y Mediano Plazo
Restauración de zonas riparias	Reforestación con vegetación nativa, con especies arbóreas y sotobosque asociadas al bosque de galería y tropical caducifolio	Zona de Protección, de Restauración, de Uso Público, de Uso Especial	Mediano y Largo Plazo
Aumentar capacidad de	Construcción de obras de infraestructura hidráulica y	Zona de Protección, de	Mediano y Largo Plazo

infiltración y control de inundaciones	restauración de la zona	Restauración, de Uso Público, de Uso Especial	
Reparación de drenajes pluviales y sanitarios	Elaborar plan de acción para reparación de drenajes pluviales y sanitarios. Reparación de drenajes pluviales	Zona de Uso Público, de Restauración y de Protección	Corto y Mediano Plazo

Incremento a la vegetación

Objetivo: Crear un bosque diverso (con especies nativas) y resiliente, con una estructura forestal con dosel moderadamente abierto que mejorará las oportunidades para la regeneración de árboles y sotobosque, lo que conllevará al incremento de hábitat para fauna, mejorará la capacidad de infiltración y promoverá la formación de suelos.

Estrategias:

Sustitución de especies. La estrategia de manejo de la vegetación está centrada en la sustitución paulatina del bosque con especies nativas con el fin de restablecer los procesos ecológicos necesarios para aumentar la capacidad de resiliencia del área protegida, además de fines educativos.

Actividades de silvicultura. Se promoverán los aclareos para lograr una densidad ideal por rodal, con el fin de mejorar el vigor del arbolado, hacerlo más resistente a enfermedades y promover el crecimiento de sotobosque. Se sugiere que la densidad de árboles máxima por rodal sea de 250 árboles por hectárea, tanto para promover el crecimiento de otras especies de arbustos y hierbas que forman el sotobosque, como para mejorar el vigor del arbolado. En zonas abiertas de uso intensivo la densidad de árboles por hectárea se sugiere que sea mucho menor.

Estrategia de sanidad. Se debe elaborar un inventario de sanidad por rodal. Este estudio deberá determinar las acciones para el manejo forestal adecuado.

Desarrollo de sotobosque. La promoción del desarrollo de sotobosque (hierbas y arbustos) será esencial, tanto para la Restauración del suelo, como para aumentar la capacidad de infiltración del área natural y para la generación de hábitat para especies de fauna nativa.

Control de especies invasoras. En cuanto al control de especies invasoras, se recomienda controlar y erradicar las poblaciones manualmente, y se deberá realizar un programa para la erradicación de estas especies. Se deberá priorizar el

derribo de arbolado exótico joven para evitar su desarrollo y generar espacio para las especies nativas.

Producción de planta (vivero). Para poder realizar esta estrategia, será necesario contar con un vivero para la producción de especies tanto de sotobosque como de árboles. Este vivero también podrá ser demostrativo (para la educación ambiental) y para producción de plantas no comerciales nativas, para restauración de otros sitios de la región. Se deberá contar con un programa de producción de planta, el cual describa los procedimientos para la recolección de semilla y producción, entre otros.

Incendios. En cuanto a incendios, será indispensable elaborar un programa de prevención, control y combate de incendios forestales; además de contar con un módulo equipado, con la herramienta necesaria y brigadistas capacitados.

Tabla No. 16. Estrategias del Componente Incremento a La Vegetación

Estrategias	Actividades	Zonificación	Plazos
Sustitución de especies	Realizar el inventario forestal	Zona de Protección, de Restauración, de Uso Público, de Uso Especial	Mediano y Largo Plazo
Actividades de silvicultura	Definir estrategia de manejo forestal por rodal (definición de densidad ideal por rodal)	Zona de Protección, de Restauración, de Uso Público	Mediano y Largo Plazo
Estrategia de sanidad	Diagnóstico sanitario de la vegetación en el área natural Programa de sanidad forestal	Zona de Protección, de Restauración, de Uso Público, de Uso Especial	Mediano y Largo Plazo
Desarrollo de sotobosque	Programa de Restauración de la vegetación en los estratos arbustivo y pastizal	Zona de Protección, de Restauración, de Uso Público.	Mediano y Largo Plazo
Control de especies invasoras	Elaborar programa de control de especies exóticas e invasoras	Zona de Protección, de Restauración, de Uso Público, de Uso Especial	Mediano y Largo Plazo
Producción de	Elaborar programa de	Zona de	Mediano y

planta	producción de planta	Restauración, Uso público y Uso Especial	Largo Plazo
Incendios	Elaborar programa de control y prevención de combate de incendios Conformar brigada forestal capacitada y equipada	Zona de Protección y Restauración	Corto, Mediano y Largo Plazo

Manejo de fauna

Objetivo: Aumentar los hábitats para la fauna; regular las actividades de uso público que contribuyen a la pérdida del hábitat; y controlar a las especies exóticas e invasoras.

Estrategia:

Mejora de hábitat para la fauna. Teniendo en cuenta que las características para que el área natural albergue a una alta diversidad de fauna tienen que ver no solo con su composición topográfica (cañadas, planicies y hondonadas), sino también con los cauces de arroyos de temporal y manantiales permanentes, con su masa forestal bien establecida, y con zonas de pastizales y arbustos densas que ofrecen en su conjunto una amplia diversidad de hábitats, es entonces que se debe de enfocar el manejo en propiciar y conservar estos hábitats, con el fin de incrementar la incidencia y abundancia de la fauna nativa.

Control de especies exóticas e invasoras. Si bien es complicado erradicar especies exóticas e invasoras en lugares abiertos, se deben tomar medidas para no propiciar su incidencia y abundancia. Esto aplica a palomas, zanates, gorriones domésticos y ardillas; por lo que se tendrá que promover el desarrollo de las especies nativas y educar al público en ese sentido.

Investigación. Se deberán elaborar estudios que arrojen la información necesaria para proponer estrategias de manejo en el bosque. En particular se necesitan estudios para completar los inventarios de los grupos nativos de fauna (ej. mamíferos y reptiles); estudios que analicen los efectos de fauna exótica e invasora y que determinen la estrategia de control y erradicación de dichas especies; y estudiar los requerimiento de hábitats necesarios para especies de importancia, como endémicas y en peligro.

Tabla No. 17. Estrategias del Componente Manejo de Fauna

Estrategias	Actividades	Zonificación	Plazos
Mejora de hábitat para la	Implementar las actividades definidas para Conservación de	Zona de Protección, de	Corto, Mediano y

fauna	Suelo e Incremento a la Vegetación	Restauración, de Uso Público, de Uso Especial	Largo Plazo
Control de especies exóticas e invasoras	Dejar de alimentar a la fauna (de acuerdo a estudios)	Zona de Restauración, de Uso Público, de Uso Especial	Corto Plazo
Investigación.	Realizar estudio de control de especies exóticas e invasoras Elaborar estudios de fauna (nativa, invasora y exótica) y completar inventarios	Zona de Protección, de Restauración, de Uso Público, de Uso Especial	Mediano y Largo Plazo

Uso público

Objetivo: Regular y controlar eficazmente las actividades de uso público con el fin de disminuir su impacto al ecosistema.

Estrategias:

Redes de caminos y senderos. Dado que la mayor parte de los usuarios de los caminos y senderos son los corredores, se necesita hacer un estudio específico de esta actividad.

Capacidad de carga en sitios frágiles. Estos sitios con importancia biológica o sitios muy degradados en proceso de restauración son muy importantes para la interpretación ambiental, sin embargo, su uso debe de ser restringido.

Tabla No. 18. Estrategias del Componente Uso Público

Estrategias	Actividades	Zonificación	Plazos
Redes de caminos y senderos	Estudio de red de caminos para corredores. Programa de señalización.	Zona de Uso Público	Corto Plazo, Mediano Plazo y Largo Plazo
Capacidad de carga en sitios frágiles	Realizar estudio para definir la capacidad de carga y cambio de uso de suelo aceptable. Reglamento de uso para el visitante.	Zona de Uso Público	Corto y Mediano Plazo

Cambio climático

Objetivo: Incrementar la capacidad de resiliencia del ecosistema, mantener su funcionalidad y su biodiversidad, y con ello disminuir su vulnerabilidad ante el cambio climático.

Estrategia:

Mitigación y adaptación al cambio climático debe estar orientada a coadyuvar en el incremento de la resiliencia de los ecosistemas para asimilar las perturbaciones y eventos extremos del clima (tormentas o sequías) y para reducir la vulnerabilidad de las comunidades.

A pesar de que los bosques urbanos, como todos los demás ecosistemas, no pueden dejar de ser por completo vulnerables a los impactos del cambio climático, el manejo bien pensado puede mejorar su resiliencia y ayudar a las ciudades y comunidades a adaptarse mejor.

Las estrategias enmarcadas en el presente programa de manejo están encaminadas a incrementar la resiliencia del bosque y a mejorar los servicios ambientales.

Tabla No. 19. Estrategias del Componente Cambio Climático

Estrategias	Actividades	Zonificación	Plazos
Mitigación y adaptación al cambio climático	Elaborar un programa de adaptación ante el cambio climático para el área natural protegida en coordinación con la academia.	Zona de Protección, de Restauración, de Uso Público, de Uso Especial	Corto Plazo, Mediano Plazo y Largo Plazo
	Restauración de zonas riparias, para controlar los altos volúmenes de aguas pluviales, prevenir inundaciones, daños en sistemas de drenaje urbano y para regulación del clima.	Zona de Protección, de Restauración, de Uso Público, de Uso Especial	Corto y Mediano Plazo
	Mejorar capacidad de infiltración a través de la restauración de vegetación y suelo.	Zona de Protección, de Restauración, de Uso Público, de Uso Especial	Corto Plazo, Mediano Plazo y Largo Plazo

Investigación y monitoreo

Como se ha mencionado en otros apartados, el manejo del área natural protegida se enfocará en el manejo adaptativo, el cual se basa en el reconocimiento de que los ecosistemas son entendidos solo parcialmente, por lo que es necesario hacer ajustes al manejo conforme se vaya generando información que ayude a entender mejor el ecosistema.

Es por ello que el monitoreo del manejo del área y la generación de información, a través de la investigación, juegan un papel fundamental para mejorar el entendimiento del ecosistema y para fortalecer el manejo.

Objetivo: Monitorear constantemente el manejo del bosque y generar información relevante con el fin de tener un mejor entendimiento del ecosistema y con ello tener un manejo adecuado.

Estrategia: La estrategia deberá ir dirigida tanto a la generación de información, como al monitoreo constante del manejo del bosque para evaluar los resultados y lecciones aprendidas que han resultado del manejo en el tiempo.

Vínculos con universidades. Los vínculos con diversas instituciones de investigación serán fundamentales tanto para la generación de información, como para el monitoreo, por lo que se deberá consolidar un comité de investigación y establecer convenios con universidades e instituciones relacionadas, con el fin de lograr una eficiente vinculación y cooperación científica que permita establecer las líneas de investigación continua a fin de generar los conocimientos necesarios para el manejo adecuado del área natural protegida.

Tabla No. 20. Estrategias del Componente Investigación y Monitoreo

Estrategias	Actividades	Zonificación	Plazos
Generación de información	Establecer convenios de cooperación científica con instituciones académicas, fundaciones, instancias gubernamentales y privadas.	Zona de Protección, de Restauración, de Uso Público, de Uso Especial	Corto Plazo, Mediano Plazo y Largo Plazo
Monitoreo constante del manejo del bosque	Promover un programa de monitoreo para evaluar el comportamiento de los recursos naturales en el área protegida.	Zona de Protección, de Restauración, de Uso Público, de Uso Especial	Corto Plazo, Mediano Plazo y Largo Plazo

XIX. PROPUESTA DE OPERACIÓN DEL ÁREA NATURAL

Para el cumplimiento de los objetivos planteados en la declaratoria de área natural protegida de carácter estatal para el Área Estatal de Protección Hidrológica es necesario que exista una estructura administrativa encargada de vigilar la aplicación y cumplimiento del programa de conservación y manejo, reglamento de operación y procurar el recurso financiero que se invertirá en el área protegida.

La Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial (SEMADET), será la encargada de la administración y vigilancia del Área Natural Protegida, a través de sus áreas correspondientes, o de la coordinación que establezca con otras dependencias del Ejecutivo Estatal, Federal o Municipal.

De igual manera la SEMADET podrá celebrar acuerdos de coordinación para la administración y manejo del Área Estatal de Protección Hidrológica a una institución académica, organismo público, asociación civil u orden de gobierno que demuestre que cuenta con capacidad técnica, financiera y de gestión ambiental para instrumentar el programa de conservación y manejo.

Esquemas de Financiamiento para la Gestión del Área

El Área Estatal de Protección Hidrológica “Bosque Colomos - La Campana “ , requiere contar un diagnóstico de las necesidades y gastos financieros para su manejo, de manera que al poseer los recursos necesarios, le permita ejecutar su Programa de conservación y manejo, y demás proyectos relacionados con los objetivos de este documento.

Se requiere la implementación de estrategias para captar recursos financieros externos para proyectos especiales que ayuden al presupuesto estatal, así como la distribución de los recursos financieros, materiales y humanos asignados y/o gestionados para la misma.

Objetivos:

- 1.- Que la Administración del Área Estatal de Protección Hidrológica “Bosque Colomos - La Campana” gestione los recursos necesarios para la ejecución del Programa de conservación y manejo y de los programas operativos anuales (POA), a través de participaciones federales y del gobierno estatal.
- 2.- Promover con otras instancias federales, estatales y municipales donde se gestione los recursos económicos para llevar a cabo diversas acciones encaminadas a la restauración, conservación y preservación de los ecosistemas existentes.

3.- Diseñar e implementar un programa de financiamiento que identifique el ingreso y egreso para asegurar la gestión y captación de los recursos humanos, financieros y materiales (gubernamentales, no gubernamentales, externos y locales).

Estrategias

1.- Promover ante las dependencias que apoyan con recursos, de manera conjunta con el Gobierno del Estado, para establecer acuerdos y acciones, así como el desglose de los recursos que se destinarán, la calendarización y formas de aplicación de los mismos, así como las metas y beneficios que se persiguen y la designación de los responsables técnicos de su elaboración conjunta.

2.- Diseñar proyectos para alcanzar los objetivos planteados en el Programa de conservación y manejo y los POA'S.

3.- Planear y elaborar el Programa de Financiamiento del área natural protegida con base en el presupuesto.

4.- Identificar metas de recaudación y establecimiento de mecanismos de financiamiento flexible para la captación de fondos y apoyos para el desarrollo eficiente de las actividades operativas y administrativas.

Acciones

1.-Definir los requerimientos financieros y de infraestructura que el Área Estatal de Protección Hidrológica "Bosque Colomos - La Campana" requiere para su operación.

2.-Elaborar y proponer los POA's del año fiscal correspondiente.

3.-Gestionar recursos económicos de programas gubernamentales a través de solicitud directa.

4.-Identificar fuentes potenciales de financiamientos (Fundaciones, Agencias de Gobierno, Bancos internacionales, Empresas, etc).

5.-Diseñar proyectos para la obtención de recursos.

6.-Definir los proyectos prioritarios a desarrollar en el Área Estatal de Protección Hidrológica "Bosque Colomos - La Campana "

7.-Dar seguimiento a proyectos desarrollados y evaluar su efectividad.

XX. BIBLIOGRAFÍA

1. Colegio de Posgraduados (1991). Manual de Conservación del Suelo y del Agua. SPP-SARH. Chapingo, México.
2. CEAS. Acuíferos en Jalisco. (2009). <http://www.ceajalisco.gob.mx/acuiferos/atemajac.html> (vi: enero).
3. CNA (1989). Manual de Clasificación, Cartografía e interpretación de Suelos en base al Sistema de Taxonomía de Suelos. CNA-IMTA. Morelos, México.
4. Clifton Associates. (2003). Manifestación de Impacto Ambiental Modalidad Específica Centro JVC. Zapopan, Jal. México.
5. Clausen, S. J. (2004). Estudio Hidrogeológico para el predio denominado La coronilla en Zapopan, Jalisco. Documento inédito. sdt.
6. Colomos Bosque Urbano. Diciembre 2013. Plan Maestro 2013 – Planta Física. Jalisco, México.
7. FAO (1972) Guía para la Descripción de Perfiles de Suelo. Subdir. Reconocimiento y Fertilidad de Suelos. Dir. Fomento Tierras y Aguas. Roma, Italia.
8. FAO/UNESCO (1973) Definiciones de la Unidades de Suelos para el Mapa de suelos del Mundo. SRH. Dir. Agrología. México, D.F.
9. FAO (1979). Provisional Methodology of Soil Degradation Assessment. Dir. Fomento Tierras y Aguas. Roma, Italia.
10. GEOEX-SIAPA, 2003 Estudio de actualización hidrogeológica integral de las cuencas Atemajac-Toluquilla. Guadalajara, Jal. México.
11. Gobierno de Jalisco. (2001). Reglamento de la Ley Estatal del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. Diario oficial de gobierno. Jalisco, México.
12. Gobierno de Jalisco. (2007). Decreto de Área Natural Protegida Bajo La Categoría de Manejo de Área Municipal de Protección Hidrológica la zona conocida como Bosque Los Colomos. Periódico Oficial El Estado de Jalisco. Jalisco, México.
13. Gobierno de Jalisco. (2014). Decreto de Área Municipal de Protección Hidrológica Arroyo La Campana – Colomos III. Periódico Oficial El Estado de Jalisco. Jalisco, México.

14. INEGI (1988). Cartas Geológica, Topográfica y Edafológica E 1:50,000 F13-D65 Guadalajara Oeste. SPP. México.
15. Maciel-Flores R. y Rosas-Elguera, J. (1992). Modelo geológico y evaluación del campo geotérmico La Primavera, Jal., México. Geofísica Internacional, vol. 31, p. 359-370.
16. Medina G., G. y J. A. Ruiz C. (2005). SICA 2.5: Sistema de información para caracterizaciones agroclimáticas. Manual de instalación y guía del usuario. INIFAP. Calera de V. R., Zacatecas.
17. Patronato Bosque los Colomos y Universidad de Guadalajara, 2007. Programa de aprovechamiento, Área municipal de protección hidrológica "Bosque Los Colomos".
18. Rodríguez, T. F. (1981). Elementos del Ecurrimiento Superficial. UACH. Chapingo, México.
19. Ruiz, C. J. A. et al (2003). Estadísticas Climatológicas Básicas para el Estado de Jalisco. INIFAP-CIRPAC. Campo Experimental Centro de Jalisco. Libro Técnico No 1. Jalisco, México.
20. Rzedowski, J. (1983). Vegetación de México. Ed. LIMUSA. Mex.
21. SARH (1984). Inventario de los Diferentes Grados de Afectación por Erosión en el Estado de Jalisco Mediante Imágenes de satélite Escala 1:250,000. Contrato No CEP/JAL/001/83. DGCSA-DICSA. México.
22. Topete-Angel, J .P. (1987). Cálculo del Clima 2º Sist. C. W. Thornthwaite. 198 Est. Meteorológicas del Estado de Jalisco. Fac. Geografía, U de G. Jalisco, México.
23. Thornthwaite, C. W. (1948). An Approach Toward a Rational Classification of Climates. Trad. Pérez, E. M. Ingeniería Hidráulica en México. Vol. XXI, 1967. No 3. SRH. México.
24. Valdivia-Ornelas, L. Castillo-Aja, M. R. y García-Becerra, E. (2002). Caracterización geológico-geomorfológica del sistema de Barrancas Colomos. Revista Geografía y Gestión del Territorio Año. 1 Vol. 1 No. 2.
25. Valdivia-Ornelas, L. Castillo-Aja, M. R. (2003) Las Regiones Geomorfológicas, Revista Geocalli.

ANEXOS

Anexo 1. Cuadro de Construcción Polígono del Estudio Técnico Justificativo Área Estatal de Protección Hidrológica Bosque Colomos – La Campana

Nº DE VERTICE	X	Y
1	666220.687	2293115.149
2	666217.131	2293047.272
3	666217.613	2293039.777
4	666226.792	2293035.418
5	666227.490	2293031.011
6	666233.072	2293013.715
7	666248.604	2292998.770
8	666234.769	2292984.295
9	666238.852	2292962.707
10	666235.717	2292930.431
11	666226.727	2292901.044
12	666219.601	2292893.576
13	666209.905	2292888.858
14	666223.792	2292874.816
15	666223.521	2292871.454
16	666218.830	2292868.125
17	666215.549	2292863.167
18	666211.652	2292857.718
19	666213.754	2292851.978
20	666217.131	2292847.199
21	666216.282	2292845.089
22	666214.109	2292842.464
23	666212.119	2292839.855
24	666212.983	2292836.871
25	666214.184	2292834.073
26	666220.741	2292824.325
27	666225.180	2292820.327
28	666231.304	2292814.157
29	666233.010	2292807.924
30	666244.469	2292751.272
31	666251.910	2292733.217
32	666261.428	2292724.603
33	666280.030	2292707.396
34	666286.972	2292713.406
35	666309.279	2292693.712

36	666323.130	2292677.976
37	666348.413	2292647.009
38	666377.708	2292614.169
39	666383.787	2292594.440
40	666386.304	2292581.645
41	666385.551	2292573.057
42	666385.621	2292564.137
43	666383.511	2292559.252
44	666370.335	2292561.456
45	666368.990	2292554.703
46	666366.017	2292545.985
47	666363.072	2292532.201
48	666356.474	2292521.862
49	666354.621	2292518.396
50	666368.631	2292505.265
51	666376.785	2292499.412
52	666381.905	2292494.519
53	666382.086	2292494.324
54	666385.997	2292487.202
55	666385.160	2292482.277
56	666381.614	2292478.155
57	666383.950	2292476.715
58	666389.901	2292465.960
59	666389.774	2292460.383
60	666389.654	2292449.368
61	666384.507	2292437.611
62	666379.572	2292431.442
63	666373.346	2292424.538
64	666362.061	2292411.567
65	666355.118	2292403.147
66	666352.002	2292395.610
67	666350.750	2292391.025
68	666356.538	2292374.982
69	666368.454	2292346.228
70	666371.804	2292336.142

71	666380.540	2292321.560
72	666392.323	2292296.794
73	666400.497	2292280.170
74	666399.601	2292271.192
75	666397.943	2292266.474
76	666395.874	2292254.610
77	666393.667	2292242.669
78	666394.052	2292237.516
79	666392.339	2292224.336
80	666391.943	2292217.411
81	666391.072	2292209.745
82	666390.728	2292200.683
83	666386.977	2292196.469
84	666385.219	2292194.351
85	666381.997	2292191.932
86	666380.513	2292189.288
87	666379.249	2292184.969
88	666376.163	2292181.737
89	666373.648	2292177.224
90	666369.521	2292173.228
91	666364.003	2292166.346
92	666361.546	2292165.412
93	666357.745	2292165.213
94	666354.766	2292160.443
95	666352.248	2292156.466
96	666351.783	2292155.794
97	666348.057	2292152.254
98	666342.759	2292147.132
99	666337.805	2292139.872
100	666334.535	2292134.449
101	666330.127	2292126.318
102	666324.250	2292119.282
103	666322.750	2292108.164
104	666322.573	2292102.778
105	666316.275	2292063.168
106	666314.273	2292048.387
107	666313.877	2292043.638
108	666312.834	2292036.419
109	666311.909	2292028.250
110	666307.642	2292001.766
111	666305.837	2291990.424

112	666304.424	2291979.486
113	666304.436	2291958.816
114	666300.880	2291899.923
115	666298.596	2291878.736
116	666294.661	2291864.293
117	666296.104	2291851.901
118	666296.146	2291851.846
119	666297.066	2291849.182
120	666298.725	2291846.458
121	666301.164	2291844.672
122	666313.833	2291836.938
123	666333.754	2291824.706
124	666336.955	2291815.808
125	666341.754	2291804.154
126	666348.219	2291788.778
127	666354.399	2291775.165
128	666362.727	2291765.929
129	666367.603	2291761.817
130	666373.730	2291757.269
131	666377.878	2291754.250
132	666392.454	2291745.096
133	666410.832	2291733.279
134	666427.596	2291722.649
135	666444.095	2291712.227
136	666464.737	2291698.805
137	666470.513	2291695.190
138	666481.635	2291687.790
139	666496.485	2291678.424
140	666502.709	2291674.348
141	666515.929	2291666.717
142	666528.474	2291660.016
143	666550.672	2291651.550
144	666566.176	2291647.189
145	666623.398	2291632.732
146	666633.253	2291630.321
147	666654.974	2291624.636
148	666671.828	2291620.107
149	666701.473	2291610.386
150	666719.157	2291603.102
151	666743.091	2291591.776
152	666770.845	2291576.266

153	666814.322	2291551.016
154	666836.616	2291537.993
155	666852.726	2291528.651
156	666878.449	2291513.864
157	666897.776	2291502.607
158	666917.635	2291491.128
159	666932.731	2291482.192
160	666950.621	2291471.814
161	666976.701	2291456.793
162	667007.045	2291439.151
163	667022.961	2291428.800
164	667035.116	2291419.669
165	667049.309	2291410.787
166	667077.957	2291397.872
167	667091.509	2291392.237
168	667102.291	2291381.498
169	667105.264	2291377.330
170	667109.937	2291371.098
171	667113.859	2291366.047
172	667116.050	2291370.581
173	667119.518	2291366.903
174	667122.994	2291362.771
175	667127.096	2291356.246
176	667130.838	2291351.581
177	667133.867	2291345.448
178	667139.454	2291332.536
179	667148.586	2291309.743
180	667147.380	2291307.297
181	667153.418	2291288.154
182	667156.355	2291278.603
183	667156.286	2291274.850
184	667157.392	2291272.288
185	667157.105	2291267.976
186	667155.667	2291261.938
187	667154.517	2291252.738
188	667153.080	2291252.163
189	667150.205	2291236.063
190	667149.055	2291227.151
191	667146.467	2291224.563
192	667143.017	2291221.976
193	667141.292	2291211.338

194	667142.442	2291205.301
195	667143.305	2291200.701
196	667147.330	2291193.226
197	667156.242	2291184.313
198	667155.494	2291183.371
199	667172.886	2291167.533
200	667194.077	2291145.699
201	667190.892	2291130.066
202	667193.214	2291128.853
203	667202.805	2291122.827
204	667203.067	2291136.709
205	667203.709	2291138.956
206	667231.001	2291121.297
207	667249.945	2291102.032
208	667289.438	2291068.961
209	667287.210	2291055.034
210	667289.625	2291053.025
211	667299.159	2291045.017
212	667300.676	2291058.365
213	667324.115	2291041.347
214	667341.454	2291026.899
215	667361.682	2291009.239
216	667357.345	2290997.674
217	667364.434	2290992.571
218	667367.612	2290990.291
219	667371.331	2291004.333
220	667433.403	2290954.284
221	667447.250	2290945.343
222	667449.493	2290939.110
223	667460.203	2290934.071
224	667471.758	2290928.197
225	667487.164	2290923.892
226	667500.060	2290918.445
227	667508.723	2290916.163
228	667518.074	2290912.156
229	667528.711	2290910.316
230	667549.341	2290913.333
231	667556.729	2290917.317
232	667563.255	2290921.956
233	667568.913	2290925.933
234	667579.198	2290926.253

235	667594.958	2290925.974
236	667607.214	2290926.095
237	667619.033	2290925.559
238	667631.506	2290925.247
239	667689.218	2290923.431
240	667726.081	2290922.729
241	667750.755	2290922.113
242	667764.446	2290921.818
243	667778.163	2290921.303
244	667780.422	2290911.696
245	667791.161	2290912.641
246	667776.776	2290980.470
247	667781.495	2290983.582
248	667788.658	2290984.869
249	667803.610	2290986.144
250	667817.782	2290985.033
251	667837.209	2290983.968
252	667847.054	2290982.001
253	667846.560	2290972.617
254	667845.547	2290956.310
255	667852.510	2290955.814
256	667860.445	2290955.524
257	667883.930	2290953.679
258	667903.576	2290954.293
259	667905.456	2290959.131
260	667906.162	2290963.559
261	667925.377	2290955.303
262	667940.872	2290951.763
263	667948.423	2290948.934
264	667949.607	2290946.243
265	667948.091	2290943.529
266	667955.807	2290930.480
267	667955.752	2290930.461
268	667958.142	2290930.724
269	667989.248	2290934.380
270	668024.174	2290938.981
271	668075.569	2290950.799
272	668164.208	2290972.174
273	668228.091	2290987.992
274	668328.794	2291011.478
275	668378.369	2291023.145

276	668451.998	2291039.462
277	668514.505	2291049.434
278	668552.489	2291059.169
279	668566.621	2291067.869
280	668586.918	2291083.815
281	668598.058	2291093.295
282	668631.722	2291042.271
283	668465.794	2291005.915
284	668442.496	2291000.087
285	668411.771	2290992.989
286	668328.721	2290972.572
287	668296.593	2290965.563
288	668251.360	2290953.033
289	668238.925	2290949.809
290	668220.904	2290945.358
291	668209.991	2290942.127
292	668191.345	2290938.473
293	668174.781	2290933.889
294	668125.237	2290923.579
295	668103.220	2290918.548
296	668071.777	2290911.062
297	668045.874	2290905.467
298	668021.220	2290901.869
299	667980.857	2290898.319
300	667962.187	2290894.806
301	667926.983	2290889.561
302	667892.056	2290885.307
303	667865.796	2290878.241
304	667828.469	2290869.787
305	667803.141	2290863.215
306	667779.785	2290857.462
307	667761.437	2290856.401
308	667761.637	2290839.763
309	667788.000	2290842.100
310	667810.000	2290843.100
311	667767.988	2290786.908
312	667762.000	2290776.900
313	667754.000	2290764.800
314	667731.000	2290733.200
315	667713.000	2290709.500
316	667703.000	2290694.700

317	667690.000	2290677.900
318	667680.000	2290662.900
319	667669.000	2290648.000
320	667658.000	2290633.200
321	667647.000	2290618.400
322	667636.000	2290603.100
323	667624.000	2290585.200
324	667599.000	2290549.200
325	667623.000	2290551.400
326	667658.000	2290554.500
327	667662.000	2290554.900
328	667692.000	2290557.401
329	667711.000	2290559.200
330	667728.000	2290560.700
331	667745.000	2290562.200
332	667763.000	2290563.800
333	667779.000	2290565.200
334	667796.000	2290566.700
335	667815.000	2290568.400
336	667835.999	2290539.101
337	667852.999	2290517.301
338	667892.000	2290467.700
339	667878.000	2290351.400
340	667866.000	2290252.700
341	667859.000	2290205.100
342	667793.000	2290209.400
343	667751.000	2290215.000
344	667716.000	2290219.100
345	667675.000	2290225.100
346	667668.000	2290226.000
347	667665.000	2290263.700
348	667657.000	2290209.700
349	667652.000	2290195.000
350	667632.000	2290136.000
351	667631.000	2290134.100
352	667631.000	2290131.800
353	667627.000	2290097.400
354	667622.000	2290047.600
355	667621.000	2290033.400
356	667639.000	2290030.000
357	667639.000	2289996.201

358	667630.000	2289976.800
359	667641.000	2289972.300
360	667634.000	2289956.900
361	667602.000	2289895.000
362	667531.000	2289845.500
363	667514.000	2289841.600
364	667490.000	2289858.900
365	667471.000	2289839.100
366	667472.000	2289825.300
367	667432.000	2289785.600
368	667423.000	2289792.101
369	667337.000	2289776.701
370	667317.000	2289772.100
371	667317.000	2289772.000
372	667313.000	2289774.700
373	667306.000	2289779.000
374	667281.000	2289793.800
375	667245.000	2289815.700
376	667200.000	2289842.900
377	667192.000	2289872.000
378	667170.000	2289897.200
379	667149.000	2289922.900
380	667138.000	2289936.600
381	667123.000	2289955.300
382	667124.000	2289959.600
383	667126.000	2289975.500
384	667129.000	2289992.800
385	667150.000	2290013.200
386	667135.000	2290031.600
387	667133.000	2290040.700
388	667138.000	2290112.800
389	667143.000	2290112.800
390	667153.000	2290154.800
391	667158.000	2290192.700
392	667161.000	2290208.600
393	667182.000	2290231.700
394	667191.000	2290241.800
395	667200.000	2290251.700
396	667209.000	2290267.100
397	667225.000	2290295.500
398	667241.000	2290324.000

399	667249.000	2290338.700
400	667272.000	2290379.600
401	667301.000	2290424.700
402	667305.000	2290431.800
403	667310.000	2290441.200
404	667268.000	2290441.900
405	667265.000	2290441.900
406	667257.000	2290421.900
407	667248.496	2290441.366
408	667158.363	2290443.378
409	667141.247	2290443.467
410	667047.000	2290442.462
411	667047.000	2290441.001
412	667046.000	2290439.000
413	667044.000	2290436.000
414	667023.000	2290435.000
415	666913.000	2290434.000
416	666807.000	2290434.000
417	666801.000	2290435.000
418	666797.000	2290426.000
419	666803.000	2290418.000
420	666803.000	2290391.000
421	666786.000	2290391.000
422	666784.000	2290391.000
423	666787.000	2290385.000
424	666783.998	2290380.999
425	666773.000	2290364.000
426	666773.000	2290361.000
427	666772.000	2290341.000
428	666772.000	2290339.000
429	666772.000	2290303.000
430	666749.000	2290303.000
431	666725.000	2290283.000
432	666719.000	2290274.000
433	666716.000	2290270.000
434	666700.000	2290266.000
435	666699.000	2290280.000
436	666694.000	2290282.000
437	666664.000	2290262.000
438	666648.999	2290252.000
439	666632.000	2290269.000

440	666635.000	2290277.000
441	666631.000	2290283.000
442	666636.000	2290287.000
443	666667.000	2290347.000
444	666689.000	2290388.000
445	666691.000	2290393.000
446	666695.000	2290398.000
447	666704.000	2290412.001
448	666713.000	2290426.000
449	666722.000	2290439.000
450	666742.000	2290468.000
451	666761.000	2290497.000
452	666780.000	2290524.000
453	666790.000	2290540.000
454	666804.000	2290561.000
455	666814.000	2290575.000
456	666816.000	2290579.000
457	666813.000	2290584.000
458	666796.756	2290612.666
459	666695.047	2290789.019
460	666694.000	2290788.000
461	666647.001	2290739.004
462	666640.390	2290734.289
463	666641.252	2290733.427
464	666571.955	2290633.366
465	666568.119	2290634.056
466	666568.196	2290633.980
467	666560.448	2290635.054
468	666529.303	2290639.119
469	666495.242	2290643.569
470	666439.012	2290650.933
471	666408.557	2290654.845
472	666368.743	2290660.062
473	666327.088	2290664.665
474	666287.888	2290669.037
475	666232.424	2290675.021
476	666212.556	2290677.936
477	666183.405	2290682.232
478	666138.758	2290688.752
479	666083.909	2290696.807
480	666074.933	2290692.818

481	666066.572	2290676.248
482	666057.596	2290673.333
483	666048.237	2290676.632
484	666052.993	2290685.454
485	666063.580	2290698.418
486	666068.259	2290703.328
487	666090.199	2290725.651
488	666089.048	2290728.106
489	666098.868	2290753.268
490	666099.175	2290759.098
491	666098.101	2290772.369
492	666097.410	2290778.199
493	666112.292	2290826.528
494	666111.295	2290851.844
495	666091.427	2290851.844
496	666058.363	2290852.457
497	666020.774	2290854.375
498	665942.834	2290849.926
499	665945.289	2290870.792
500	665954.111	2290900.403
501	665955.722	2290910.759
502	665958.330	2290928.403
503	665960.171	2290940.370
504	665961.935	2290952.184
505	665962.933	2290960.162
506	665964.007	2290967.603
507	665967.305	2290993.609
508	665972.829	2291005.959
509	665977.201	2291016.546
510	665980.423	2291020.918
511	665985.179	2291027.439
512	665990.856	2291035.417
513	665997.684	2291044.853
514	666004.818	2291049.302
515	666015.174	2291055.899
516	666023.613	2291061.116
517	666026.911	2291063.341
518	666031.284	2291064.491
519	666042.867	2291067.713
520	666059.207	2291072.239
521	666092.194	2291073.313

522	666102.166	2291071.472
523	666112.139	2291068.634
524	666121.421	2291065.489
525	666125.334	2291063.571
526	666128.555	2291061.730
527	666135.997	2291058.431
528	666143.361	2291053.138
529	666149.958	2291048.535
530	666162.693	2291037.949
531	666182.024	2291025.981
532	666186.857	2291023.066
533	666190.386	2291021.455
534	666192.917	2291020.075
535	666195.833	2291018.003
536	666208.797	2291008.414
537	666208.956	2291008.438
538	666206.949	2291029.972
539	666201.136	2291031.695
540	666190.454	2291037.637
541	666178.009	2291046.134
542	666164.712	2291056.894
543	666148.948	2291069.165
544	666136.199	2291076.930
545	666122.590	2291083.140
546	666108.688	2291087.546
547	666095.930	2291089.979
548	666084.750	2291091.300
549	666072.325	2291091.496
550	666062.196	2291090.825
551	666050.819	2291089.262
552	666037.475	2291085.994
553	666024.464	2291081.420
554	666012.535	2291075.362
555	666001.532	2291068.304
556	665985.465	2291055.161
557	665975.028	2291043.638
558	665963.465	2291027.577
559	665954.452	2291009.176
560	665948.965	2290994.260
561	665921.204	2291008.464
562	665928.442	2291027.614

563	665936.548	2291043.184
564	665953.550	2291066.050
565	665968.588	2291080.749
566	665995.178	2291101.296
567	666014.253	2291110.858
568	666030.271	2291118.957
569	666043.740	2291122.358
570	666068.143	2291126.053
571	666086.438	2291126.788
572	666107.425	2291125.321
573	666126.882	2291120.891
574	666145.339	2291113.839
575	666166.118	2291104.102
576	666181.400	2291094.225
577	666198.029	2291080.811
578	666209.957	2291072.834
579	666216.651	2291086.506
580	666268.274	2291202.965
581	666305.510	2291191.530
582	666327.791	2291183.226
583	666335.293	2291179.791
584	666346.770	2291176.517
585	666375.180	2291167.378
586	666386.260	2291164.315
587	666396.019	2291161.133
588	666409.929	2291156.444
589	666424.228	2291152.566
590	666437.057	2291148.736
591	666457.603	2291141.958
592	666483.378	2291133.768
593	666475.046	2291111.996
594	666453.295	2291060.565
595	666446.788	2291046.989
596	666439.026	2291040.892
597	666459.160	2291039.328
598	666459.160	2291040.550
599	666468.663	2291064.958
600	666472.930	2291077.758
601	666473.447	2291081.378
602	666474.740	2291082.929
603	666476.938	2291086.162

604	666480.946	2291091.721
605	666484.437	2291097.669
606	666488.186	2291106.461
607	666492.324	2291115.382
608	666494.910	2291120.942
609	666495.944	2291124.820
610	666500.599	2291135.164
611	666503.960	2291141.887
612	666507.451	2291148.740
613	666513.657	2291161.023
614	666519.346	2291173.047
615	666522.449	2291179.124
616	666527.233	2291188.821
617	666540.550	2291217.136
618	666548.566	2291233.815
619	666560.849	2291259.544
620	666562.401	2291262.130
621	666566.021	2291267.948
622	666570.343	2291277.083
623	666572.303	2291279.948
624	666587.985	2291283.114
625	666593.413	2291283.717
626	666652.221	2291293.820
627	666647.395	2291265.171
628	666644.530	2291265.020
629	666632.618	2291217.974
630	666623.722	2291177.261
631	666624.626	2291176.206
632	666624.560	2291176.168
633	666639.904	2291157.190
634	666646.188	2291149.021
635	666653.032	2291142.068
636	666663.187	2291132.333
637	666673.915	2291133.083
638	666686.203	2291133.388
639	666711.955	2291134.983
640	666707.925	2291140.863
641	666721.274	2291145.764
642	666733.901	2291149.876
643	666747.693	2291154.383
644	666770.185	2291163.394

645	666801.520	2291178.042
646	666799.379	2291188.840
647	666830.738	2291224.736
648	666842.513	2291238.244
649	666893.532	2291242.301
650	666892.479	2291225.820
651	666939.286	2291243.371
652	666968.059	2291277.111
653	667008.433	2291271.370
654	667000.114	2291237.514
655	667076.958	2291233.254
656	667096.046	2291230.156
657	667129.921	2291226.019
658	667140.216	2291271.057
659	667146.003	2291270.977
660	667146.997	2291281.965
661	667143.930	2291290.178
662	667140.088	2291302.874
663	667135.203	2291313.875
664	667129.779	2291325.335
665	667125.516	2291336.183
666	667120.343	2291344.422
667	667116.872	2291348.056
668	667113.525	2291353.445
669	667111.278	2291358.838
670	667106.851	2291363.260
671	667097.489	2291371.946
672	667070.710	2291386.980
673	667060.563	2291392.928
674	667044.169	2291404.333
675	667034.157	2291409.028
676	667018.389	2291417.576
677	667005.604	2291426.357
678	666989.636	2291436.447
679	666974.958	2291445.647
680	666957.758	2291455.513
681	666927.338	2291472.061
682	666906.786	2291484.452
683	666882.935	2291497.540
684	666855.008	2291513.359
685	666835.181	2291524.584

686	666818.072	2291534.482
687	666791.565	2291550.024
688	666778.313	2291557.886
689	666759.688	2291568.101
690	666735.018	2291582.118
691	666718.889	2291589.492
692	666703.111	2291595.994
693	666683.126	2291602.887
694	666655.263	2291610.754
695	666641.044	2291614.459
696	666625.320	2291619.040
697	666606.097	2291624.264
698	666582.419	2291629.256
699	666555.290	2291636.250
700	666539.165	2291641.705
701	666522.455	2291648.286
702	666504.519	2291657.500
703	666488.895	2291667.747
704	666469.857	2291679.891
705	666452.706	2291691.030
706	666434.455	2291702.583
707	666424.090	2291709.202
708	666407.760	2291720.649
709	666392.589	2291729.033
710	666382.696	2291735.992
711	666366.538	2291746.382
712	666351.127	2291755.254
713	666342.970	2291763.618
714	666328.783	2291778.473
715	666311.507	2291808.982
716	666283.494	2291832.333
717	666271.532	2291838.806
718	666264.383	2291840.957
719	666252.071	2291842.748
720	666238.470	2291843.225
721	666226.576	2291842.283
722	666210.392	2291843.273
723	666199.251	2291842.016
724	666189.910	2291838.437
725	666166.614	2291827.909
726	666163.057	2291826.303

727	666159.616	2291824.582
728	666156.289	2291822.631
729	666155.256	2291821.943
730	666152.962	2291820.681
731	666149.750	2291818.501
732	666146.652	2291816.321
733	665958.047	2291677.379
734	665924.616	2291652.726
735	665929.708	2291651.765
736	665910.390	2291616.551
737	665869.743	2291633.454
738	665804.043	2291635.969
739	665780.499	2291642.107
740	665767.017	2291645.527
741	665753.938	2291648.948
742	665740.959	2291652.269
743	665720.232	2291657.601
744	665684.213	2291667.059
745	665646.483	2291676.818
746	665597.485	2291689.395
747	665566.093	2291697.544
748	665551.706	2291701.267
749	665545.267	2291703.179
750	665525.546	2291708.914
751	665492.143	2291718.774
752	665462.965	2291727.426
753	665437.707	2291734.714
754	665397.166	2291745.301
755	665397.126	2291745.304
756	665358.141	2291717.283
757	665290.296	2291664.781
758	665234.093	2291739.043
759	665212.275	2291716.702
760	665251.009	2291667.169
761	665241.632	2291655.131
762	665230.481	2291650.823
763	665218.063	2291645.754
764	665200.703	2291634.983
765	665182.255	2291627.863
766	665172.288	2291621.218
767	665161.988	2291613.908

768	665157.669	2291611.251
769	665143.383	2291598.958
770	665128.764	2291587.329
771	665121.122	2291578.358
772	665118.464	2291562.079
773	664998.099	2291562.243
774	665002.293	2291727.884
775	665191.724	2291742.983
776	665220.072	2291757.570
777	665184.306	2291804.828
778	665304.681	2291858.095
779	665289.327	2291885.964
780	665284.967	2291899.158
781	665277.854	2291928.071
782	665273.610	2291947.346
783	665263.284	2291946.199
784	665250.206	2291944.593
785	665170.588	2291936.103
786	665177.357	2291915.221
787	665190.665	2291875.638
788	665196.286	2291858.313
789	665155.101	2291845.807
790	665099.689	2291920.269
791	665094.183	2291927.727
792	665083.743	2291941.610
793	665044.049	2291995.076
794	665135.024	2292064.604
795	665163.934	2292086.518
796	665173.686	2292094.091
797	665274.298	2292167.176
798	665361.602	2292182.206
799	665413.113	2292191.155
800	665410.704	2292216.282
801	665407.836	2292245.309
802	665406.115	2292262.749
803	665406.194	2292262.740
804	665406.071	2292263.597
805	665413.862	2292279.049
806	665410.692	2292315.806
807	665406.922	2292357.446
808	665411.806	2292351.877

809	665417.803	2292341.596
810	665424.486	2292313.236
811	665430.484	2292297.899
812	665431.427	2292290.273
813	665434.854	2292282.905
814	665452.761	2292268.339
815	665462.014	2292264.998
816	665482.663	2292260.028
817	665502.884	2292261.228
818	665503.997	2292282.305
819	665604.157	2292292.672
820	665598.331	2292342.281
821	665593.704	2292382.122
822	665588.462	2292428.206
823	665588.140	2292428.656
824	665492.679	2292420.052
825	665477.873	2292591.657
826	665477.873	2292591.871
827	665565.636	2292604.225
828	665571.222	2292555.133
829	665575.197	2292518.073
830	665592.062	2292518.073
831	665597.862	2292514.313
832	665615.157	2292496.911
833	665618.165	2292491.217
834	665618.917	2292480.583
835	665620.099	2292477.468
836	665622.247	2292471.344
837	665624.181	2292465.973
838	665625.685	2292458.991
839	665628.692	2292445.348
840	665630.841	2292435.895
841	665630.921	2292435.766
842	665631.918	2292435.929
843	665640.314	2292413.053
844	665662.505	2292352.134
845	665667.046	2292333.028
846	665673.986	2292297.385
847	665678.270	2292268.082
848	665687.438	2292257.287
849	665714.599	2292250.090

850	665718.711	2292225.928
851	665712.114	2292224.471
852	665712.028	2292209.649
853	665712.075	2292209.472
854	665717.703	2292209.513
855	665717.932	2292203.432
856	665718.964	2292198.842
857	665719.767	2292196.318
858	665721.947	2292192.417
859	665722.177	2292192.073
860	665724.701	2292188.861
861	665708.525	2292174.289
862	665717.817	2292166.143
863	665708.525	2292145.147
864	665702.330	2292132.641
865	665723.553	2292113.251
866	665724.815	2292111.301
867	665731.125	2292104.876
868	665737.205	2292105.105
869	665768.984	2292099.942
870	665770.819	2292099.713
871	665770.590	2292096.615
872	665770.934	2292093.632
873	665771.737	2292090.649
874	665772.999	2292087.895
875	665774.720	2292085.486
876	665776.900	2292083.306
877	665779.309	2292081.470
878	665782.062	2292080.208
879	665783.095	2292079.864
880	665785.045	2292079.290
881	665783.095	2292069.997
882	665791.928	2292061.392
883	665799.959	2292058.753
884	665810.284	2292053.475
885	665820.724	2292047.738
886	665832.196	2292041.428
887	665846.422	2292034.659
888	665855.485	2292024.447
889	665861.565	2292013.433
890	665865.007	2292010.909

891	665884.051	2291991.978
892	665897.244	2291985.323
893	665915.026	2291981.996
894	665989.023	2291943.904
895	666001.068	2291954.919
896	666012.426	2291960.311
897	666038.239	2291974.194
898	666040.533	2291993.469
899	666061.413	2291993.814
900	666073.573	2291999.321
901	666097.665	2292001.730
902	666128.641	2291995.764
903	666171.203	2291997.026
904	666174.300	2291983.947
905	666195.524	2291944.708
906	666217.436	2291900.420
907	666219.616	2291900.650
908	666239.348	2291876.671
909	666244.511	2291874.239
910	666252.234	2291876.948
911	666264.439	2291872.766
912	666270.612	2291869.629
913	666279.222	2291864.930
914	666286.675	2291861.300
915	666287.247	2291860.784
916	666288.537	2291868.076
917	666290.332	2291884.519
918	666293.716	2291918.858
919	666293.870	2291939.141
920	666296.852	2291958.827
921	666300.708	2292013.173
922	666304.099	2292062.327
923	666311.661	2292107.175
924	666313.506	2292112.842
925	666318.761	2292122.932
926	666345.284	2292159.682
927	666353.046	2292170.331
928	666361.592	2292183.170
929	666368.417	2292193.868
930	666379.022	2292209.147
931	666387.478	2292218.552

932	666387.277	2292227.477
933	666388.499	2292239.413
934	666389.401	2292249.595
935	666389.674	2292258.033
936	666389.448	2292266.260
937	666389.190	2292275.620
938	666385.191	2292287.746
939	666381.743	2292295.718
940	666374.723	2292309.307
941	666366.938	2292324.413
942	666362.764	2292334.180
943	666357.703	2292347.869
944	666348.906	2292369.458
945	666343.991	2292378.163
946	666341.225	2292387.035
947	666341.099	2292396.069
948	666344.546	2292401.701
949	666348.877	2292411.466
950	666354.739	2292420.059
951	666372.339	2292443.520
952	666376.728	2292454.517
953	666374.077	2292462.050
954	666369.745	2292470.996
955	666362.257	2292478.232
956	666353.711	2292488.483
957	666344.654	2292496.374
958	666338.444	2292501.931
959	666331.151	2292508.564
960	666324.165	2292513.837
961	666319.078	2292514.422
962	666308.212	2292515.566
963	666301.096	2292508.305
964	666297.431	2292506.493
965	666289.979	2292499.749
966	666285.898	2292495.806
967	666255.456	2292466.286
968	666249.573	2292460.526
969	666232.425	2292444.742
970	666225.267	2292437.881
971	666210.083	2292422.735
972	666194.742	2292408.898

973	666170.468	2292383.079
974	666171.286	2292380.894
975	666173.721	2292376.570
976	666189.282	2292373.545
977	666195.364	2292374.839
978	666198.169	2292375.567
979	666198.970	2292375.585
980	666200.573	2292375.620
981	666205.842	2292377.577
982	666206.648	2292377.595
983	666213.031	2292373.387
984	666213.223	2292373.058
985	666213.961	2292372.077
986	666216.834	2292361.946
987	666220.021	2292349.645
988	666222.328	2292346.980
989	666224.829	2292342.206
990	666227.926	2292338.644
991	666234.551	2292332.169
992	666240.068	2292328.365
993	666245.784	2292326.656
994	666252.340	2292318.811
995	666259.826	2292311.646
996	666268.765	2292301.583
997	666285.073	2292283.865
998	666294.382	2292271.787
999	666297.980	2292261.284
1000	666295.523	2292258.945
1001	666292.844	2292261.883
1002	666290.265	2292267.686
1003	666285.144	2292273.195
1004	666279.884	2292276.923
1005	666273.970	2292282.653
1006	666264.416	2292288.049
1007	666255.694	2292295.295
1008	666241.660	2292307.960
1009	666229.266	2292315.185
1010	666212.855	2292328.365
1011	666198.703	2292340.262
1012	666185.580	2292350.302
1013	666174.911	2292361.189

1014	666160.780	2292370.506
1015	666152.630	2292381.015
1016	666140.585	2292398.755
1017	666131.843	2292413.240
1018	666121.085	2292425.193
1019	666116.757	2292431.587
1020	666113.048	2292437.385
1021	666109.948	2292442.883
1022	666099.087	2292452.634
1023	666095.976	2292461.269
1024	666072.600	2292479.371
1025	666066.984	2292487.975
1026	666067.203	2292497.464
1027	666058.171	2292501.701
1028	666041.853	2292510.187
1029	666025.829	2292517.817
1030	666010.375	2292530.024
1031	665999.328	2292542.473
1032	665988.329	2292557.684
1033	665977.041	2292568.131
1034	665965.325	2292578.879
1035	665946.867	2292583.609
1036	665931.387	2292584.702
1037	665917.187	2292586.913
1038	665903.716	2292585.463
1039	665895.905	2292581.777
1040	665885.005	2292581.142
1041	665877.483	2292578.574
1042	665867.473	2292581.311
1043	665859.441	2292579.311
1044	665842.574	2292570.854
1045	665837.073	2292571.389
1046	665834.035	2292569.145
1047	665832.082	2292564.671
1048	665825.714	2292564.072
1049	665816.548	2292563.159
1050	665807.432	2292566.155
1051	665808.651	2292575.629
1052	665813.940	2292578.730
1053	665825.651	2292589.641
1054	665831.424	2292588.307

1055	665849.526	2292587.046
1056	665858.628	2292589.611
1057	665868.855	2292598.025
1058	665911.575	2292647.778
1059	665922.266	2292639.981
1060	665947.026	2292659.211
1061	665961.770	2292672.568
1062	665946.469	2292689.430
1063	665947.800	2292696.715
1064	665947.761	2292706.093
1065	665951.099	2292713.796
1066	665955.944	2292732.845
1067	665960.613	2292755.180
1068	665960.789	2292756.261
1069	665953.001	2292764.177
1070	666041.898	2292854.201
1071	666084.799	2292897.879
1072	666124.168	2292937.997
1073	666137.467	2292930.001
1074	666188.822	2292902.501
1075	666203.433	2292895.096
1076	666211.458	2292901.386
1077	666205.729	2292907.770
1078	666191.922	2292918.198
1079	666168.998	2292928.561
1080	666141.754	2292946.728
1081	666109.465	2292960.646
1082	666083.279	2292961.669
1083	666079.609	2293020.211
1084	666073.295	2293049.939
1085	666059.276	2293061.549
1086	666042.340	2293067.808
1087	666032.863	2293072.354
1088	666014.552	2293087.073
1089	666009.841	2293102.339
1090	666038.179	2293102.524
1091	666068.402	2293102.424
1092	666090.399	2293103.143
1093	666112.089	2293105.669
1094	666138.359	2293107.639
1095	666191.606	2293112.848

1096	666220.687	2293115.149
------	------------	-------------



Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial

Estudio Técnico Justificativo
Área Estatal de Protección Hidrológica
Bosque Colomos - La Campana