



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ciencias Naturales
Facultad de Ingeniería
Facultad de Psicología
Facultad de Filosofía
Facultad de Ciencias Políticas y Sociales
Facultad de Química

IMPACTO HIDROLÓGICO POR EL CAMBIO DE USO DE SUELO EN UNA UNIDAD DE ESCURRIMIENTO SEMIURBANA Y SU ANÁLISIS EN EL CONTEXTO LEGAL

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestro en Gestión Integrada de Cuencas

Presenta

Elva Rodríguez Mancinas

Querétaro, Qro., Diciembre, 2005

RESUMEN

La demanda y especulación del suelo rebasa el crecimiento ordenado de las ciudades; mientras que en 1970 la ciudad de Querétaro ocupaba 972.70 hectáreas, hoy (2004) su ocupación territorial supera ya las 14,000 hectáreas. En todos los municipios, el crecimiento urbano se da principalmente a costa de terrenos ejidales. De 1999 a la fecha, la incorporación de suelo mediante adopción del dominio pleno ha sido determinante para la expansión de las áreas urbanas en la entidad (SEDUOP, 2004). Este crecimiento trae como consecuencia una mayor superficie impermeable que favorece los escurrimientos de aguas pluviales hacia las partes bajas. Este trabajo tiene dos vertientes principales: Evaluar el impacto hidrológico ocasionado por el cambio de uso de suelo y analizar el marco legal que lo rige. Como estudio de caso se consideró la unidad de escurrimientos “Los Tanganos”, ubicada al sur de la ciudad de Santiago de Querétaro. Para evaluar el impacto hidrológico, se cubrieron dos aspectos: el aumento del escurrimiento superficial y la disminución de la infiltración. Para el primer caso se utilizaron métodos convencionales como el Racional, Hidrograma Unitario Adimensional y el de Chow; para el segundo aspecto se utilizó el criterio del balance hídrico para el cálculo de la infiltración. Para el marco legal se analizaron las leyes y reglamentos que rigen los cambios de uso de suelo enfocándolo al impacto hidrológico cero. Del estudio caso se concluye que los cambios en la cobertura vegetal producen un incremento en los gastos pico de escurrimiento de al menos 18% con respecto a las condiciones naturales; así como una reducción en la lámina promedio anual de infiltración de 7 mm. En el aspecto legal se plantea la necesidad de incorporar el concepto de impacto hidrológico cero en la manifestación de impacto ambiental como un requisito para la solicitud de cambio de uso de suelo, dentro del reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental.

(Palabras clave: urbanización, impacto, hidrológico)

SUMMARY

The demand for land and land speculation have brought to an end the orderly growth of cities. In 1970, the City of Queretaro occupied 972.70 hectares while today (2004) the territory it occupies surpasses 14,000 hectares. In all municipalities, urban growth is chiefly at the expense of ejido lands. From 1999 to the present, agrarian legislation favoring private land holdings has been a determining factor in the incorporation of land for the expansion of urban areas in the state (SEDUOP, 2004). This growth results in an increased impermeable surface that leads to pluvial runoff toward the low lying areas. This work is divided into two main sections: Evaluation of the hydrologic impact caused by land use change and analysis of the legal framework that governs it. The "Tanganos" pluvial runoff unit, located to the south of the City of Santiago de Queretaro, was used as a case study. Two aspects were covered in the evaluation of the hydrologic impact: the increase in surface runoff and the reduction in infiltration. In the first case, conventional methods such as the Rational, the Adimensional Unit Hydrograph and the Chow methods were used; in the second, we used the hydric balance criterion to estimate infiltration. Regarding the legal framework, the laws and regulations that govern land use change were analyzed, focusing on zero hydrological impact. Based on the case study, we conclude that changes in vegetation produce an increase in maximum pluvial runoff costs of at least 18%, compared to natural conditions, as well as a reduction in the average annual infiltration volume of 7 mm. In the legal area, we consider the need to incorporate the zero hydrological impact concept into the environmental impact aspect as a requirement for requesting land use change. This would be included in the regulations of the General Law on Ecological Balance and Environmental Protection under Evaluation of Environmental Impact.

(Key words: Urbanization, impact, hydrological)

Dedico este trabajo :

A Dios Padre, por la inmensa fe y fortaleza que le ha dado a mi vida.

A mis hijos:

Saúl Pedro y Daniel Alejandro,
que son los pilares de mi existencia.

A mis padres:

Asención y Benjamín, que son el vivo ejemplo de perseverancia en mi vida.

A mis hermanas:

Ma. Inés, María de los Ángeles y Blanca Cecilia, por que juntas hemos descubierto que lo más valioso del ser humano lo aprendemos en familia.

A mi Director:

Dr. Miguel Ángel Domínguez Cortazar, por su colaboración, aporte de conocimientos y paciencia en el desarrollo del presente trabajo.

Agradecimientos

Especialmente a la Universidad Autónoma de Querétaro, por darme la oportunidad de crecer profesionalmente.

A mi grupo de asesores por el aporte de conocimientos que consolidaron mi trabajo.

A mis profesores y compañeros de la Maestría, especialmente a mis amigas, Pilar y Eugenia.

A la Dirección de Catastro, Secretaría de Desarrollo Sustentable, Secretaría de Desarrollo Urbano y Obras Públicas de Gobierno del Estado, por el aporte de información.

Al Ing. José Luis Alcantara y a Lety Gasca de la Dirección de Catastro por el apoyo en mis estudios.

A todas aquellas personas que de alguna manera aportaron conocimientos y tiempo para el desarrollo de este trabajo.

A todos muchas gracias.

ÍNDICE

Resumen.....	ii
Summary.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimientos.....	v
Índice.....	vi
Índice de Figuras.....	ix
Índice de Cuadros.....	x
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. PROBLEMÁTICA DEL CRECIMIENTO URBANO EN EL VALLE DE QUERÉTARO.....	5
III. REVISION BIBLIOGRAFICA.....	10
IV. METODOLOGÍA.....	15
4.1 Metodologías Hidrológicas Convencionales para el Cálculo de Escurremientos en Cuencas Urbanas.....	16
4.1.1 Fórmula Racional.....	17
4.1.2 Método del Hidrograma Unitario Adimensional del Servicio de Conservación de Suelos.....	21
4.1.3 Método de Chow.....	24
4.1.4 Cálculo de los Tiempos de Concentración.....	32
4.2. Metodología hidrológica para el cálculo de los niveles de infiltración....	33
4.2.1 Criterio del Índice de Infiltración.....	34
4.2.2 Criterio del Balance Hídrico.....	36
4.3 Metodología para la Valoración del Impacto Hidrológico en la unidad de escurrimiento.....	41
4.4 Metodología utilizada para la revisión y el análisis de las leyes, reglamentos y normas.....	45
4.4.1 Análisis del marco legal que rige los cambios de uso de suelo, en los tres niveles de gobierno.....	45

4.4.2	Análisis del Proceso Administrativo y Legal del Fraccionamiento Cumbres del Cimatario.....	46
4.4.3	Revisión del Estudio Justificativo y Manifestación del impacto Ambiental para el Fraccionamiento Cumbres del Cimatario, Municipio de Huimilpan.....	46
V.	RESULTADOS	48
5.1.	Estudio de caso: Valoración del Impacto Hidrológico en la unidad de escurrimiento “Tangano II”.....	48
5.1.1	Ubicación de la Zona de Estudio	48
5.1.2	Caracterización de la Unidad de Escurrimiento en estudio	51
	Hidrografía y Geomorfología.	51
	Fisiografía.....	52
	Geología y Edafología.	52
	Clima.	53
	Vegetación.....	53
5.1.3.	Escenarios del Cambio de Uso del Suelo.....	58
5.1.4	Análisis de los datos de precipitación	60
5.1.5	Determinación de las curvas intensidad-duración-período de retorno... Serie anual de máximos.	61
	Interpolación para el procesamiento estadístico.....	62
	Correlación entre la lluvia de una hora y la de 24 h.....	66
5.1.6	Aplicación de Métodos Convencionales para el cálculo de escurrimiento en cuencas urbanas.	69
	Método Racional.....	70
	Método del Hidrograma Unitario Adimensional del Servicio de Conservación de Suelos (HUA).....	72
	Método de Chow	75
5.1.7	Aplicación de la metodología hidrológica para el cálculo de los niveles de infiltración en la unidad de escurrimiento.	78
	Determinación del Índice de Infiltración Media	78
	Aplicación de la Ecuación de Balance Hídrico.....	81
5.2	Revisión y análisis de las leyes, reglamentos y normas que rigen los cambios de uso de suelo a nivel federal, estatal y municipal.	83

5.3.1	Comparativo de Leyes y Reglamentos que enmarcan un cambio de uso de suelo en los niveles federal, estatal y federal.	83
5.3.2	Identificación del concepto de Impacto Hidrológico dentro de las leyes, normas y reglamentos que enmarcan un cambio de uso de suelo.....	89
5.3.7	Análisis del Proceso Administrativo y Legal del Fraccionamiento Cumbres del Cimatario.....	93
5.3.8	Análisis del estudio técnico justificativo y la Manifestación de Impacto Ambiental Modalidad Particular, Fraccionamiento Cumbres del Cimatario.....	104
VI.	DISCUSIONES	110
VII.	CONCLUSIONES	112
VIII.	RECOMENDACIONES	117
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	118

Índice de Figuras

Figura 2.1 Crecimiento urbano en los últimos 5 años	5
Figura 2.2 Crecimiento de la mancha urbana en terrenos ejidales	7
Figura 2.3 Crecimiento urbano en zonas de alta infiltración.....	8
Figura 4.1 Hipótesis fundamental de la fórmula racional.....	17
Figura 4.2 Forma típica del hidrograma unitario adimensional del SCS.....	22
Figura. 4.3 Hidrograma triangular, base del método adimensional.	22
Figura 4.4 Diagrama para la determinación del factor Z	25
Figura 4.5 Diagrama para la corrección de CN	31
Figura 4.6 Determinación del índice de infiltración.....	36
Figura 4.7 Procedimiento de evaluación de impactos hidrológicos	42
Figura 4.8 Esquemmatización del impacto hidrológico por incremento en el gasto pico del hidrograma.....	45
Figura 5.1. Ubicación de la zona de estudio (condición antes del proyecto)	49
Figura 5.2. Perfil del terreno de la unidad de escurrimiento.	50
Figura 5.3 Mapa topográfico con los límites de las tres zonas de la unidad de escurrimiento, incluyendo las alcantarillas.	52
Figura 5.4 Mapa de Vegetación Unidad de Escurrimiento “El Tángano”.....	57
Figura 5.5 Mapa con los dos escenarios del estudio.....	59
Figura 5.6 Análisis de regresión de datos de precipitación máxima en 24 h de la estación Observatorio.	65
Figura 5.7 Curvas intensidad-duración-período de retorno para la estación Observatorio.....	69
Figura 5.8 Hidrograma de escurrimiento para un período de retorno de 50 años y con el método del hidrograma unitario adimensional	75
Figura 5.9 Tormentas típicas en el Valle de Querétaro	79
Figura 5.10 Hietograma para el cálculo del índice de infiltración (para una tormenta de duración 45 minutos).....	80

Índice de Cuadros

Cuadro 2.1 Crecimiento de la Zona conurbada (1970 – 2004)	7
Cuadro.4.1 Tabla de Prevert (López, 1998) para la determinación del coeficiente C de escurrimiento (valores en %)	19
Cuadro. 4.2 Determinación del coeficiente C de escurrimientos para la fórmula racional (Ken Bohuslav, P.E, 2004).....	20
Cuadro 4.3 Correcciones al Coeficiente de Escurrimiento para $T_r > 10$ años	21
Cuadro 4.4 Características de los tipos de suelo	28
Cuadro 4.5 Valores del Número de Escurrimiento <i>CN</i> para cuencas urbanizadas (López, 1998).....	29
Cuadro 4.6 Valores del Número de Escurrimiento <i>CN</i> para áreas forestales (López, 1998)	30
Cuadro 4.7 Condiciones de humedad antecedente	30
Cuadro 4.8 Valores del parámetro k del método oficial para cálculo de escurrimientos (CNA, 2002)	40
Cuadro 4.9 Períodos de retorno recomendables para el diseño de obras hidráulicas urbanas (Breña, 2004)	43
Cuadro 5.1 Porcentaje de cambio global y por tipo de vegetación.....	60
Cuadro 5.2 Registros Históricos de Lluvias Máximas en 24 Horas (Estación Climatológica Observatorio)	61
Cuadro 5.3 Análisis de regresión para los registros de lluvias máximas diarias de la Estación Observatorio, Querétaro	62
Cuadro 5.4 Magnitudes de precipitación máxima en 24 hrs. para distintos períodos de retorno.	66
Cuadro 5.5 Valores resultantes de las relaciones entre la intensidad, duración y período de retorno.	68
Cuadro 5.6 Valores adoptados para el coeficiente de escurrimiento.	70
Cuadro 5.7 Valores del tiempo de concentración para cada zona de la unidad de escurrimiento.....	71
Cuadro 5.8 Gasto Máximo con el método racional para diferentes períodos de retorno.	72

Cuadro 5.9 Determinación de los Números de Escurrimiento CN.....	72
Cuadro 5.10 Cálculo de la precipitación total y efectiva con el método del USC.....	74
Cuadro 5.11 Gasto de pico para los dos escenarios de uso del suelo.....	74
Cuadro 5.12 Estimación de las precipitaciones efectivas (método de Chow). .	76
Cuadro 5.13 Estimación de los factores X, Y y Z para el método de Chow.	76
Cuadro 5.14 Gasto máximo de escurrimiento e impacto hidrológico para una duración de tormenta de 40 minutos.....	77
Cuadro 5.15 Comparativo de los Métodos Hidrológicos Utilizados.....	77
Cuadro 5.16 Disminución en la lámina promedio anual de infiltración.....	82
Cuadro 5.17 Comparativo de los requisitos para solicitar cambio de uso de suelo en los municipios de Huimilpan y Querétaro.....	88
Cuadro 5.18 Cronología del cambio de uso de suelo para el Fraccionamiento Cumbres del Cimatarío.....	97

I. INTRODUCCIÓN

La urbanización en América Latina y el Caribe no cuenta con una planificación sólida para el aprovechamiento de los recursos naturales y, en especial, de los usos, destinos y reservas del suelo. Como consecuencia, la mancha urbana se ha expandido sin criterios de asimilación adecuada al territorio, provocando enormes daños ambientales. El patrón urbano existente es resultado del desarrollo económico, que ha propiciado la centralización de los recursos y habitantes en pocas ciudades. Por tanto, la integración del ordenamiento ambiental con el urbano y la actualización de técnicas para definir y regular el aprovechamiento del recurso suelo es una necesidad que deber ser catalogada como de alta prioridad (Gobierno del Estado de México, 2001 y Redondo, 2001).

El proceso de urbanización implica la modificación del espacio, de las actividades productivas y de consumo, de los estilos de vida y de las preferencias sociales; es un fenómeno multidimensional que ubica al problema de la sustentabilidad dentro de un contexto que rebasa los contornos propiamente urbanos, y que debe plantearse en términos de un balance de intercambios físicos, sociales y económicos entre urbe y sus áreas de influencia, (Agenda 21, 2001). Cabe mencionar que el crecimiento de las ciudades hoy en día es un proceso que va en aumento, propiciando con ello la demanda de servicios para satisfacer las necesidades de la población, siendo una de ellas el factor vivienda, ya que para satisfacerla pone en riesgo el equilibrio de las ciudades y su medio ambiente, ya que está invadiendo tierras productivas y de valor ecológico invaluable.

Por otra parte, para frenar la tendencia de las ciudades a crecer explotando irracionalmente los recursos naturales, ocupando valiosas tierras agrícolas o destruyendo frágiles ecosistemas, es urgente actualizar las bases normativas y legales que rigen la propiedad y el mercado de los suelos urbanos, concebidas para una sociedad predominantemente rural. Lo anterior con el fin de traspasar los costos sociales, productivos y ambientales que origina la incorporación de nuevas tierras a las ciudades, a los agentes

inmobiliarios que las ocasionan. No se trata de implementar políticas que frenen el crecimiento, sino de adecuarlo en la dirección del menor impacto posible en los recursos no renovables. Las políticas de vivienda, que han contribuido de manera importante a la extensión de las ciudades, deberían adoptar diseños que aumenten la densidad urbana para reducir los costos ambientales (CEPAL, 1997).

De acuerdo con el artículo 115 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos los municipios están facultados, en términos de las leyes federales y estatales, para formular, aprobar y administrar la zonificación y planes de desarrollo urbano municipal; participar en la creación y administración de sus reservas territoriales; controlar y vigilar la utilización del suelo en sus jurisdicciones territoriales, invertir en la regulación de la tenencia de la tierra urbana; otorgar licencias y permisos para construcción, y participar en la creación y administración de zonas de reserva ecológicas. Sin embargo, esta normatividad debe especificar de una manera clara y contundente los impactos que las decisiones locales pueden ocasionar en los recursos naturales. Esta necesidad resulta más obvia cuando las decisiones que se toman afectan a terceros ubicados en regiones político-administrativas diferentes. En efecto, el desconocimiento de este hecho se entiende si imaginamos que los límites del marco espacial donde ocurren los impactos, no necesariamente coincide con los límites de las regiones político-administrativas de donde se toman las decisiones. Aunque los límites de una cuenca hidrográfica pueden por lo general definirse con precisión, los cambios que en ella se generan están influenciados por las decisiones que se toman fuera de esos límites. La cuenca hidrográfica es también una unidad cuyos procesos actúan conjuntamente a pesar de los límites políticos que la cruzan o que son impuestos sobre ella. El agua, sin un gran insumo de energía, corre montaña abajo. Debido a esto y a las interacciones resultantes, existe un riesgo de que con el desarrollo se produzca un daño ambiental a todo lo largo del sistema de drenaje, ya sea que dicho sistema incluya una o varias entidades de planificación, tanto municipales como regionales, estatales, nacionales o incluso internacionales. Es debido a este posible daño que los procesos que se dan al interior de una cuenca hidrográfica tienen que ser considerados en los

instrumentos legales que sustentan una decisión de cambiar el uso del suelo, independientemente de si los riesgos ocurren dentro o fuera de los límites administrativos donde se autoricen dichos cambios. En este sentido, los instrumentos legales deben asegurar que la respuesta de la cuenca ante los cambios efectuados, se mantenga sin alteración y sin riesgo para quienes la habitan en sus partes bajas o fuera de ella. Con este enfoque, se requiere también que el costo de las acciones para mitigar o eliminar los impactos, sean estructurales o no, sea trasladado a quien promueve los cambios, de manera que el cambio de uso del suelo sea valorizado en su justa medida.

En el desarrollo de este trabajo se abordan los dos ejes planteados anteriormente; es decir, por un lado la comprensión y valoración de los procesos hidrológicos que se alteran cuando se toma la decisión de autorizar un cambio de uso del suelo. Además, se contempla el análisis de los procedimientos e instrumentos legales en que se sustentan dichas autorizaciones. Así, la investigación está estructurada en dos componentes esenciales: (1), se aborda la normatividad actual, incluyendo el análisis de sus debilidades desde el punto de vista de la valoración de los Impactos Hidrológicos, de que manera está considerado dentro del marco legal, si existe interacción entre las dependencias federales, estatal y municipal al aplicar los criterios de minimizar los efectos de un cambio de uso de suelo; y (2), se contempla la teoría hidrológica que debe sustentar dichos análisis, y cómo éstos deben incluirse de manera clara en la reglamentación vigente. Finalmente, a manera de ejemplo, se presenta un estudio de caso que ilustra el cambio de uso de suelo y sus consecuencias hidrológicas en una unidad de escurrimiento semiurbana al sur de la ciudad, donde se localiza el fraccionamiento Cumbres del Cimatarío del Municipio de Huimilpan, el cual pertenece a la zona conurbada de la ciudad de Querétaro, Qro.

Para cumplir el objetivo del impacto hidrológico se aplican las teorías hidrológicas convencionales mediante las cuales se obtiene la valoración del incremento de los caudales pico como consecuencia de un proceso de cambio de uso de suelo forestal a urbano, así como el impacto de la impermeabilización en los niveles de infiltración del agua de lluvia, pero con

dos características adicionales relevantes; por un lado, la modificación de las condiciones naturales que alteran los distintos procesos del ciclo hidrológico, en una superficie cuya magnitud es comparable a la de la propia unidad de escurrimiento; por otro, el efecto de la remoción de la cobertura vegetal es más significativa en la medida que dicha cobertura presenta características de alto valor ecológico en términos de los servicios ambientales hidrológicos que ofrecen, esto es, en los niveles de retención de escurrimientos e infiltración. Para valorar los impactos hidrológicos con estas condiciones particulares se seleccionó el bordo de captación Tanganos II, ubicado en la salida de una unidad de escurrimiento.

II. PROBLEMÁTICA DEL CRECIMIENTO URBANO EN EL VALLE DE QUERÉTARO

El Estado de Querétaro sostiene, de acuerdo a la Secretaria de Desarrollo Urbano y Obras Públicas del Estado (2004), un acelerado crecimiento demográfico, concentrándose la población (70%) en cuatro localidades principales: Tequisquiapan, Corregidora, San Juan del Río y Querétaro. Como consecuencia de lo anterior, la demanda y especulación del suelo rebasa el desarrollo de las ciudades, pues de 1970 que la ciudad de Querétaro ocupaba 972.70 hectáreas, situación que se ha incrementado de manera alarmante ya que para el año 2004 su ocupación territorial es de 14,031.63 hectáreas; es decir se ha incrementado 14 veces. En todos los municipios el crecimiento urbano se da principalmente a costa de terrenos ejidales. En el caso de la zona conurbada de la Ciudad de Querétaro, la figura siguiente muestra este crecimiento en los últimos 5 años.

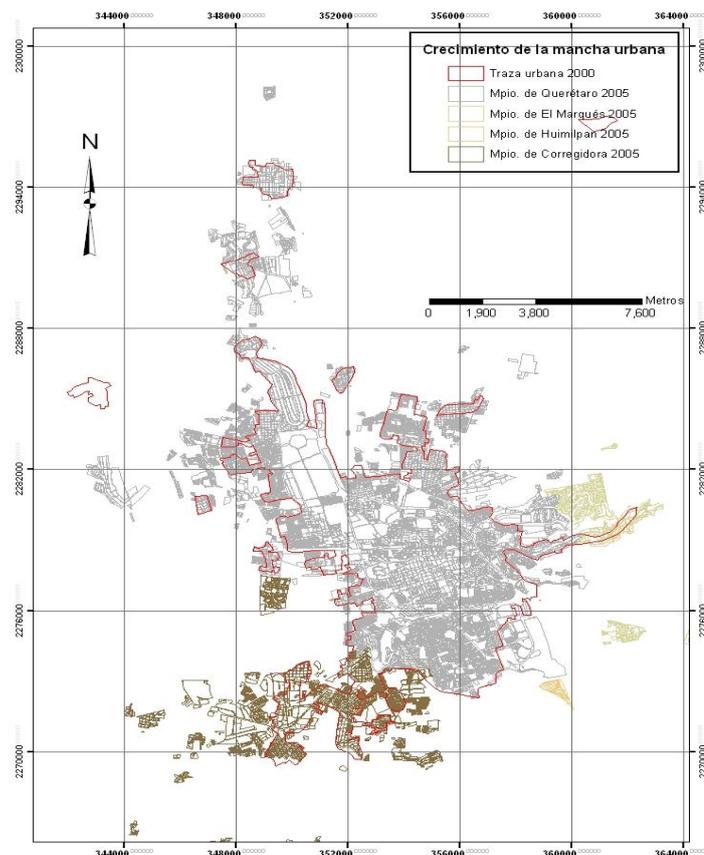


Figura 2.1 Crecimiento urbano en los últimos 5 años

(Fuente: Elaboración propia).

De 1999 a la fecha, la incorporación de suelo mediante adopción del dominio pleno, es decir el cambio de régimen ejidal a propiedad privada, pasando del Registro Agrario Nacional al Registro Público de la Propiedad y del Comercio, mismo que ha sido determinante para la expansión de las áreas urbanas en la entidad. Aun cuando los poseedores de la tierra hayan adoptado el dominio pleno, el fraccionamiento de la tierra se da de forma ilegal, sin cumplir la normatividad urbana, dándose en primer término la venta de tierras ejidales para el desarrollo de lotificaciones informales, por otra parte y de forma alarmante, se da la compra de grandes extensiones de tierra por fraccionadores para desarrollo de conjuntos habitacionales, que si bien cumplen con los requisitos que les solicitan las dependencias involucradas en los cambio de uso de suelo y urbanización, no dejan de ser sólo requisitos, ya que es tan acelerado el crecimiento de la ciudad que es imposible en materia de impacto ambiental, la verificación de las medidas de mitigación que ocasionarán los desarrollos urbanos que se autorizan y que además aumentan en gran medida la demanda en la dotación de servicios y la regularización de la propiedad, (SEDUOP, 2004).

Desde 1992 en que se iniciaron los trabajos del Programa de Certificación de Derechos Ejidales (PROCEDE), los ejidos aledaños a la ciudad de Querétaro están siendo invadidos por el crecimiento de la ciudad, situación que va en aumento ya que a la fecha, de acuerdo a datos del Registro Agrario Nacional 2005, para el municipio de Corregidora se tienen 10 ejidos con dominio pleno aprobado y 1 en solicitud, en el municipio de El Marques se tienen 17 con dominio pleno aprobado y 5 en solicitud, para el municipio de Huimilpan, 3 ejidos con dominio pleno y 2 en solicitud. En el municipio de Querétaro 21 con dominio pleno y 1 en solicitud. Lo anterior ha favorecido el crecimiento de la mancha urbana sobre terrenos agrícolas de origen ejidal.

Este crecimiento se viene manifestando de manera más notoria en la dirección norte del valle de Querétaro (véase la figura 2.2).

Cuadro 2.1 Crecimiento de la Zona conurbada (1970 – 2004)

Municipios	1970	1980	1990	2004
	Crecimiento en hectáreas			
Querétaro	972.70	2,563.60	5,171.60	14,031.63
Corregidora	58.70	288.50	939.70	3,467.80
Huimilpan	-----	-----	-----	42.40
El Marqués	10.60	38.50	136.10	1,957.90
Total Estatal	1,042.00	2,890.60	6,247.40	19,499.73

Fuente: SDUOP, 2004 Dirección de Desarrollo Urbano y Vivienda de Gobierno del Estado, Diagnóstico de la Zona Conurbada de la Ciudad de Querétaro.

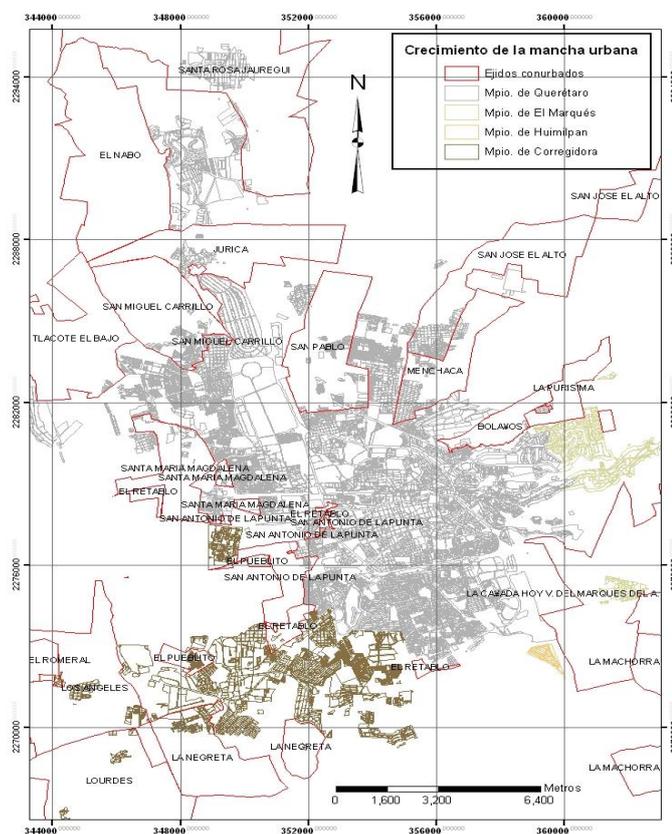


Figura 2.2 Crecimiento de la mancha urbana en terrenos ejidales

(Fuente: Elaboración propia)

Pero además del aspecto ejidal, el crecimiento se está dando en cuencas altas y en zonas de vegetación que ofrecen servicios ambientales en términos de alta infiltración. Como se ve en la figura siguiente, el ejido San

Pablo del municipio de Querétaro ha sido identificado como zona de alta infiltración (FIQMA, 2002) y en la actualidad está siendo sometido a un proceso de urbanización.

Los cambios de uso de suelo de la zona conurbada del Valle de Querétaro presenta entonces características particulares de afectación de zonas de vegetación bien conservada que traerán como consecuencia no solamente una pérdida de beneficios ambientales en detrimento del potencial de recarga de los acuíferos, sino también impactos hidrológicos que ameritan de ser analizados y tomados en cuenta en los reglamentos vigentes que norman los impactos ambientales.

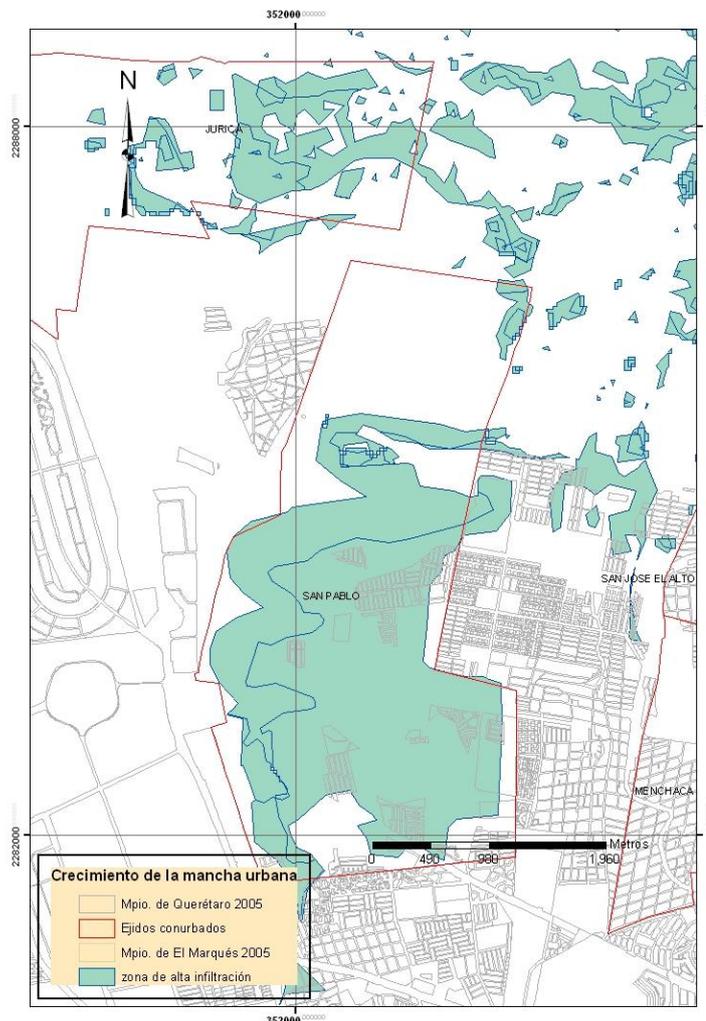


Figura 2.3 Crecimiento urbano en zonas de alta infiltración.

(Fuente: Elaboración propia)

Como consecuencia de la problemática que origina el crecimiento urbano de la ciudad de Querétaro, el presente trabajo de investigación se sustenta en la siguiente hipótesis, así mismo en el objetivo general y los objetivos específicos siguientes:

HIPÓTESIS

En el proceso de autorización del proyecto Cumbres del Cimatario, la normatividad vigente considera los criterios suficientes que minimizan el impacto hidrológico aguas abajo derivado de un cambio de uso de suelo.

OBJETIVO GENERAL:

Dar las bases técnico-normativas que justifican la necesidad de incorporar el impacto hidrológico en las leyes que regulan los cambios de uso de suelo.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

1.- Valorar el impacto hidrológico del proceso de escorrentía en la infraestructura hidráulica ubicada aguas abajo del fraccionamiento Cumbres del Cimatario, así como el nivel de infiltración derivado de un cambio de uso de suelo.

2.- Identificar la falta de precisión que se tiene en el marco legal vigente sobre el impacto hidrológico derivado de un cambio de uso de suelo.

3.- Caracterizar de manera general la cobertura vegetal de la unidad de escurrimiento.

4.- Identificar la aplicación de la normatividad vigente al proceso de cambio de uso de suelo para el fraccionamiento Cumbres del Cimatario del Municipio de Huimilpan.

III. REVISION BIBLIOGRAFICA

El proceso de urbanización tradicional tiene consecuencias importantes sobre la hidrología natural, principalmente en la disminución de la capacidad de infiltración, de almacenamiento y la eliminación de los cauces naturales de escurrimiento, ocasionando que las inundaciones sean más frecuentes, rápidas y severas. Lo anterior se intensifica si la ciudad crece sin preocuparse del impacto que ella misma genera, (Fernández *et al.* 2003).

En un trabajo desarrollado para la SEDESOL (2004) por un grupo de consultores quienes plantean en el modelo de fomento al desarrollo Urbano en México, crear y desarrollar un programa de capacitaciones y actualización profesional, de los responsables municipales, estatales y federales de desarrollo urbano, el cuál deberá hacer énfasis en una visión holista de los procesos urbanos y que relacione de manera explícita los diversos elementos y procesos que conllevan a la sustentabilidad ambiental de las ciudades.

Los factores que explican la ocurrencia de inundaciones en un punto determinado, son: la topografía, la pendiente, características geomorfológicas del entorno que sufre la crecida y la influencia antrópica en las riveras de los ríos, así como la intensidad de la lluvia, características hidrológicas, del estado del suelo y de la vegetación de la cuenca de drenaje (Mardones y Vidal, 2001)

Hoy en día las soluciones para las aguas de lluvia tienen su enfoque en el diseño de las urbanizaciones, con énfasis en lo que se conoce como “urbanizaciones de bajo impacto” uniendo los aspectos hidrológicos y ambientales, basadas en el aprovechamiento y manejo del agua de lluvia en las ciudades, donde la pavimentación con materiales permeables y la conservación de áreas verdes juegan un papel fundamental (Hager, 2003, Weinstein, 2003). Una de las alternativas técnicas de mayor atractivo es la utilización de pavimentos permeables, con la gran ventaja que no se requiere construir una obra especial para reducir la esorrentía, sino que basta con cambiar el tipo de elementos utilizados. *La idea básica es que no todo lo que se necesita pavimentar tiene que impermeabilizarse*, (Fernández *et al.* 2003).

Las urbanizaciones de bajo impacto mantienen los cauces naturales de manera que cumpla con su función de drenaje y almacenamiento temporal de las aguas de lluvia además de incorporarse a la infraestructura urbana como parques, áreas de recreación o reserva paisajista. Esto tiene consecuencias importantes en la disminución del costo del sistema de drenaje, al hacer innecesaria la construcción de grandes colectores y al conservar los cauces naturales, favorece el desarrollo de la vegetación nativa. Los cauces naturales, son muy eficientes y versátiles para conducir grandes caudales, al contrario de los colectores cerrados que tienen una capacidad fija y que están diseñados para las condiciones de crecidas extremas, es decir una obra de uso esporádico (Fernández, 2004).

Aunado a lo anterior, existen medidas estructurales y no estructurales de control hidrológico que son un conjunto de elementos de aplicación en todo el ámbito de la cuenca, bien pueden ubicarse dentro de los fraccionamientos o en la vía pública, cuyo objetivo es la atenuación del impacto final del escurrimiento superficial, dejando de lado la solución tradicional de incrementar las dimensiones de las estructuras hidráulicas de evacuación. Buscan trasladar espacial y temporalmente parte de la inevitable conversión de lluvia incidente en esorrentía superficial que se opera en las cuencas urbanas, reflejándose en efectivas reducciones de caudales pico y retardos en las respuestas globales, (Huk y Mercanti, 1999).

La mitigación estructural se centra en modificar estructuras para amortiguar las amenazas o eventos destructivos. La mitigación no-estructural enfoca la planificación del uso del suelo, la conservación de cuencas altas y de humedales capaces de absorber y almacenar los excedentes del agua de lluvia (Giroto, 2004). Para Fernández, (1996) la gestión y el manejo del medio ambiente, es el principal mecanismo de prevención y mitigación del riesgo de desastre por inundación.

Otra de las alternativas de solución al impacto hidrológico es el Impacto Cero, el cual se define como: *El pico del nuevo hidrograma generado*

en el lote no debe superar al hidrograma antecedente. El impacto cero no busca resolver los problemas de inundaciones, sino detener la situación actual para general un escenario de planificación del drenaje pluvial realista y acotado en las áreas con inundaciones recurrentes, con la participación activa de la sociedad (Depettris y Pilar, 2001, Cundom y Gutiérrez, 2001).

Para Bazart, (2001) el desarrollo de una planeación urbana debe tener un sustento legal y hay que empezar con el marco legal que se tiene si se quiere salvaguardar el escaso patrimonio natural que aun se conserva en la periferia y que es vital para sostener el precario equilibrio ecológico de las ciudades. El cambiar el enfoque global de la planeación urbana, actuando exclusivamente sobre aquellas zonas con invaluable contenido ambiental y que es de suma importancia promover su intacta preservación, asegura territorialmente los elementos ordenadores del desarrollo urbano, ya que el resto de la ciudad seguirá creciendo.

El aumento de las áreas urbanas y la densificación poblacional son fenómenos sociales que se han acelerado significativamente en los últimos 30 a 40 años. La falta de infraestructuras básicas en zonas no urbanas hace que el hombre se agrupe en las áreas con servicios, construyendo viviendas, calles pavimentadas, obras que en general tienen un punto en común, su carácter impermeable o impermeabilizante que hace que el agua se traslade rápidamente hacia otros sectores. Esta alteración de comportamiento del drenaje pluvial que resulta como consecuencia del crecimiento de la población urbana, y el fenómeno asociado de ocupación intensiva del suelo, se traduce en tres grandes problemas hidrológicos. El primero de ellos corresponde al aumento del consumo de agua. El segundo concierne a las alteraciones que se producen en la red de drenaje natural, aumento de las áreas impermeables y variaciones del microclima local. Por último, el tercero está asociado a la reducción de la infiltración de agua y la consecuente disminución de la recarga del acuífero, aumento de la sedimentación y degradación de la calidad de las aguas, (Cundom y Gutiérrez, 2001).

Scornik y Pelli, (2003) desarrollan un trabajo que está basado en la relación de los sectores con afectación hídrica con la aplicación de la normatividad existente sobre uso del suelo y la ordenación territorial. Teniendo como objetivo la máxima reducción del impacto del agua, ya sea por inundaciones, por lluvias y/o napas freáticas, en los asentamientos en zonas de riesgo. Esto se propone a través de la implementación de medidas de actuación relacionadas con la planificación urbana y territorial. Concluyen que la norma por si sola no tiene efecto, si no existe una fuerte convicción política de aplicarla y de generar espacios de educación, difusión y transferencia de sus alcances a la comunidad. Resulta difícil hacer cumplir lo que no se conoce y menos aún aplicar algún tipo de penalización ante los incumplimientos que se produzcan. Otro elemento importante es la toma de conciencia, fortalecimiento institucional y capacitación técnica por parte de los sectores políticos y organismos técnicos que actúan como autoridades de aplicación. El problema del riesgo y desastre es sumamente serio y tiende a aumentar con el paso del tiempo y el incremento de la concentración urbana, producto de procesos económicos y de cambio social. Los riesgos que son aparentemente irreversibles si no se le da un tratamiento integral y continuo que minimice sus efectos negativos.

En el área metropolitana del Gran Resistencia, municipalidad de Charco en Argentina, Scornik y Pelli (2003), desarrollaron un trabajo sobre la relación de los sectores con afectación hídrica y la aplicación de la normativa existente sobre uso del suelo y la ordenación territorial, llegando a las conclusiones siguientes: a nivel local, la legislación urbana y ambiental no está reunida en un solo cuerpo legal, la normatividad vigente que regula el uso de la tierra en zonas de riesgo hídrico, no es aplicada eficientemente en todos sus aspectos.

A inicios del mes de junio de 2001, el Consejo Municipal de la ciudad de Resistencia aprobó una modificación a la Ordenanza No. 4542 reglamentaria de las "Condiciones de usos del suelo urbano en el casco céntrico de la ciudad de Resistencia", modificación establecida en Ordenanza No. 5403, según la cual se establece que las nuevas construcciones y/o

modificaciones que se ejecuten en el casco céntrico deben verificar el “impacto cero”, es decir que el pico del caudal generado en el lote no incremente con el aumento de la impermeabilidad del terreno, donde incluyen dos indicadores: el FIS (factor de impermeabilización del suelo) y el FIT (factor de impermeabilización total). Con esta ordenanza, Resistencia se transformó en la primera ciudad de Argentina en regularizar la urbanización aplicando criterios y conceptos hidrológicos, (Pilar y Depittris, 2001)

IV. METODOLOGÍA

En este capítulo se aborda el desarrollo de la parte metodológica del proyecto, la cual contempla dos vertientes principales, la parte hidrológica, es decir los factores hidrológicos que se ven afectados cuando se lleva a cabo un proceso de urbanización y el marco legal que rige los cambios de uso del suelo y de que manera se consideran los impactos hidrológicos dentro de la normatividad vigente, en materia de impacto ambiental.

La característica principal de las cuencas urbanas o en proceso de urbanización está representada por el incremento de la impermeabilización y la reducción de la infiltración debido al revestimiento del suelo como consecuencia de la construcción de nuevos edificios, pavimentación de veredas, calles y avenidas, y la remoción de la cobertura vegetal. Estos factores incrementan el volumen y la velocidad de escorrentía, es decir, cuando la intensidad de precipitación es mayor que la capacidad de infiltración y el contenido de humedad del suelo o roca es mayor o igual a su capacidad de campo, (Breña, 2005), produciendo caudales pico mayores en comparación con la cuenca no intervenida.

Los cambios de uso del suelo que se están generando en la zona urbana del Valle de Querétaro, tienen la característica de producirse removiendo una cobertura vegetal que, en términos de su capacidad de intercepción de lluvia y retención de suelo, producirá efectos significativos en dos vertientes principales:

Por una parte, aumentando los niveles de escurrimiento superficial y como consecuencia un incremento en los riesgos de inundación de las zonas bajas, poniendo en riesgo además la seguridad de la infraestructura hidráulica existente y destinada al control de avenidas. Estas obras fueron diseñadas bajo consideraciones distintas de uso del suelo, por lo que un incremento en los niveles de escurrimiento puede ponerlas en riesgo.

Por otra parte, el efecto de la impermeabilización también impacta en los niveles de infiltración, el cual se define como la cantidad de agua que atraviesa la superficie del terreno en la unidad de tiempo y se desplaza al subsuelo, (Breña, 2005); este aspecto resulta relevante en regiones como la del Valle de Querétaro, donde la sobre-explotación de los mantos acuíferos pone en riesgo el abastecimiento de agua potable a la población; por tanto, cualquier esfuerzo enfocado a la infiltración y posible recarga de los acuíferos debe ser privilegiado.

Los aspectos técnicos que rigen el impacto hidrológico por los cambios de uso de suelo, magnifican su importancia si van acompañados de las leyes, reglamentos y normas que los aplican y los regulan. En este trabajo se analizan las leyes, reglamentos y normas en los tres niveles, federal, estatal y municipal que enmarcan los cambios de uso de suelo, teniendo como objetivo central identificar si existe el concepto de impacto hidrológico en el marco legal, de que manera está considerado y si es tomado en cuenta en la autorización de los cambios de uso de suelo, si se desarrollan obras de mitigación para atenuar sus efectos aguas abajo y si existe interacción entre las dependencias que son las responsables de supervisar las obras de mitigación.

Para el desarrollo de los objetivos planteados la metodología se presenta de la siguiente manera:

4.1 Metodologías Hidrológicas Convencionales para el Cálculo de Ecurrimientos en Cuencas Urbanas

La valoración de los impactos hidrológicos se hace sobre dos vertientes: la determinación del incremento en el pico del hidrograma y la cuantificación de los niveles de infiltración.

En el primer caso se aplican las metodologías convencionales para valorar no solamente el pico de los hidrogramas, sino también en algunos casos la forma de los mismos. En el segundo, la valoración se lleva a cabo a

través del método del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (Breña, 2005).

4.1.1 Fórmula Racional

Aunque se trata de un método desarrollado en el año de 1889, por su sencillez todavía se sigue utilizando. Se basa en la hipótesis de que una lluvia constante y uniforme que cae sobre la cuenca, producirá un gasto de descarga el cual alcanza su valor máximo cuando todos los puntos de la cuenca están contribuyendo al mismo tiempo con el escurrimiento en su salida. Tienen aplicación en microcuencas homogéneas pequeñas y para el cálculo de obras de drenaje poco importantes. Su fórmula es sencilla y por eso se explica la vigencia que ha tenido. La figura siguiente muestra la hipótesis básica de la fórmula racional.

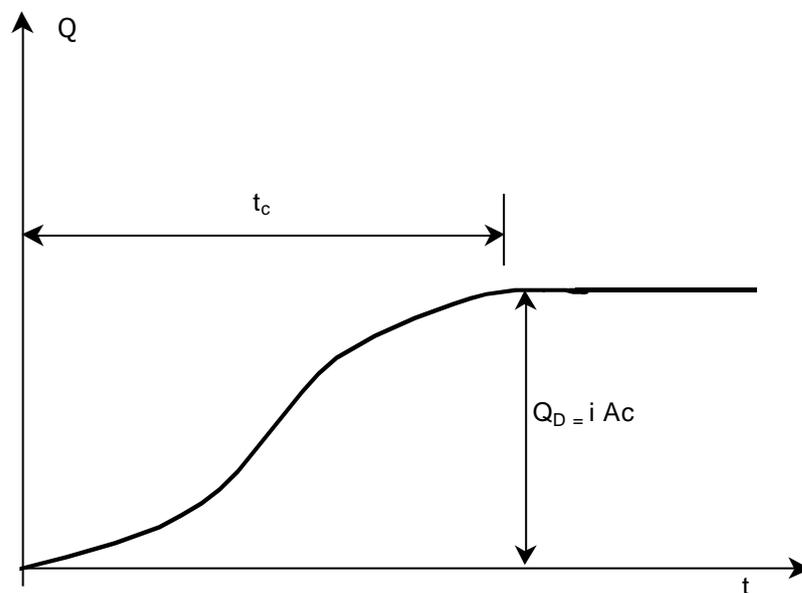


Figura 4.1 Hipótesis fundamental de la fórmula racional
(Breña, 2005)

La hipótesis se satisface para un lapso de tiempo, denominado tiempo de concentración t_c , definido como el tiempo que tarda el agua en fluir desde el punto mas alejado de la cuenca hasta el punto de salida de la misma.

El gasto pico o máximo se define con la expresión:

$$Q_p = 0.278 C i A \quad (1)$$

donde:

- Q_p , es el gasto máximo, en m^3/s ,
- C , es el coeficiente de escurrimiento (la proporción de la lluvia que se convierte en escurrimiento),
- i , es la intensidad media de la lluvia para una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca, en mm/h ,
- A , es el área de la cuenca drenada, en km^2 .

A pesar de su sencillez extrema, la fórmula anterior requiere del conocimiento previo de la intensidad de lluvia y de manera indirecta del cálculo del tiempo de concentración. Más adelante se abordarán los métodos para el cálculo de estas dos variables.

La secuencia de aplicación del método racional es muy simple; primeramente se obtiene el valor del tiempo de concentración, con éste se determina la duración de la lluvia de diseño. Conociendo esta última, se elige una intensidad de precipitación apropiada para la región de estudio, a partir de un análisis de las intensidades ocurridas y asociadas a distintos períodos de retorno, es decir, al tiempo promedio en años en el cual, el evento puede ser igualado o excedido cuando menos una vez, (Campos, 1998). Más adelante se describirán los detalles para este tipo de análisis. Se determina también el coeficiente de escurrimiento más apropiado a las condiciones de utilización de los suelos y se aplica la ecuación (1) para la estimación del gasto pico de la avenida resultante.

Si bien el método racional es un método universal y de extrema sencillez, los resultados que se obtienen son fuertemente dependientes del llamado coeficiente de escurrimiento; la elección de C es quizás de los mayores inconvenientes en la aplicación de este método, ya que involucra un

cierto grado de subjetividad en el momento de elegir su valor para cada tipo y/o uso del suelo. No existen valores estándares que se apliquen de manera universal en todos los casos. Los datos reportados en la literatura provienen por lo general de estudios llevados a cabo en parcelas experimentales y en consecuencia son aplicables con mayor validez en los casos representativos de las condiciones estudiadas. Por tanto, en la mayoría de las ocasiones, se deben adaptarlos a situaciones distintas, lo que conlleva un cierto grado de incertidumbre. Sin embargo, para el estudio de cuencas no aforadas con escasez de información, una situación por demás recurrente en nuestro país, el método racional suele ser un referente para compararlos con métodos que involucren un menor grado de subjetividad.

De López Cadenas (1998) se toman los datos para la elección de C en el estudio de caso que se presenta más adelante. Estos valores se cotejan también con los valores que se presentan más abajo.

Cuadro.4.1 Tabla de Prevert (López, 1998) para la determinación del coeficiente C de escurrimiento (valores en %)

Uso del suelo	Pendiente (%)	Textura de suelo		
		Arenoso-limoso Limoso-arenoso	Limoso Limoso-arcilloso	Arcilloso
Bosque	0 - 5	0,10	0,30	0,40
	5 - 10	0,25	0,35	0,50
	10 - 30	0,30	0,40	0,60
	> 30	0,32	0,42	0,63
Pastizal	0,15	0,15	0,35	0,45
	5 - 10	0,30	0,40	0,55
	10 - 30	0,35	0,45	0,65
	> 30	0,37	0,47	0,68
Cultivo Agrícola	0 - 5	0,30	0,50	0,60
	5 - 10	0,40	0,66	0,70
	10 - 30	0,50	0,70	0,80
	> 30	0,53	0,74	0,84

Como se observa en la tabla anterior, la asignación del valor del coeficiente de escurrimiento es más bien subjetiva. Al tiempo que la lluvia es el principal factor que provoca el escurrimiento, el coeficiente C, varía con la topografía, uso del suelo, cobertura vegetal, tipo de suelo y contenido de humedad en este último. En la búsqueda bibliográfica que se hizo para obtener

valores de C con la menor subjetividad posible, se encontró la tabla siguiente que permite valorar un poco mejor la selección de C. esta tabla se aplica a cuencas rurales exclusivamente, y con ella se pretende tomar en cuenta los principales factores que modifican su valor. Con esta tabla, el valor de C se obtiene a partir de la expresión:

$$C = C_r + C_i + C_v + C_s \quad (2)$$

donde,

C_r , es un parámetro función del relieve,

C_i , es un parámetro función del nivel de infiltración que tenga la cuenca,

C_v es un parámetro función de la cobertura vegetal, y

C_s , es el parámetro que toma en cuenta la forma del drenaje del terreno, la presencia de zonas de encharcamiento, de cuerpos de agua, etc.

Cuadro. 4.2 Determinación del coeficiente C de escurrimientos para la fórmula racional (Ken Bohuslav, P.E, 2004)

<i>Coeficientes de escurrimiento para cuencas rurales</i>				
	Extremo	Alto	Normal	Bajo
Relieve (C_r)	0.28-0.35 terrenos con pendiente mayores del 30%	0.20-0.28 terrenos con pendientes entre el 10-30%	0.14-0.20 terrenos con pendientes entre el 5-10%	0.08-0.14 terrenos relativamente planos entre el 0-5%
Infiltración (C_i)	0.12-0.16 suelos rocosos de capacidad de infiltración despreciable	0.08-0.12 suelos arcillosos o limosos de baja capacidad de infiltración o pobremente drenados	0.06-0.08 suelos de textura media areno-limoso, buen drenaje	0.04-0.06 suelos arenosos profundos de infiltración rápida
Cobertura Vegetal (C_v)	0.12-0.16 con cobertura vegetal no efectiva, muy dispersa	0.08-0.12 con cobertura vegetal pobre y escasa, cultivos de cobertura inferior al 20%	0.06-0.08 de escasa a buena con 50% de área de buen pastizal y no más del 50% de área de cultivo	0.04-0.06 de buena a excelente cerca del 90%, tierras de buena calidad
Superficie (C_s)	0.10-0.12 despreciable, tierras con depresiones bajas o escasas	0.08-0.10 sistema de drenaje bien definido, sin depresiones, sin escurrimientos	0.06-0.08 normal, presencia considerable de depresiones con lagos y cuerpos receptores	0.04-0.06 con mucha superficie de almacenamiento
Nota: Coeficiente de escurrimiento global $C=C_r+C_i+C_v+C_s$				

Los coeficientes listados en el cuadro anterior son válidos cuando se analizan tormentas con períodos de retorno de 2 hasta 10 años. Con valores más altos de esta variable, los coeficientes de escurrimientos deben modificarse, ya que la infiltración y todos los factores que provocan abstracciones de la lluvia (intercepción de la vegetación, infiltración, etc.) tienen un efecto menor sobre el escurrimiento. Para esta modificación, Bohuslav (2004) menciona las correcciones que se indican en el cuadro siguiente:

Cuadro 4.3 Correcciones al Coeficiente de Escurrimiento para $T_r > 10$ años

Período de retorno, en años	Coef. De corrección
25	1.1
50	1.2
100	1.25

(Fuente: Bohuslav, 2004)

4.1.2. Método del Hidrograma Unitario Adimensional del Servicio de Conservación de Suelos

Este es un método que resulta útil cuando la cuenca en estudio no dispone de datos registrados sobre los escurrimientos generados para una tormenta dada. Por lo general se obtienen datos de esta última, pero los registros de los escurrimientos que ella genera son difíciles de conseguir.

De una forma muy general, el método es propuesto al observar que una gran cantidad de hidrogramas resultaban similares cuando se tomaba el gasto pico Q_p como unidad de gasto y el tiempo en el que se presenta t_p como unidad de tiempo. La forma típica que se obtiene con estos hidrogramas es el mostrado en la figura siguiente (Sánchez F., 2004). En esta figura se indican además los valores tabulados del hidrograma, estos valores están adimensionalizados con respecto a Q_p y t_p . La forma de aplicar este método es calcular primeramente los valores de éstas dos variables y se utilizan los valores adimensionalizados de la tabla para convertir el hidrograma típico a uno representativo de la cuenca de interés.

t / t_p	Q / Q_p	t / t_p	Q / Q_p
0,0	0	1,4	0,75
0,1	0,015	1,5	0,65
0,2	0,075	1,6	0,57
0,3	0,16	1,8	0,43
0,4	0,28	2,0	0,32
0,5	0,43	2,2	0,24
0,6	0,60	2,4	0,18
0,7	0,77	2,6	0,13
0,8	0,89	2,8	0,098
0,9	0,97	3,0	0,075
1,0	1,00	3,5	0,036
1,1	0,98	4,0	0,018
1,2	0,92	4,5	0,009
1,3	0,84	5,0	0,004

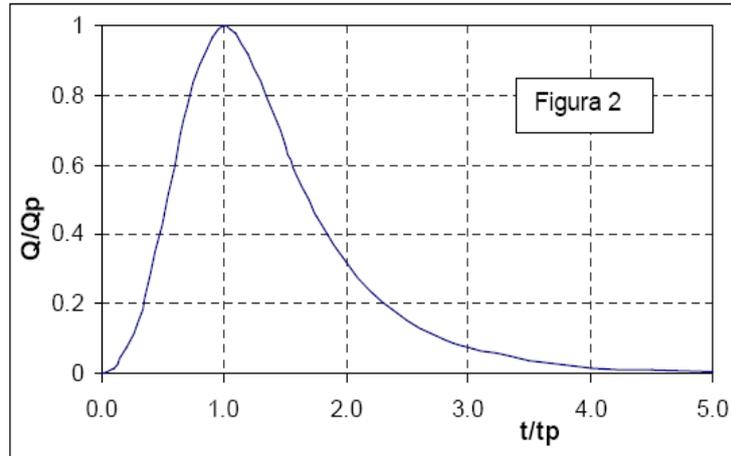


Figura 4.2 Forma típica del hidrograma unitario adimensional del SCS
(Sánchez, 2004)

El método es válido para considerar hidrogramas producidos por tormentas cortas y bajo la hipótesis de que se presentan de manera uniforme en toda la cuenca.

En realidad, además de aportar un hidrograma típico, como el de la figura anterior, para caracterizar los escurrimientos en una cuenca, el método simplifica primeramente la forma del hidrograma con la forma de un triángulo, lo que permite la estimación de sus parámetros fundamentales como son el gasto de pico, el tiempo base y el tiempo en el que se presenta el gasto pico, (ver la figura siguiente).

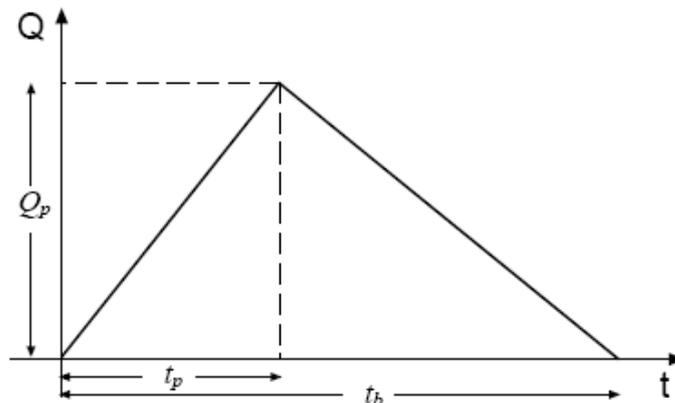


Figura. 4.3 Hidrograma triangular, base del método adimensional.
(Sánchez, 2004)

El gasto pico, Q_p se obtiene igualando el volumen de agua precipitada (lamina de lluvia por la superficie de la cuenca) con el área bajo el hidrograma triangular (área del triángulo), la expresión para Q_p , queda:

$$Q_p = \frac{0.208 \cdot P_e \cdot A}{t_p} \quad (3)$$

donde,

Q_p , Gasto del pico de la avenida, en m³/s,

P_e , es la precipitación efectiva (la precipitación neta que produce escurrimiento), en mm,

A , es el área de la cuenca, en km², y

t_p , el tiempo pico, o sea el tiempo en el que se presenta el gasto pico, en h.

La aplicación del método requiere además de las relaciones siguientes para el cálculo del tiempo de pico t_p

$$t_p = 0.5 \cdot D + 0.6 \cdot t_c \quad (4)$$

$$t_b = 2.67 \cdot t_p$$

donde, de la figura anterior, t_p es el tiempo pico y t_b el tiempo base (ambos en h), esto es, el tiempo que tarda en drenarse todo el escurrimiento. Por su parte, D corresponde a la duración de la lluvia efectiva (es decir, la lluvia que genera el escurrimiento, ya descontándole las pérdidas por intercepción) y t_c es el tiempo de concentración, sobre el cual abordaremos mas adelante las expresiones típicas para calcularlo.

En la aplicación de este método se requiere determinar primeramente el valor de la lluvia efectiva, al igual que con el método de Chow que se presentará a continuación, el cálculo de esta variable se hace a través del criterio conocido como “Método de los Números de Escurrimiento”, propuesto por el Servicio de Conservación de Suelos de EU. La descripción de esta metodología se hará seguidamente al de Chow.

4.1.3 Método de Chow

El método permite conocer solamente el gasto máximo del hidrograma de escurrimiento directo para un período de retorno dado y se aplica a cuencas pequeñas menores de 25 km². De manera resumida, el gasto máximo se calcula como:

$$Q = A \cdot X \cdot Y \cdot Z \quad (5)$$

donde

A, es el área de la cuenca en km²

X, es un factor asociado al escurrimiento directo y para una duración de tormenta d , en mm/h.

Y, es un factor de tipo climático, y

Z, un factor de reducción adimensional.

Los parámetros que intervienen en la ecuación (5) se obtienen de las relaciones siguientes.

Para el factor X:

$$X = \frac{P_{eb}}{d} \quad (6)$$

donde,

P_{eb} , es la precipitación en exceso o lluvia efectiva calculada para la estación base, expresada en mm y para una duración, d en horas, dada.

Para el factor Y:

$$Y = 0.278 \frac{P_e}{P_{eb}} \quad (7)$$

donde,

P_e , es la precipitación en exceso o lluvia efectiva calculada para la estación cuenca; si la estación base de referencia se encuentra dentro de la cuenca, entonces $Y=0.278$.

El factor Z se calcula en función de la relación entre la duración de la tormenta d , y el tiempo de retraso t_r , con ayuda de la figura siguiente. Este tiempo t_r se define como el tiempo que transcurre entre el centroide del hietograma de lluvia efectiva y el tiempo pico del hidrograma de escurrimiento directo.

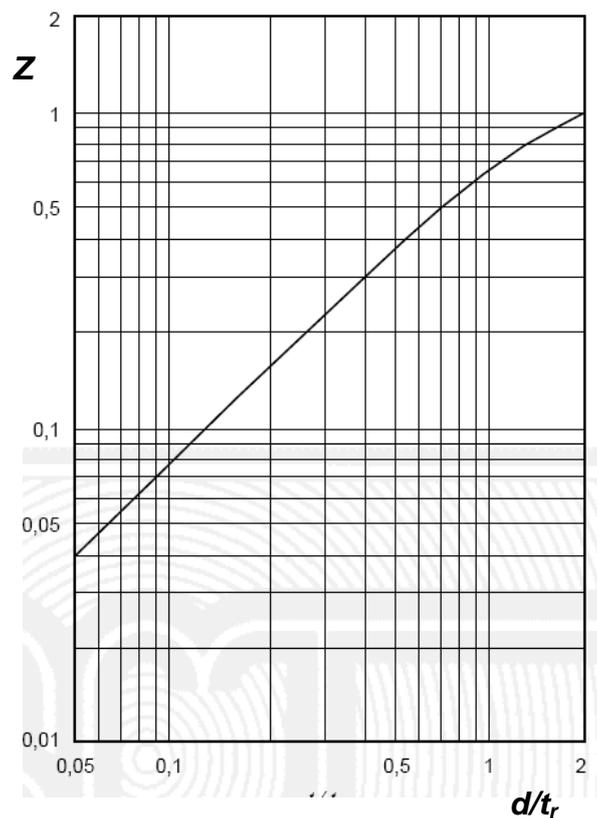


Figura 4.4 Diagrama para la determinación del factor Z
(Normas de SCT, 2002)

Para utilizar el diagrama de la figura anterior, se requiere conocer, además de la duración de la tormenta, el valor del tiempo de retraso. Entre las ecuaciones empíricas propuestas para este efecto esta la propuesta por Chow:

$$t_r = 0.005 \cdot \left(\frac{L}{S} \right)^{0.64} \quad (8)$$

donde,

- t_r , es el tiempo de retraso, en horas,
- L, es la longitud del cauce principal, en m,
- S, es la pendiente del cauce principal, en %

El procedimiento para obtener el gasto máximo con el método de Chow, es el siguiente:

- a. Se selecciona una duración de tormenta, d .
- b. Se selecciona un período de retorno T_r .
- c. Se estiman los valores de la precipitación efectiva P_e y P_{eb} .
- d. Se obtienen los valores de los factores X y Y .
- e. Se calcula el tiempo de retraso t_r y con él y la duración d , se obtiene la relación d/t_r y posteriormente se obtiene el valor del factor Z con ayuda del diagrama de la figura anterior.
- f. Se calcula el gasto máximo de escurrimiento con ayuda de la ecuación (5).
- g. Se repite este procedimiento para otras duraciones.
- h. Se elige el valor más grande del gasto máximo entre todas las opciones con diferente d .

En el caso de los métodos (b) y (c), se requiere llevar a cabo un análisis estadístico de las precipitaciones registradas en la(s) estación(es) ubicada(s) en la cuenca o cercanas a ésta. Este análisis conocido como de intensidad-duración-período de retorno (curvas $i-d-T_r$), se abordará más adelante; aquí solamente supondremos que ya se ha determinado las intensidades de diseño; es decir, las intensidades de lluvia más representativas para la cuenca en estudio. Suponiendo entonces que se conocen las curvas $i-d-T_r$, se selecciona una intensidad i , asociada a un período de retorno T_r y a

una duración d . Se obtiene entonces una lámina de precipitación asociada con la expresión:

$$P_b = i \cdot d \quad (9)$$

El valor de P_b indica la lámina de lluvia total que se tendría cuando ocurriera una precipitación con una intensidad i y durante un tiempo d ; sin embargo, ambos métodos no consideran en este punto la lluvia total, sino aquella que resulta una vez que se ha efectuado la reducción por efecto de la vegetación, re-llenado de las depresiones, etc. Esto es, que consideran la lluvia efectiva. Para obtener esta última, se puede utilizar la metodología propuesta por el SCS (Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos).

Con este procedimiento, la lámina de lluvia total, P_b , en cm, se relaciona con la lámina de lluvia efectiva, P_e , en cm, a través del parámetro CN , conocido como número de escurrimiento. La expresión siguiente muestra esta relación:

$$P_e = \frac{(P_b - \frac{508}{CN} + 5.08)^2}{P_b + \frac{2032}{CN} - 20.32} \quad (10)$$

En esta ecuación, el valor de parámetro CN depende del uso, tipo y composición del suelo, así como del tratamiento, pendiente y estado de humedad antecedente del terreno. Las tablas que siguen muestran la clasificación de suelos que utiliza el método del SCS y a partir de la cual puede obtenerse el valor del parámetro CN .

Primeramente hay que determinar el tipo de suelo, desde el punto de vista de su comportamiento hidráulico, que presentan los terrenos de la cuenca en estudio. Los grupos de suelos se clasifican de acuerdo a sus propiedades hidráulicas, mismas que se definen de acuerdo al cuadro siguiente:

Cuadro 4.4 Características de los tipos de suelo

Tipo de suelo	Características
A	Arenas con poco limo y arcillas de tamaño medio (escurrimiento mínimo)
B	Arenas finas y limos orgánicos e inorgánicos, mezcla de ambos
C	Arenas muy finas, limos y bastante arcilla
D	Arcillas en grandes cantidades; suelos poco profundos con subhorizontes casi impermeables (escurrimiento máximo)

(Fuente: Elaboración propia)

Posteriormente, se debe determinar el tipo de uso del suelo o cobertura vegetal que se presenta en la cuenca. Para los fines de este trabajo, es el estudio de cuencas urbanizadas, se muestra en la tabla que sigue los distintos tipos de uso y cobertura de suelo y el valor que representa para el parámetro *CN* (nótese que también se considera la pendiente del terreno).

Cuadro 4.5 Valores del Número de Escurrimiento *CN* para cuencas urbanizadas (López, 1998)

Descripción de la cubierta		Nº de curva para cada grupo hidr. de suelo			
Tipo de cubierta y estado hidrológico	% medio de sup. impermeable ⁽²⁾	A	B	C	D
Áreas urbanas completamente desarrolladas (vegetación establecida)					
Espacios abiertos (césped, parques, campos de golf, cementerios, etc) ⁽³⁾					
Malas condiciones (cubiertas < 50%)		69	79	86	89
Condición media (regular) (50 < Fcc < 75%)		49	69	79	84
Buenas condiciones (F > 75%)		39	61	74	80
Superficies impermeables:					
Aparcamientos pavimentados, tejados, carreteras, etc.		98	98	98	98
Calles asfaltadas y alcantarilladas		98	98	98	98
Cunetas asfaltadas		83	89	92	93
Gravas		76	85	89	91
Lodos		72	82	87	89
Áreas desérticas urbanas:					
Paisajes naturales desérticos (sólo superficies permeables) ⁽⁴⁾		63	77	85	88
Paisaje desértico artificial (maleza impermeable, leñosas rastreras) (2-4 cm), capas de arena o grava)		96	96	96	96
Distritos urbanos:					
Comercial y de negocios	85	89	92	94	95
Industrial	72	81	88	91	93
Distritos residenciales según tamaño medio					
≤ 500 m ²	65	77	85	90	92
1.000 m ²	38	61	75	83	87
1.350 m ²	30	57	72	81	86
2.000 m ²	25	54	70	80	85
4.000 m ²	20	51	78	79	84
8.000 m ²	12	46	65	77	82
Áreas urbanas en desarrollo					
Superficies recientemente catalogadas (sólo superficies permeables, sin vegetación) ⁽⁵⁾		77	86	91	94
Tierra sin uso (su NC se determina usando tipos de cubierta similares a los de la tabla 1.4)					

También se incluyen en el cuadro siguiente los valores del número de escurrimiento para áreas forestales, esto debido a que la cuenca que se estudiará más adelante también presenta terrenos forestales en muy buen estado de conservación.

Cuando se llevan a cabo estudios sobre lluvia y escurrimiento del tipo que se aborda en este trabajo, es importante considerar las condiciones iniciales de humedad en la que se encuentra la cuenca en estudio.

Cuadro 4.6 Valores del Número de Esguerrimiento CN para áreas forestales
(López, 1998)

Descripción de la cubierta		Nº de curva para cada grupo hydr. de suelo			
Tipo de cubierta	Estado hidrológico	A	B	C	D
Pastos, prados, o forraje permanente para pastoreo ²³	Malo	68	79	86	89
	Medio	49	69	79	84
	Bueno	39	61	74	80
Prados cubiertos permanentemente con hierba, protegidos del pastoreo y normalmente segados para heno (prados de siega).	—	30	58	71	78
Matorral, mezcla de matorral y maleza siendo el matorral el elemento prioritario ³¹	Malo	48	67	77	83
	Medio	35	56	70	77
	Bueno	30 ⁴¹	48	65	73
Mezcla de bosques y hierba (huerto o árboles frutales) ⁴⁵	Malo	57	73	82	86
	Medio	43	65	76	82
	Bueno	32	58	72	79
Bosques ⁶⁹	Malo	45	66	77	83
	Medio	36	60	73	79
	Bueno	30 ⁴¹	55	70	77
Granjas, construcciones, caminos carreteras y alrededores	—	59	74	82	86

Esta condición resulta de vital importancia porque la respuesta de la cuenca será distinta en función de las condiciones de humedad antecedente que presenten. Los valores que registran los dos cuadros anteriores son utilizables cuando se tiene una condición media de humedad antecedente; es decir, que se considera que en los cinco días previos se presentó una lámina de lluvia entre 35 y 53 mm (López, 1998).

Cuadro 4.7 Condiciones de humedad antecedente

Condición	Lluvia total caída durante los cinco días previos
I	Menos de 35 mm
II*	35 a 53 mm
III	Más de 53 mm

(Fuente: López, 1998)

Por tanto, cuando se desea analizar escenarios con condiciones de humedad antecedente, distintas de la media o condición tipo II, los valores de número de esguerrimiento deben ajustarse de acuerdo a las condiciones

mostradas en el cuadro anterior. Para condiciones distintas, se puede utilizar la figura siguiente para estimar el valor ajustado de CN ; estos ajustes se llevan a cabo con respecto a los valores de CN en condición media.

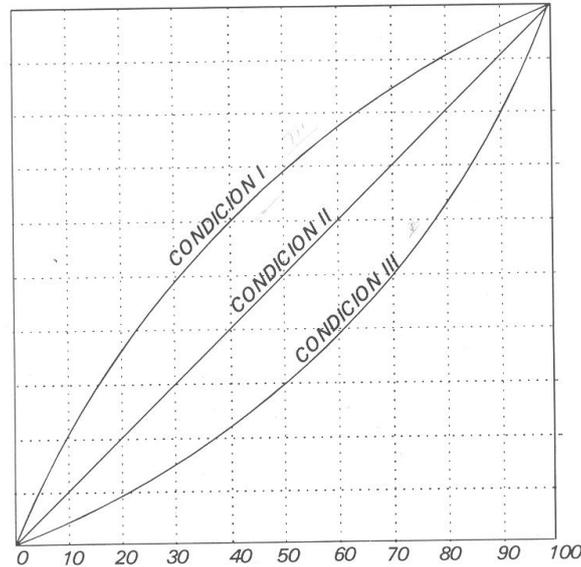


Figura 4.5 Diagrama para la corrección de CN
(López, 1998)

Alternativamente, se puede emplear también las ecuaciones siguientes para corregir los valores de CN ; en estas expresiones, el valor de CN_{II} corresponde a la condición tipo II.

$$CN_I = \frac{4.2 CN_{II}}{10 - 0.058 CN_{II}} \quad (11)$$

$$CN_{III} = \frac{23 CN_{II}}{10 + 0.13 CN_{II}} \quad (12)$$

Para la aplicación completa de los tres métodos anteriores se requiere de cálculos adicionales relacionados con los aspectos siguientes:

- a) La caracterización de la variable de entrada del sistema lluvia-escurrimiento; esto es la precipitación, y
- b) La estimación de los tiempos de concentración.

En el caso de la caracterización de la lluvia, se acostumbra a utilizar las llamadas curvas intensidad-duración-periodo de retorno (curvas i-d-Tr).

Estas curvas resultan de un análisis estadístico de las precipitaciones registradas en una o varias de las estaciones climatológicas dentro o en las cercanías de la cuenca en estudio. La idea principal de este tipo de curvas es poder definir una tormenta de diseño, en el caso de este trabajo se interpretará como la(s) tormenta(s) que permita(n) estudiar el impacto hidrológico, con base a una duración e intensidad determinada. Como sucede en los estudios de tipo hidrológico, la aleatoriedad de las precipitaciones obliga a hacer uso de la estadística, por lo que el análisis de las precipitaciones se acompaña del concepto período de retorno (T_r). Se define a T_r como el intervalo promedio de tiempo dentro del cual un evento de magnitud dada x puede ser igualado o excedido por lo menos una vez en promedio (Springall, 1986). La metodología para la determinación de estas curvas se abordará paralelamente a su aplicación en el caso de estudio.

4.1.4 Cálculo de los Tiempos de Concentración.

Para la estimación del tiempo de concentración, t_c , existen un sinnúmero de métodos que pueden ser aplicados, a continuación se presentan tres de los más utilizados en México.

1.- Fórmula de Kirpich

$$t_c = 0.0003245 \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.77} \quad (13)$$

donde:

- t_c , Tiempo de concentración en horas.
- L , Longitud del cauce principal en metros
- S , Pendiente media del cauce principal (h/L)

2.- Fórmula de Rowe

$$t_c = \left[(0.87 L^3) / D \right]^{0.385} \quad (14)$$

donde:

- t_c , Tiempo de concentración en horas.
- L , Longitud del cauce principal en kilómetros.
- D , Desnivel total del cauce principal en metros

3.- Fórmula del Servicio de Conservación de Suelos de EU

$$t_c = \frac{L^{1.15}}{3085 D^{0.38}} \quad (15)$$

donde:

- t_c , Tiempo de concentración en horas.
- L Longitud del cauce en kilómetros.
- D Desnivel total del cauce en metros.

4.2. Metodología hidrológica para el cálculo de los niveles de infiltración.

La cantidad de agua que atraviesa la superficie del terreno en la unidad de tiempo, recibe el nombre de tasa de infiltración. Si el agua que se introduce al terreno es desplazada a una mayor profundidad, entonces puede ocurrir que llegue a recargar los acuíferos.

Que el agua infiltrada llegue a recargar los acuíferos o que simplemente se quede en las capas más superficiales del terreno, dependerá de un sinnúmero de factores. Antes de que el agua precipitada llegue a la superficie del suelo, deberá atravesar el follaje de la vegetación. Inclusive, una parte del agua retenida en este último, podrá regresar a la atmósfera a través del proceso de evapotranspiración. Deberá también satisfacer el volumen que queda en las depresiones del terreno. Las dificultades en la separación de cada componente de este proceso hacen que se acostumbre a manejar en un solo término la infiltración e intercepción del agua de lluvia. Ahora bien, para los propósitos que se persiguen en este trabajo, resulta conveniente adoptar el término de retención del agua precipitada, para señalar todo aquel volumen de agua que, de una u otra forma quedaría disponible en la cuenca, cuando al volumen de agua precipitada se le descuenta el agua volumen de agua

escurrida (es decir el que sale de la cuenca). De esta manera se podrá valorar el impacto ambiental de un cambio de uso del suelo, cuantificando el volumen de lluvia que se deja de retener como consecuencia del incremento en la impermeabilización de un porcentaje del suelo de la cuenca. Este volumen que se “pierde” tiene un efecto negativo en las condiciones microclimáticas de la unidad de escurrimiento en estudio (al modificarse la cantidad de agua que se evapotranspira); pero además, al incrementarse el escurrimiento, se disminuye el volumen potencial sujeto a ser infiltrado y eventualmente a ser destinado a la recarga de los acuíferos. Para valorar estos volúmenes se han adoptado dos criterios simples que permiten tener una idea de los impactos por cambio de uso del suelo.

4.2.1 Criterio del Índice de Infiltración

Además de valorar el impacto hidrológico en términos del incremento en el gasto pico del hidrograma de escurrimiento, en este trabajo también se considera la reducción en la tasa de infiltración; con este criterio se pretende tomar en cuenta el impacto en la disminución de los niveles de infiltración. Esto resulta más relevante cuando se considera que esta disminución de infiltración puede repercutir en la recarga de acuíferos sobre todo en regiones donde la sobre-explotación de los acuíferos es alarmante. Por supuesto, hay que señalar que infiltración no significa necesariamente que haya recarga; sin embargo, esto puede ser particularmente válido cuando la unidad de escurrimiento en estudio presenta características geológicas que favorecen la percolación a través de la infiltración, como puede ser el caso de rocas volcánicas, de alta permeabilidad y con la posibilidad de que exista fracturamiento.

Para valorar la infiltración media, existen métodos teóricos y empíricos que requieren de mayor o menor información. Sin menoscabo de los primeros, aquí se privilegian los segundos en razón de que normalmente la información disponible es escasa y los procedimientos basados en ecuaciones teóricas resultan fuera del alcance.

El método utilizado en este estudio está basado en la cantidad de lluvia que cae sobre la cuenca, así como en sus características edafológicas y de uso del suelo. Con este método se aprovecha además los cálculos que se realizan para la determinación de la lluvia efectiva; es decir, que se hace apego del método del Servicio de Conservación de Suelos (SCS) ya descrito mas arriba para el cálculo de la lámina de lluvia efectiva sobre la cuenca.

Así, el objetivo de este apartado será la determinación de un índice de infiltración promedio para una cuenca, basado en las condiciones de uso del suelo y enfocado al impacto que resulta de un cambio de cobertura (de una vegetación densa con alto nivel de retención de agua) a una superficie impermeabilizada producto de un proceso de urbanización.

La infiltración depende de un sinnúmero de factores entre los que sobresalen: la cantidad de lluvia que cae, y es dispuesta sobre la superficie del terreno, las características hidráulicas de los suelos, el contenido de agua en los estratos someros de los suelos, la pendiente y rugosidad del terreno, la cobertura vegetal y el grado de impermeabilización del suelo (esto cuando se trata de cuencas urbanizadas), etc. Dado que no es el objetivo de este trabajo abordar la teoría de la infiltración en su conjunto, sino de valorar el efecto de la impermeabilización sobre este componente del ciclo hidrológico, el interés se centrará en presentar un método simple para estimar la infiltración media en la cuenca y que pueda aplicarse en condiciones de escasez de información.

El criterio elegido es el de la capacidad de infiltración media, este criterio supone que la capacidad de infiltración es constante durante la ocurrencia de una tormenta y a esta capacidad de infiltración se le denomina índice de infiltración media ϕ (Chavarri Velarde).

Para la aplicación de este criterio se supondrá que se dispone de un hietograma de tormenta típica, asociada a una intensidad y período de retorno dados. Se aplicará además el método del Servicio de Conservación de Suelos para el cálculo de la lluvia efectiva. El procedimiento consiste en los siguientes pasos:

- a) Se estima la altura de lluvia efectiva o lluvia en exceso, como hipótesis se considera que no se dispone del volumen de escurrimiento medido en la salida de la cuenca, por lo que la lámina de lluvia efectiva se estimará con base al método de los números de escurrimiento.
- b) Conociendo el hietograma de la avenida, se traza sobre él una línea horizontal y, a partir de un procedimiento de prueba y error se determina que la suma de las alturas de precipitación que se ubican arriba de esa línea sea igual a la altura de lluvia efectiva. El índice de infiltración media ϕ será igual a la altura de precipitación correspondiente a la ordenada a la cual se haya trazado, dividida por el intervalo de tiempo del hietograma. La figura siguiente ilustra este procedimiento.

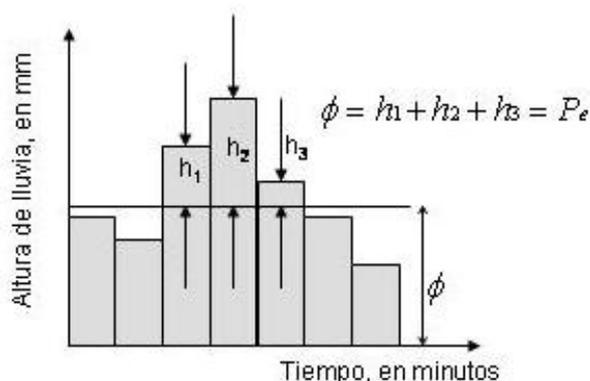


Figura 4.6 Determinación del índice de infiltración
(Breña, 2005)

Con este criterio, la idea es poder comparar en que cantidad se reduce la infiltración cuando se produce la impermeabilización de un porcentaje del suelo de la cuenca.

4.2.2 Criterio del Balance Hídrico

El balance hídrico puede estimarse a nivel de cuencas hidrológicas, contabilizando la evapotranspiración potencial, la precipitación, la infiltración y la esorrentía.

Considerando el caso más simple, esto es, bajo condiciones naturales, el balance queda gobernado por la ecuación:

$$P - E - E_{tr} = I_n \quad (16)$$

donde,

- P , es precipitación, en mm,
- E , es el escurrimiento superficial, en mm,
- E_{tr} , es la evapotranspiración actual, en mm,
- I_n , es la infiltración neta, en mm.

Los componentes de la ecuación anterior se pueden evaluar para períodos arbitrarios, en este caso el período de tiempo seleccionado es de un año, por lo que se consideraran valores promedio anuales. En el caso de aplicación de la ecuación anterior para cuencas muy pequeñas y que cuenten con datos de una estación cercana, se puede suponer que el valor promedio de la precipitación media anual es válida para toda la cuenca.

Considerando los datos que se pueden obtener en este tipo de análisis y dada las condiciones de escasez de información más detallada, la ecuación anterior se puede resolver aplicando un modelo simplificado en el cual, primero se estima la esorrentía en función de las características biofísicas de la cuenca (precipitación, textura, cobertura vegetal y uso del suelo).

Posteriormente, se sustrae de la precipitación, el escurrimiento, para calcular la precipitación efectiva; ésta se define como la diferencia entre la precipitación y el escurrimiento superficial. El cálculo del tercer elemento de la ecuación de balance y que se refiere a la evapotranspiración real es muy difícil de evaluarlo por la gran variabilidad de las condiciones climáticas y de cobertura de suelo, además de la escasez de datos precisos. Por esta razón, su valor se estima con base en el cálculo de la evapotranspiración potencial de referencia; en estricto rigor, esta hipótesis sería válida solo en aquellos casos en que la precipitación efectiva exceda el valor de la evapotranspiración

potencial, cuando esta condición no se cumple, el valor de esta última sería equivalente a la precipitación efectiva más la humedad almacenada en el suelo.

Para estimar el valor de la evapotranspiración potencial, se pueden emplear distintos métodos, pero uno de los más simples y que se adapta a las condiciones de escasez de datos es el modelo de Turc, (Sánchez, 2004) mismo que se describe a través de la ecuación:

$$ET = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \left(\frac{P}{L}\right)^2}} \quad (17)$$

donde,

P , es la precipitación media anual y,

L , es una función de T , que a su vez es función de la temperatura (t), y la precipitación (P).

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3 \quad (18)$$

Siendo :

$$T = \frac{\sum_i^{12} t_i \times P_i}{\sum_i^{12} P_i}$$

Para estimar el escurrimiento superficial existen distintos y variados criterios que requieren distintos niveles y detalles de información. El método que se aplica en este trabajo ha sido adoptado como la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000 en este tipo de trabajos y ha sido publicado en el diario oficial de la federación en el mes de enero de 2003 (CNA, 2002). La norma anterior establece las especificaciones y el criterio para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales, tiene además la ventaja de que se adapta convenientemente a las potencialidades de un Sistema de Información Geográfica, ya que permite evaluar de manera espacial los principales elementos fisiográficos y climatológicos que intervienen en el

proceso lluvia-escorrentía, al mismo tiempo que se adapta a las limitaciones de información, es decir a cuencas no aforadas. Obviamente su nivel de aplicación se enfoca fundamentalmente a aspectos de planeación ambiental más que a propósitos de modelación matemática.

El modelo de escorrentía que resulta de esta manera es en realidad muy simple, ya que se basa en la determinación del llamado coeficiente de escorrentía. Se entiende a este último como la proporción de la lluvia que se convierte en escorrentía para una región determinada. Con este modelo se toma en cuenta los datos de precipitación media anual, así como el tipo y uso del suelo; el método es en este sentido similar al llamado método de los números de escorrentía o método del Servicio de Conservación de Suelos de (Campos, 1998).

La expresión general que proporciona el valor del coeficiente de escorrentía medio anual está dada por:

$$C = k \cdot \frac{P - 250}{2000} + \frac{k - 0.15}{1.50}$$

(19)

Cuando $k > 0.15$

$$C = k \cdot \frac{P - 250}{2000}$$

Cuando $k < 0.15$

En las expresiones anteriores, P es la precipitación media anual expresada en mm y, k es un parámetro que depende del tipo y uso de suelo (o cubierta vegetal), su valor oscila en el rango de 0.07 a 0.33 y se determina de acuerdo con la tabla siguiente:

Cuadro 4.8 Valores del parámetro k del método oficial para cálculo de escurrimientos (CNA, 2002)

Uso de suelo o cubierta vegetal	Tipo de suelo		
	A	B	C
Cultivos:			
En hilera	0.24	0.27	0.30
Legumbres o rotación de praderas	0.24	0.27	0.30
Granos pequeños	0.24	0.27	0.30
Pastizal (% de suelo cubierto/pastoreo):			
Más del 75% / Poco	0.14	0.20	0.28
Del 50 al 75% / regular	0.20	0.24	0.30
Menos del 50% / mucho	0.24	0.28	0.30
Bosque:			
Cubierto más del 75%	0.07	0.16	0.24
Cubierto del 50 al 75%	0.12	0.22	0.26
Cubierto del 25 al 50%	0.17	0.26	0.28
Cubierto menos del 25%	0.22	0.28	0.30
Otros usos:			
Pradera permanente	0.18	0.24	0.30
Barbecho, áreas sin cultivo o desnudas	0.26	0.26	0.30
Cascos y zonas con edificaciones	0.26	0.29	0.32
Caminos (incluyendo derecho de vía)	0.27	0.30	0.33

En la tabla anterior, el tipo de suelo se considera de acuerdo a su mayor o menor permeabilidad.

Suelo tipo A; suelos muy permeables, tales como las arenas y loes poco compactos,

Suelo tipo B; suelos medianamente permeables, tales como arenas de mediana profundidad, loes medianamente compactados, migajones,

Suelo tipo C; suelos casi impermeables como las arcillas o suelos sobre una capa impermeable.

Para la superficie estatal, el dato del tipo de suelo en términos de su permeabilidad es desconocido; por ello, se puede utilizar cualitativamente la información edafológica de INEGI para asociar las permeabilidades con la textura del suelo. Así, los suelos con textura gruesa se pueden asociar a los de la clase A, los de textura media como clase B y los suelos con textura fina se pueden considerar como clase C. Asimismo, la asignación de los valores del

parámetro k de la tabla anterior requiere también del conocimiento del tipo de vegetación.

Conociendo entonces los valores de la precipitación y estimando la evapotranspiración y el coeficiente de escurrimiento, se puede llegar a inferir la lámina de infiltración en la cuenca en estudio a través de la ecuación;

$$I_n = (1 - C) \cdot P - E_{tr} \quad (20)$$

$$PP (\%) = \left(1 - \frac{SCP}{AC}\right) * 100 \quad (21)$$

donde

SCP , es la superficie de la cuenca “alterada” por el desarrollo inmobiliario, en ha.

AC , es el área total de la cuenca, en ha.

En la fórmula anterior se adopta la hipótesis de que $SCP < AC$.

El valor de PP dará un primer indicador cualitativo de la magnitud del cambio en el uso del suelo de la cuenca. La expresión (21) podrá aplicarse de manera más específica para los distintos tipos de cobertura vegetal, a fin de valorar mejor el porcentaje de cambio, pero tomando en cuenta la “calidad” del recurso vegetal removido. Esto será particularmente útil cuando el cambio se da en cuencas con alto valor biótico.

4.3 Metodología para la Valoración del Impacto Hidrológico en la unidad de escurrimiento.

La aplicación de los métodos hidrológicos se sigue de acuerdo al esquema de la figura siguiente.

- I. Definición de la unidad de escurrimiento bajo un proceso de cambio de uso del suelo, para elaborar un primer diagnóstico, caracterización y evaluación de los parámetros hidrológicos.
- II. Se plantean dos escenarios de uso del suelo: con y sin proyecto (entendiendo como proyecto un desarrollo inmobiliario). Para cada escenario se cuantifican los cambios en la cobertura vegetal y se estima el porcentaje de cambio *PP* de acuerdo con la relación siguiente.

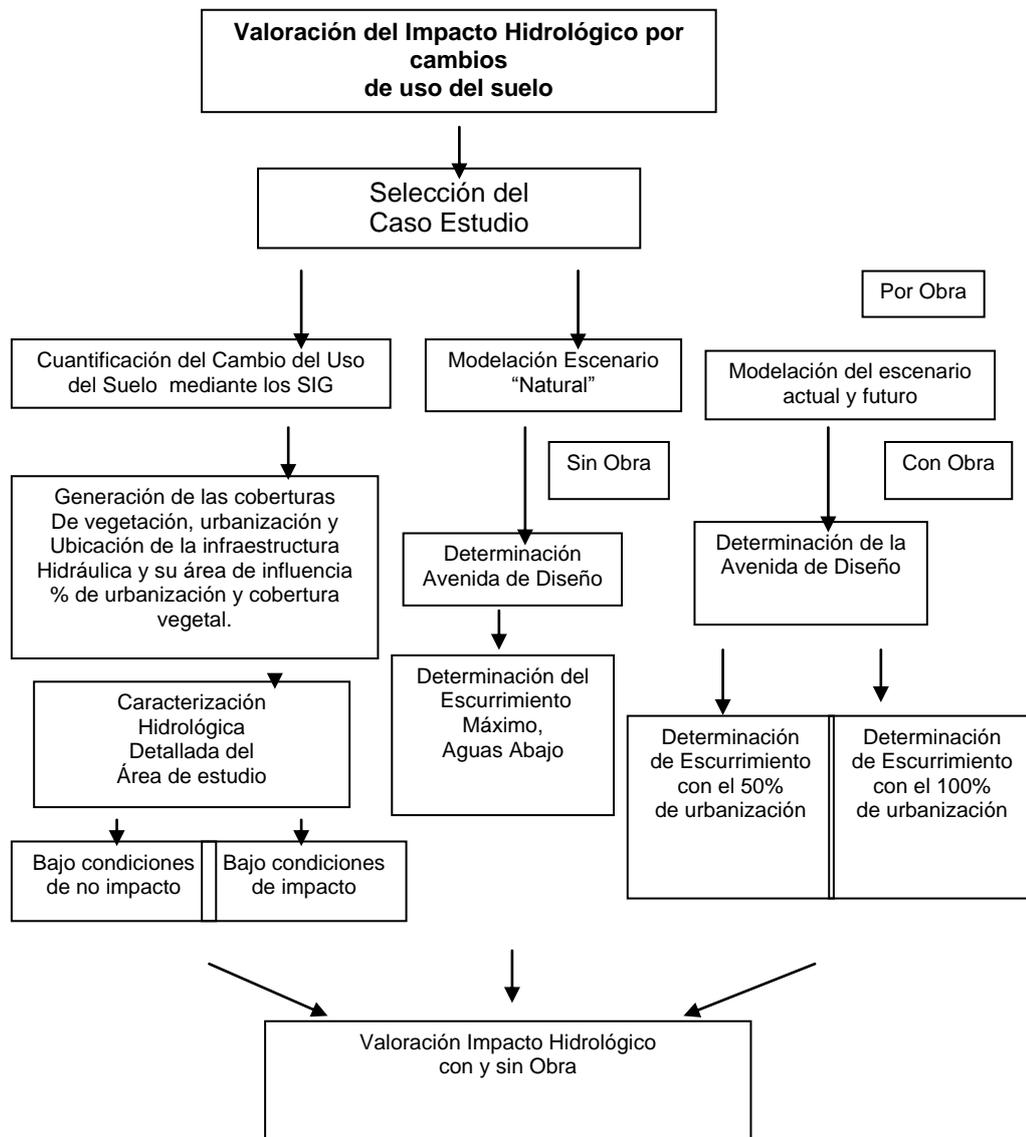


Figura 4.7 Procedimiento de evaluación de impactos hidrológicos

(Fuente: Elaboración propia)

- III. Se determina la respuesta Hidrológica de la cuenca bajo condiciones naturales de uso del suelo; es decir, sin proyecto. Esta respuesta esta determinada en función de la valoración del gasto máximo de escurrimiento y para una tormenta de intensidad y período de retorno definidos de antemano. Con respecto al valor de este último parámetro, hay que decir que el análisis hidrológico está muy asociado con el diseño de la infraestructura hidráulica para el desalajo de los escurrimientos pluviales; por ello, se considera como válido la adopción de los siguientes valores.

Cuadro 4.9 Períodos de retorno recomendables para el diseño de obras hidráulicas urbanas (Breña, 2004)

Tipo de estructura	Periodo de retorno, en años
Bordos	2 a 50
Zanja para drenaje	5 a 50
Drenaje de aguas pluviales	2 a 10
Drenaje en aeropuertos	5
Drenaje en carreteras	50

- IV. Se determina el índice de infiltración promedio de la cuenca bajo condiciones de “no alteración”, los detalles se presentan más adelante con el estudio de caso.
- V. Se repiten los pasos III y IV, ahora con condiciones de “alteración”; es decir contemplando el desarrollo del proyecto inmobiliario. Se pueden analizar diferentes escenarios desde este punto de vista. Por ejemplo, se podrá analizar el desarrollo por etapas, considerando los cambios con base a porcentajes de cambio del uso del suelo y según se planee el desarrollo inmobiliario. Se manejan dos escenarios distintos desde el punto de vista hidrológico; es decir, las condiciones iniciales sobre las cuales se presenta la tormenta de análisis. Estas variantes se podrán manejar con base a las condiciones de humedad antecedente en la unidad de escurrimiento.
- VI. Se evalúa el impacto hidrológico del cambio de uso del suelo con base a los dos indicadores siguientes:

- a) Incremento en el gasto pico del hidrograma de escurrimiento directo. Este incremento deberá valorarse en función de la capacidad hidráulica que se dispone aguas abajo para mitigar dichos impactos; los escenarios pueden variar en función de las obras hidráulicas existentes. Si a la salida de la cuenca existe un bordo de almacenamiento y/o control de avenidas, deberá determinarse su comportamiento con base al incremento en el gasto pico, así como en el incremento en el volumen del escurrimiento. Es obvio que en muchas ocasiones, el diseño de esta infraestructura no toma en cuenta el desarrollo futuro y los cambios en las condiciones de escurrimiento que se generan por las modificaciones en la cobertura vegetal del terreno. Esto puede acarrear riesgos mayores para la seguridad de las estructuras y más aún en riesgos de inundación para la población que habita aguas abajo de la cuenca. Si en la salida de la cuenca no existe estructuras de este tipo, el impacto deberá valorarse en función de la capacidad del sistema de drenaje (ubicado aguas abajo de la cuenca en estudio) para evacuar un mayor volumen de escurrimiento pluvial.
- b) Se evalúa el decremento en los niveles de infiltración como consecuencia de la urbanización de zonas rurales, lo cual resulta de capital importancia cuando dicho efecto se presenta en zonas forestales en excelente estado de conservación y cuando la cuenca se encuentra en regiones de baja precipitación y alta explotación de acuíferos.

La figura siguiente muestra esquemáticamente estos dos indicadores.

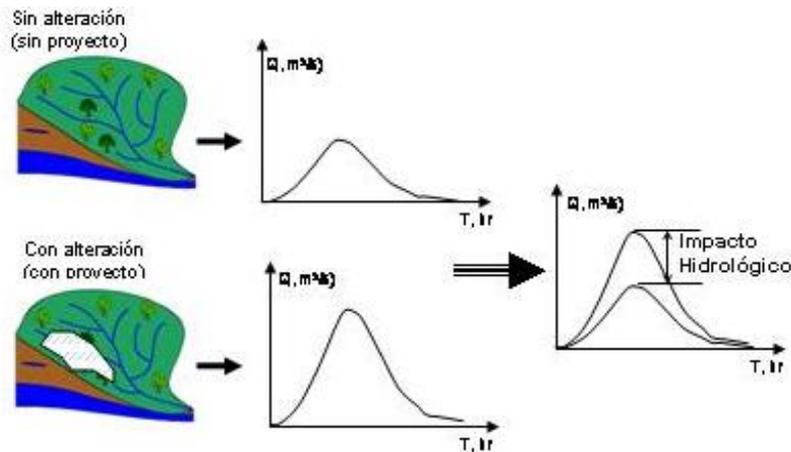


Figura 4.8 Esquematización del impacto hidrológico por incremento en el gasto pico del hidrograma

4.4 Metodología utilizada para la revisión y el análisis de las leyes, reglamentos y normas.

4.4.1 Análisis del marco legal que rige los cambios de uso de suelo, en los tres niveles de gobierno.

El análisis de las leyes, reglamentos y normas en los tres niveles de gobierno se desarrolla teniendo como base la identificación del impacto hidrológico, de que manera esta considerado en el marco legal que rige los cambios de uso del suelo y a que grado está se toma en cuenta para las autorizaciones de los cambios de uso de suelo. Por lo que se revisan las leyes, reglamentos y normas partiendo de las siguientes preguntas:

1.- ¿Se identifica el concepto de “Impacto Hidrológico” dentro de los tres niveles legales que involucran un cambio de uso de suelo, Federal, Estatal y Municipal?

2.- ¿Existe correspondencia “hidrológica” entre las leyes, normas y reglamentos que involucran los cambios de uso de suelo en los tres niveles, federal, estatal y municipal?

3.- ¿Existe interacción entre las instituciones involucradas en los cambios de uso de suelo a nivel leyes, reglamentos y normas?

4.- ¿Quiénes son los responsables de tomar en cuenta los impactos hidrológicos por los cambios de uso de suelo dentro del marco legal que lo sustenta y en qué etapa del proceso?

5.- ¿Los estudios de Impacto Hidrológico contemplan medidas de mitigación a desarrollarse por los mismos fraccionadores y en qué etapa son implementadas?

4.4.2. Análisis del Proceso Administrativo y Legal del Fraccionamiento Cumbres del Cimatario.

El análisis del proceso administrativo y legal del fraccionamiento Cumbres del Cimatario se desarrolla con la recopilación de información oficial referente al proceso administrativo que dio origen al cambio de uso de suelo, en cada una de las dependencias de gobierno federal, estatal y municipal, pertenecientes al sector ambiental y que tuvieron inferencia en el mismo.

4.4.3. Revisión del Estudio Justificativo y Manifestación del impacto Ambiental para el Fraccionamiento Cumbres del Cimatario, Municipio de Huimilpan.

Revisión del estudio justificativo y la manifestación del impacto ambiental realizados para el Fraccionamiento Cumbres del Cimatario del cual se desarrollan los aspectos más importantes relacionados con el cambio de uso de suelo y las características ambientales más relevantes.

Los materiales empleados para este proceso son las leyes y reglamentos y normas que rigen un cambio de uso de suelo o que mencionan el valor ambiental del mismo.

Leyes:

Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente

Ley Agraria

Ley General de Asentamientos Humanos

Ley Estatal del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente

Código Urbano del Estado de Querétaro

Ley Orgánica Municipal

Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable

Reglamentos:

Reglamento de la ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental

Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Áreas Naturales Protegidas

Reglamento de la Ley Forestal

Ley Orgánica Municipal

Código Urbano Municipal

Reglamento de Construcción para el Municipio de Querétaro

Reglamento de Policía y Gobierno Municipal de Huimilpan

Reglamento de la Ley Agraria en Materia de Certificación de Derechos Ejidales Y Titulación de Solares

Planes de Desarrollo Urbano:

Plan de desarrollo Urbano de la delegación Josefa Vergara y Hernández del Municipio de Querétaro 1997.

Plan Municipal de desarrollo Urbano cabecera Municipal Huimilpan 2004.

Decretos de Áreas Naturales Protegidas.

Área Natural Protegida. Zona sujeta a Conservación Ecológica "El Tángano", Ayuntamiento de Querétaro, Octubre de 1999.

Parque Nacional " El Cimatarío" Gobierno Federal. Julio de 1982.

V. RESULTADOS

Aplicando las metodologías anteriormente descritas para cada una de las vertientes que sustentan este trabajo, se obtienen los resultados que a continuación se presentan:

5.1. Estudio de caso: Valoración del Impacto Hidrológico en la unidad de escurrimiento “Tángano II”

5.1.1. Ubicación de la Zona de Estudio

El área de estudio es una unidad de escurrimiento que se localiza al sureste de la ciudad de Santiago de Querétaro, en los límites municipales de Querétaro y Huimilpan. En el municipio de Querétaro cubre terrenos de la Delegación Josefa Vergara y Hernández; del lado de Huimilpan, incluye los terrenos del fraccionamiento denominado “Cumbres del Cimatario”.

Este desarrollo habitacional se construye en terrenos de origen ejidal que pertenecieron al núcleo agrario de San Francisco, dotado según resolución presidencial en el Municipio de Corregidora, pero geográficamente en el Municipio de Huimilpan. Para el Plan Parcial de Desarrollo Urbano de la Delegación Josefa Vergara y Hernández del Municipio de Querétaro (1997) se trata de una zona de protección ecológica. Para este instrumento de Ordenamiento Ecológico Territorial, la zona es considerada como de alta fragilidad ecológica y para el INEGI, de acuerdo a las cartas de Uso Potencial del Suelo, esta clasificada como área de vida silvestre y/o forestal con factor limitante, el suelo. Sin embargo para el Municipio de Huimilpan, es una zona de desarrollo urbano donde se ubica el fraccionamiento en Cumbres del Cimatario, donde anteriormente de acuerdo al Inventario Nacional Forestal de la Secretaría de Recursos Naturales (SEMARNAT) eran terrenos forestales de competencia federal, actualmente el fraccionamiento se localiza en medio de dos reservas de protección ecológica, El Parque Nacional Cimatario (1982) y El Tangano (2005), área natural protegida sujeta a conservación ecológica.

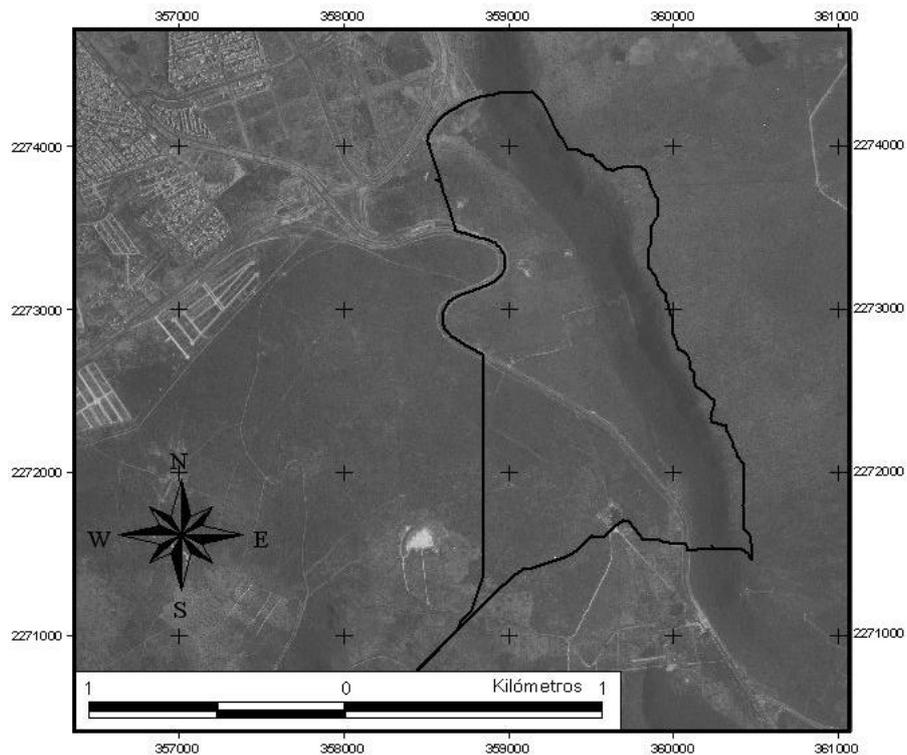


Figura 5.1. Ubicación de la zona de estudio (condición antes del proyecto)

(Fuente: Elaboración propia)

Conforme al INEGI se localiza en la carta topográfica F14C65 en el cuadrante F en escala 1:50,000, en las coordenadas UTM: extremo norte 359593.33 - 2273115.54 y en el extremo sur 360087.03 - 2271821.91. Los límites de la unidad de escurrimiento abarca desde la cima del cerro el Cimatario en el lado sur-oeste, del lado sureste con el cerro “El Tángano”, hasta su punto de cierre en el bordo de regulación Tangano II. La elección de esta unidad de escurrimiento como caso de estudio se debió a las siguientes razones:

1. Constituye una de las unidades de escurrimiento que rodean a la ciudad de Querétaro y que por sus características de relieve, variación altitudinal, geología, uso del suelo y desarrollo urbano, ofrece condiciones para valorar los impactos hidrológicos que motivan este trabajo.

2. La unidad de escurrimiento presenta condiciones de vegetación en excelente estado de conservación, mismas que ofrecen un servicio ambiental importante, sobre todo para la retención de escurrimientos.
3. Existe la idea, no demostrada aún, de que la unidad de escurrimiento ofrece excelentes condiciones para favorecer la infiltración y posiblemente la recarga del acuífero del Valle de Querétaro. Esta idea se sustenta en las características geológicas que presenta (una falla geológica corre en dirección sur a norte, siguiendo la trayectoria del cauce principal (arroyo Tángano), combinada con sustratos de roca volcánica de buena permeabilidad. A estas condiciones puede agregarse el hecho (no confirmado aún) de que en el bordo Tangano II, ubicado en la salida de la unidad de escurrimiento, existe una percolación del agua pluvial que podría estar alimentando el acuífero, ya que la permanencia temporal del agua almacenada en el mismo es muy reducida; esto es, que el bordo se vacía de manera natural, a través de la infiltración del agua captada. La figura siguiente muestra el perfil del terreno de la unidad de escurrimiento.

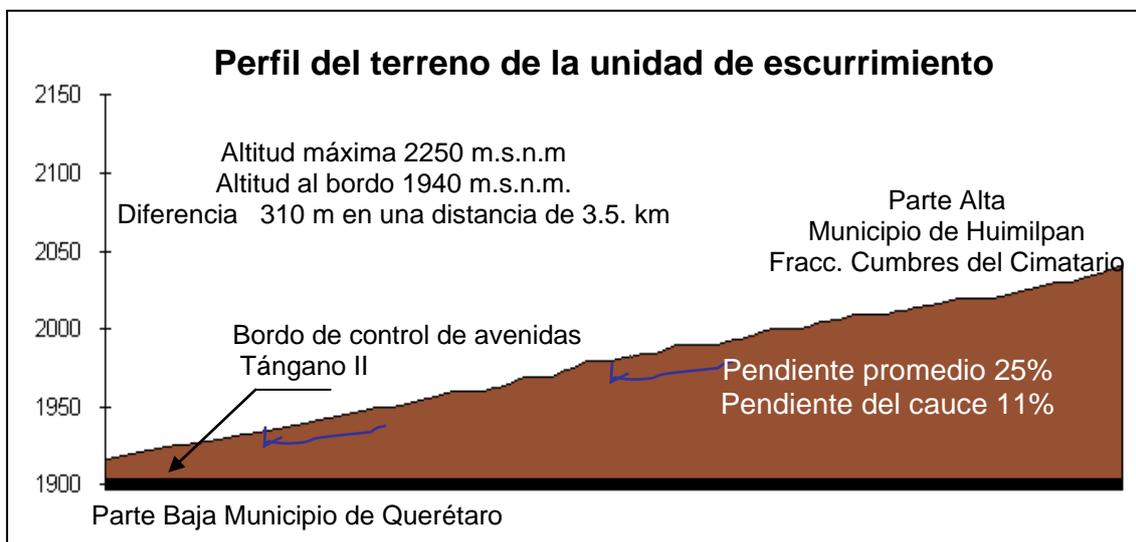


Figura 5.2. Perfil del terreno de la unidad de escurrimiento.

(Fuente: Elaboración propia).

5.1.2 Caracterización de la Unidad de Escurrimiento en estudio

Hidrografía y Geomorfología.

El área de estudio pertenece a la región hidrológica No. 12 Lerma-Santiago, subcuenca del río Apaseo que desemboca en el Océano Pacífico. Su corriente principal es un arroyo intermitente conocido como El Tángano que corre paralelamente al escarpe de la falla, sobre este arroyo se construyeron dos bordos reguladores de avenidas, El Tángano I (quedando este fuera de la unidad de escurrimiento) y Tángano II para controlar los escurrimientos que llegan a la zona urbana. La pendiente del cauce es de aproximadamente 11 %, inicia a la elevación 2250 msnm y después de un desarrollo de 3.5 Km, termina a la elevación 1940 msnm. La unidad de escurrimiento presenta una pendiente promedio del 25 % y de forma alargada.

La unidad de escurrimiento cruza la carretera Querétaro-Huimilpan, una parte de los escurrimientos que se generan en el cerro Cimatario no son desviados por el terraplén de esta vía de comunicación, sino que ingresan al sistema de drenaje de la unidad a través de alcantarillas. Por esta razón se llevó a cabo la delimitación precisa de los límites de la unidad, encontrándose cuatro regiones claramente identificadas. Como se ve en la figura siguiente, la zona 1 drena el extremo sur y queda limitada por el parteaguas de la unidad y por la carretera Querétaro-Huimilpan, las zonas 2 y 3 generan escurrimientos desde la parte más alta del cerro Cimatario y también quedan acotada por la carretera ya mencionada. La definición de estas tres regiones anteriores está basada en la ubicación de las alcantarillas correspondientes y que conducen los escurrimientos hacia la zona identificada como 4. Esta última zona se inicia en el borde de la carretera y termina en el punto de cierre de la unidad de escurrimiento, precisamente en el bordo Tángano II. En conjunto, las cuatro zonas cubren una extensión de 3.5 km², siendo la mayor de ellas la zona 4 con una extensión de 249.2 ha.

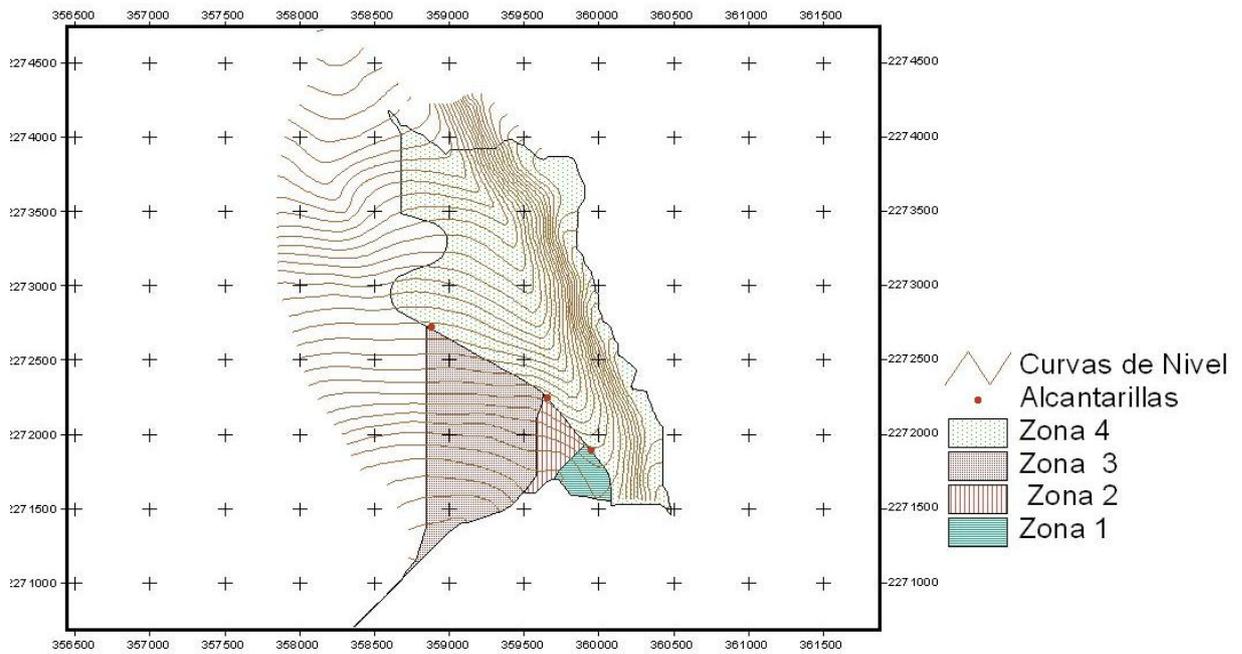


Figura 5.3 Mapa topográfico con los límites de las tres zonas de la unidad de escurrimiento, incluyendo las alcantarillas.

(Fuente: Elaboración propia)

Fisiografía.

Formando parte del Valle de Querétaro, la unidad de escurrimiento se aloja en una fosa de forma rectangular alineada NNW-SSE, está situada en el límite oriente de la subprovincia Fisiográfica de la depresión del Bajío y se relaciona al Fracturamiento San Miguel de Allende – Taxco, Ramal Querétaro, (IMT, 2002).

Geología y Edafología.

En esta área se presenta un relieve endógeno acumulativo caracterizado por un volcán de lava basáltico conocido como el Cerro del Tangano, de laderas volcánicas y un escarpe de falla natural, con dirección SE-NO. El material geológico está formado por basaltos, riolitas y tobas ácidas, con suelos de origen aluvial residual en las sierras y los coluvió-aluviales en las llanuras. Los suelos de la zona son vertisoles, de textura arcillosa o de migajón arcillo-arenosa, suelos de color negro o muy oscuros, con problemas de

drenaje y pH cercano a la neutralidad. Su contenido de materia orgánica es de moderado a pobre y son susceptibles a ser erosionados. (INEGI, 1986).

Clima.

El clima de la zona es de tipo bs1k, semiseco templado con lluvias en verano con una precipitación promedio anual 549.3 mm y una temperatura media anual 18-19 grados, con una máxima en mayo de 22 grados. La cantidad de días con heladas está alrededor de los 48 días por año, (INEGI, 1997).

Vegetación.

La cubierta vegetal de los terrenos de la unidad de escurrimientos es de un valor incalculable ya que presenta áreas de selva baja caducifolia en excelente estado de conservación, misma que ha favorecido la captación de agua de lluvia e infiltración para la recarga de acuíferos, así como la disminución de la escorrentía superficial y erosión de los suelos, estos últimos son muy susceptibles a ser erosionados por la pendiente que presentan y por su poca profundidad.

La selva baja caducifolia se localiza en la parte media de la cuenca, en algunas partes cubre ambos lados del arroyo, justo en lo más encañonado de la unidad de escurrimiento pegado a la falla natural; en algunas áreas se combina con matorral crasicaule, pareciendo que forman una sola unidad.

Originalmente se tenía una vegetación en sucesión; iniciando en las faldas del cerro Cimatario, que en secuencia oeste - este iba de un matorral espinoso, distinguiéndose por la presencia de *Acacia mimosa* (mezquites), *Opuntia leucotricha* (nopales) y *Acacia schaffneri* y *A. farnesiana* (huizaches) (mismos que se pueden observar todavía a los dos lados de la carretera estatal Querétaro – Huimilpan), a un matorral crasicaule (presencia de órganos y plantas suculentas), para seguir y dar prioridad a la selva baja caducifolia; ésta

que se distingue por la presencia de especies tropicales como el *Cedrela dugessi* (nogal cimarrón), *Senna polyantha* (Tepehuaje), *Ipomoea murucoides* (palo bobo) y *Eriquina coralloides* (colorín), (Baltazar, et al.,2004). La selva baja caducifolia se ubica al centro de la unidad salvaguardada por el matorral crasicaule de ambos lados de la misma, y el matorral crasicaule a su vez rodeado por ambos lados del matorral espinoso, en la parte norte hacia al bordo de regulación Tanganos II se localiza una pequeña área de matorral espinoso secundario, el cual se distingue por la presencia de pastizales, huizaches y alguno que otro órgano, esta área además es la más cercana a la ciudad de Querétaro y de fácil acceso.

La vegetación del área de estudio aporta servicios ambientales que se traducen en una disminución de escurrimientos; en efecto, la vegetación juega un papel de esponja que favorece la retención de lluvia en el dosel, ramas y troncos, lo que disminuye el impacto de las gotas de lluvias en el suelo y, consecuentemente, se disminuye el riesgo de erosión. La retención de agua por el follaje juega además un papel preponderante en los niveles de infiltración. Además, aporta una belleza escénica en los alrededores de la ciudad de Querétaro, situación que se vuelve más valiosa, ya que quedan muy pocos lugares con este valor ecológico. Finalmente, es bien conocida su capacidad de captura de carbono, lo que resulta invaluable para una ciudad en continuo crecimiento. A continuación se describen los diferentes tipos de vegetación encontrados:

Bosque Tropical Caducifolio

Se agrupan comunidades vegetales dominadas por árboles de baja estatura (4-12 m), con troncos que con frecuencia se ramifican desde niveles inferiores a la mitad del tamaño total de la planta y cuyas copas a menudo son tan anchas o más anchas que altas. Muestran un cambio estacional muy acentuado, pues durante 6 a 7 meses la totalidad o la gran mayoría de los árboles permanecen sin hojas y el bosque presenta un aspecto desolado de ramaje desnudo y carente de coloración atractiva. En la parte restante del año, en cambio, ofrece una intensa sensación de verdor. Los componentes arbóreos

del bosque tropical caducifolio son los siguientes: *Cedrela dugesii* (nogal cimarrón), *Bursera fagaroides* (xiote), *Eysenhardtia polystachya* (palo dulce) *Stenocereus dumortieri* (órgano), *Ceiba aesculifolia* (pochote), *Colubrina triflora*, *Fraxinus rufescens*. La presencia de algunas especies sirve como indicador de su existencia; entre éstas últimas destacan: *Albizia plurijuga* (palo blanco), *Bursera galeottiana* (xixote colorado), *B. palmeri* (copal), *Condalia velutina* (granjeno), *Ipomoea murucoides* (cazahuate, palo bobo), *Lysiloma microphylla* (palo de arco), *Senna polyantha*. Este bosque prospera sobre laderas con suelo somero, pedregoso y bien drenado, derivado tanto de rocas ígneas como sedimentarias, entre 300 y 2200 m de altitud (Zamudio *et al.*,1992).

Matorral Crasicaule

Se agrupan comunidades vegetales dominadas por plantas de porte arbustivo, que se desarrollan en las regiones áridas y semiáridas del estado, sus tallos se ramifican desde la base o muy cerca del suelo y pueden presentar varias adaptaciones que les permiten vivir con éxito en ambientes con muy poco suministro de agua. Las adaptaciones que con más frecuencia pueden observarse son: la presencia de espinas en los tallos o ramas, las hojas de tamaño pequeño, a menudo compuestas por varios a muchos folíolos o segmentadas, para exponer una menor superficie a la acción del sol y evitar la transpiración excesiva; en la época seca del año las hojas de muchas especies caen y las plantas permanecen sin follaje, se tornan grises y de aspecto triste en el periodo de secas, en la época de lluvias se observan verdes y frondosos. Se puede observar un matorral crasicaule en el que el estrato superior de 4 a 5 m de alto está formado por varias especies de nopales, principalmente *Opuntia streptacantha* (nopal cardón), *O. leucotricha* (duraznillo) y *O. hyptiacantha* (hartón), que forman poblaciones densas muy notorias. Frecuentemente están acompañadas por *Myrtillocactus geometrizans* (garambullo), *Prosopis laevigata* (mezquite), *Acacia farnesiana* y *A. schaffeneri* (huizache), especies que se encuentran en este matorral en densidades menores que los nopales, además de la presencia conspicua pero esporádica de *Yucca filifera* (palma), así como de *Ipomoea murucoides* (cazahuate, palo bobo), esta última

indicando afinidad con el bosque tropical caducifolio. Se establece preferentemente en laderas de cerros, lomeríos bajos y con frecuencia en terrenos planos, por lo general sobre suelos someros y pedregosos derivados de rocas ígneas, andesitas, riolitas y basaltos. Sus límites altitudinales se encuentran entre 1400 y 2500 m (Zamudio *et al.*,1992).

Matorral Espinoso

El mezquital es una comunidad de 6 a 12 m de alto, fisonómicamente algo similar al bosque tropical caducifolio, aunque sólo pierde el follaje durante unas cuantas semanas, (Zamudio *et al.*,1992). Los troncos se ramifican con frecuencia desde muy cerca de la base, pero no divergen mucho sino hasta alcanzar 2 m o más de altura y las copas suelen ser más o menos romboidales, elipsoidales o esféricas y relativamente pequeñas. Los mezquiales son comunidades más abiertas, las copas son amplias y extendidas y muchas veces tan anchas como la altura de un árbol o más. El estrato arbustivo está en general bien desarrollado y es comúnmente rico en especies espinosas (Rzedowski, 1981). El *Prosopis laevigata* (mezquite) es dominante único en esta comunidad, que califica como bosque espinoso, algunos de los probables acompañantes son *Celtis pallida* (granjeno), *Myrtillocactus geometrizans* (garambullo), *Opuntia spp.* (nopal), *Yucca filifera* (palma). Se asienta sobre terrenos de escaso relieve y suelo profundo. Los límites altitudinales de esta formación son de 0 y 2200 m (Zamudio *et al.*,1992).

Matorral Espinoso Secundario

El mezquital presenta con frecuencia una transición no siempre fácil de interpretar con el pastizal, observándose un bosque de *Prosopis* y gramíneas, formando comunidades abiertas con presencia de *Stenocereus dumortieri* (órgano), es característico de terrenos planos o poco inclinados, en algunos lugares se observa también sobre lomeríos y pequeñas elevaciones. Los suelos más frecuentemente encontrados son profundos, muchas veces oscuros, más o menos ricos en materia orgánica y de buenas características para la agricultura (Rzedowski, 1981).

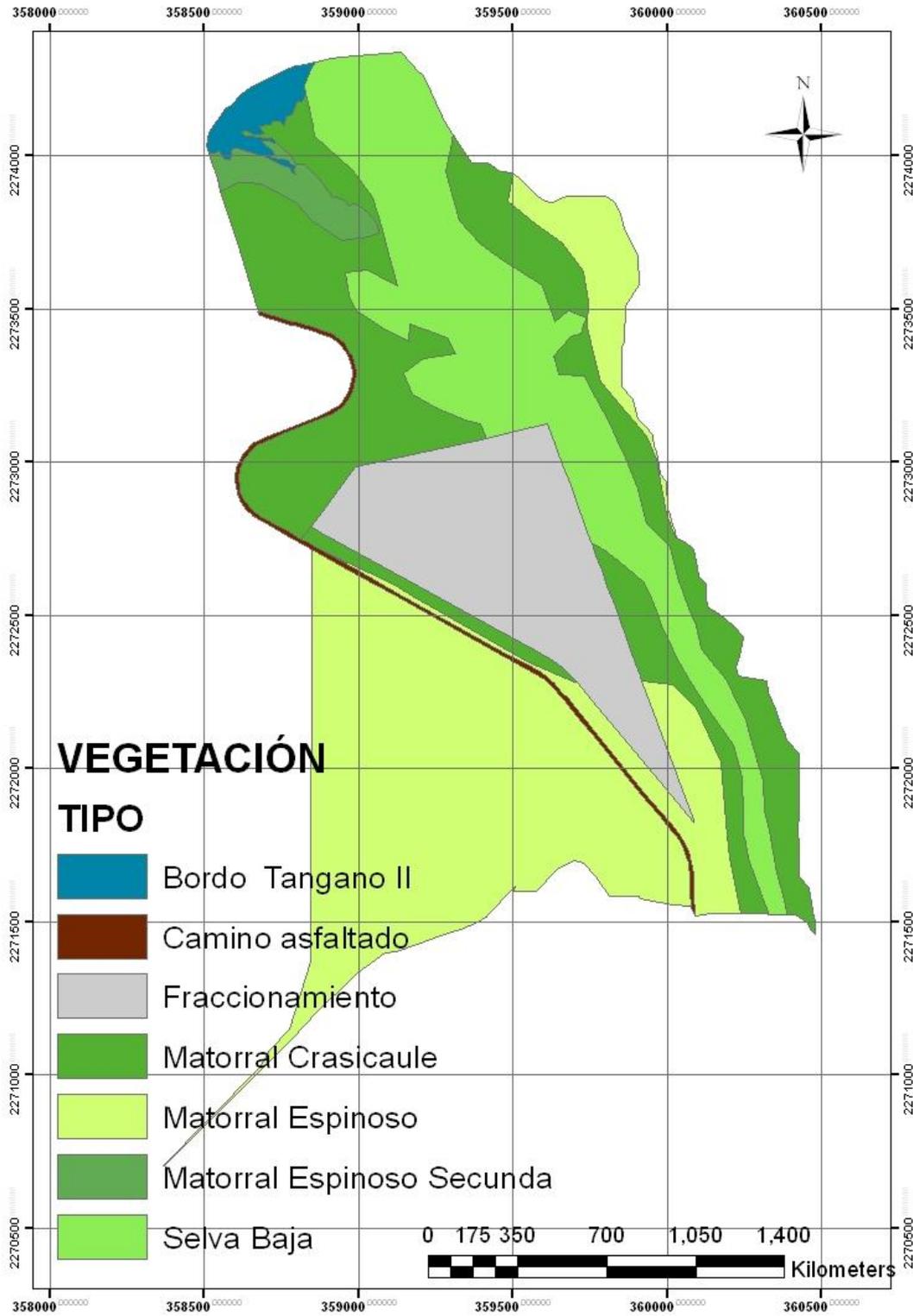


Figura 5.4 Mapa de Vegetación Unidad de Escurrimiento “El Tángano”.

(Fuente: Elaboración propia).

Con relación a la capacidad de intercepción de la lluvia, de estudios desarrollados en coberturas vegetales de tipo matorral submontano, con especies de *Acacia rigidula*, *A. berlanderi* y *D. texana* (Cantú y González, 2005), se sabe que el porcentaje de pérdida de intercepción de lluvia (%) son similares a los encontrados en el bosque de pino y encino en la Sierra Madre Oriental, lo cual desecha la suposición de un matorral, por ser una cobertura menos densa que el bosque de pino – encino debería de interceptar menos lluvia.

De especies como: *A. rigidula*, *A. berlanderi*, y *D. texana*, esta última especie es la que intercepta mayor cantidad de lluvia, lo que representa un 22% en los tres tipos de cobertura (Cantú y González, 2005). Estos resultados son un ejemplo de los servicios ambientales que ofrecen las diferentes vegetaciones que rodean la ciudad cabe mencionar que en cuanto a servicios ambientales que presta la vegetación, se ha estudiado poco, pero con este ejemplo podemos inferir que el matorral crasicaule que aún se encuentra en la unidad es parte importante del ecosistema y más aún del ciclo hidrológico. Al ser alterada estas coberturas vegetales, se modifican las condiciones de intercepción de lluvia, y en consecuencia el escurrimiento y la infiltración en toda el área afectada.

Estas cualidades de la vegetación de la zona de estudio han sido, en teoría, contempladas en el Plan Parcial de Desarrollo Urbano de la Delegación Josefa Vergara y Hernández del Municipio de Querétaro (1997), el área de estudio está clasificada como zona de Protección Ecológica/ Protección Especial (PEPE) y zona de Protección Ecológica/Usos Múltiples (PEUM). Pero del lado del municipio de Huimilpan, originalmente eran tierras ejidales de uso común.

5.1.3. Escenarios del Cambio de Uso del Suelo

La unidad de escurrimiento está siendo sometida a un proceso de cambio de uso de suelo de forestal a urbano, con la construcción del Fraccionamiento Cumbres del Cimatarío, aunque estos cambios están

ocurriendo en la llamada zona 3, para los fines de evaluación de los impactos, se ha considerado conveniente manejar como unidad de análisis la totalidad de la unidad. Así, se ha planteado el estudio considerando dos escenarios: el de antes del fraccionamiento, mismo que incluye las condiciones naturales de la unidad de escurrimiento, cuando se encontraba sin ninguna alteración., el segundo escenario contempla la remoción de la cubierta vegetal y su reemplazo por el fraccionamiento, teniendo como objetivo valorar los incrementos en el proceso de escorrentía y la disminución de la infiltración, producto de la remoción de la cubierta vegetal en excelente estado de conservación y su consecuente pavimentación. La figura siguiente muestra estos dos escenarios.

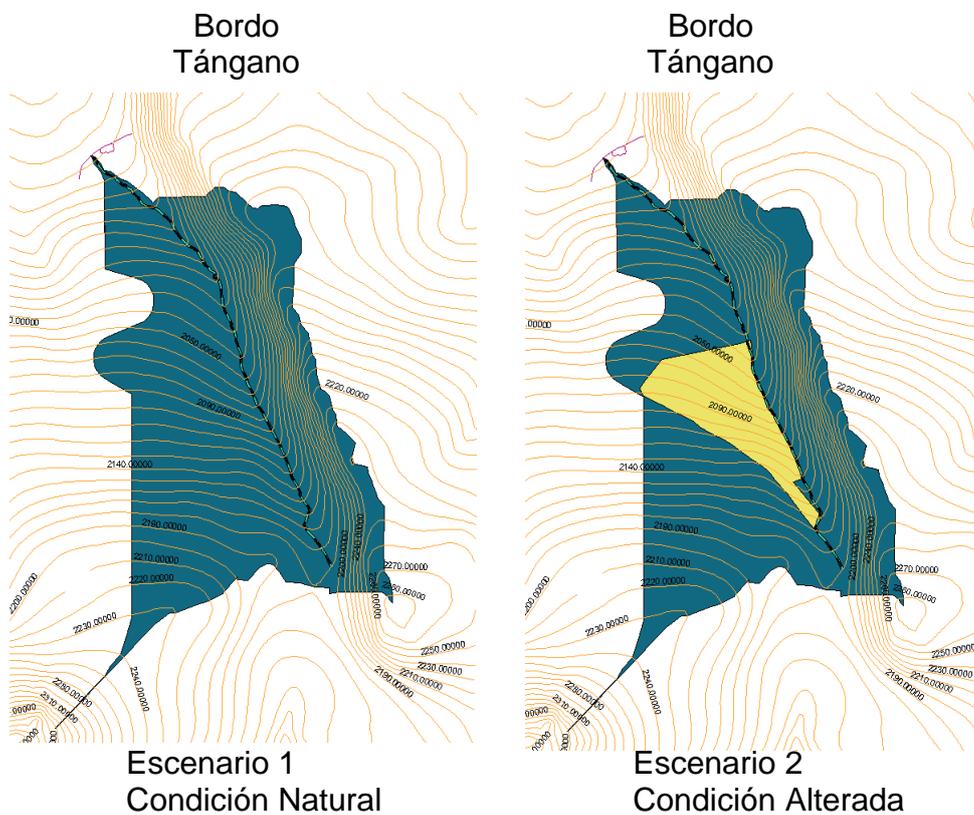


Figura 5.5 Mapa con los dos escenarios del estudio.

(Fuente: Elaboración propia)

De acuerdo con la expresión (20) de la metodología propuesta, el porcentaje de cambio, tanto global como particular de cada tipo de vegetación afectada es:

Cuadro 5.1 Porcentaje de cambio global y por tipo de vegetación

Vegetación	Superficie antes del proyecto (ha)	Superficie después del proyecto (ha)	Porcentaje de Cambio, PP (%)
Matorral Espinoso	132.8	128.0	3.61
Matorral Crasicaule	123.2	83.7	32.06
Selva Baja	78.84	71.7	9.05
Promedio Global	334.84	283.4	15.4

(Fuente: Elaboración propia)

Como se observa, el desarrollo inmobiliario está afectando en un 32% el matorral crasicaule de la microcuenca, casi un 10 % de selva baja (el tipo de vegetación considerada como de mayor calidad biótica) y en una mínima parte al matorral espinoso.

5.1.4 Análisis de los datos de precipitación

El análisis de los datos de lluvia está basado en los registros de la estación climatológica Observatorio de la Comisión Nacional del Agua, la cual se ubica a una distancia inferior de 2 Km. en línea recta. En esta estación no se cuenta con registros pluviográficos (algo que sería muy útil en el cálculo de las curvas i-d-Tr), por lo que se analizaron registros de lluvia máxima en 24 horas.

A los datos que se obtuvieron se les realizó una depuración, ya que se detectaron inconsistencias y falta de información de algunos meses importantes. Por lo anterior, de un total de 84 años de registros, solamente se utilizaron 55 con información completa y consistente. El cuadro siguiente muestra los registros utilizados en el análisis hidrológico.

Cuadro 5.2 Registros Históricos de Lluvias Máximas en 24 Horas (Estación Climatológica Observatorio)

Año	Lluvia máxima en 24 h., (en mm)	Año	Lluvia máxima en 24 h., (en mm)	Año	Lluvia máxima en 24 h., (en mm)
1950	75.7	1969	42.6	1988	38.2
1951	48	1970	48.5	1989	28
1952	37.4	1971	43	1990	27.2
1953	55.5	1972	42.7	1991	24
1954	86	1973	37.5	1992	47.5
1955	45	1974	53.3	1993	27
1956	38.8	1975	36.6	1994	18
1957	43	1976	46.8	1995	30
1958	36.6	1977	39.4	1996	48.8
1959	31	1978	49.8	1997	31.4
1960	30.3	1979	24.2	1998	28.2
1961	51	1980	44.8	1999	25.2
1962	74	1981	49.4	2000	15.2
1963	49	1982	40.5	2001	24
1964	38.3	1983	28.9	2002	29.4
1965	60	1984	45	2003	42
1966	65	1985	39	2004	39
1967	55	1986	131		
1968	55	1987	24.3		

(Fuente: Elaboración propia)

5.1.5 Determinación de las curvas intensidad-duración-período de retorno

Serie anual de máximos.

La serie anual de máximos de lluvia en 24 horas presenta una base teórica sólida para la extrapolación de los eventos, más allá del intervalo de observación a través del concepto de Período de Retorno. Primeramente se ordenan los valores registrados siguiendo el orden de mayor a menor y posteriormente se obtiene, para cada evento, su período de retorno. En la serie anual de máximos, el período de retorno T_r se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación (Campos, 1998):

$$T_r = \frac{n+1}{m} \quad (22)$$

donde n , es el número total de eventos en la serie anual, igual al número de años de registro y m , el orden descendente según el valor de la precipitación.

Interpolación para el procesamiento estadístico

Para caracterizar la lluvia en función de su probabilidad de ocurrencia, se deduce una ecuación de regresión lineal entre las magnitudes de los eventos registrados y los logaritmos decimales de sus correspondientes períodos de retorno, esto es (Campos, 1998):

$$P_{Tr} = A + B \text{Log}(T_r) \tag{23}$$

donde,

P_{Tr} , es la lluvia máxima diaria asociada a un período de retorno T_r

A y B , son dos parámetros de ajuste en el análisis de regresión

La ecuación anterior se utiliza cuando el número de años de la proyección de los eventos es menor al número de años del registro. En este caso, se dispone de 55 años de registro y, de acuerdo con el cuadro 5.2, por lo que se cumple la validez de la expresión.

Para llevar a cabo el análisis de regresión anterior, se preparan los cálculos mostrados en la tabla siguiente con los datos registrados en la estación Observatorio (ya ordenados de mayor a menor).

Cuadro 5.3 Análisis de regresión para los registros de lluvias máximas diarias de la Estación Observatorio, Querétaro

AÑO	P	ORDEN	Tr	log Tr	P (log Tr)	(log Tr) ²	P ²
1986	131	1	56	1.748188	229.0126	3.056161	17161
1954	86	2	28	1.447158	124.4556	2.094266	7396
1950	75.5	3	18.6667	1.271067	95.96554	1.615611	5700.25
1962	74	4	14	1.146128	84.81347	1.313609	5476
1966	65	5	11.2	1.049218	68.19917	1.100858	4225
1965	60	6	9.33333	0.970037	58.20221	0.940971	3600
1953	55.5	7	8	0.90309	50.12149	0.815572	3080.25
1967	55	8	7	0.845098	46.48039	0.714191	3025
1968	55	9	6.22222	0.793946	43.667	0.630349	3025

1974	53.3	10	5.6	0.748188	39.87842	0.559785	2840.89
1961	51	11	5.09091	0.706795	36.04656	0.49956	2601
1978	49.8	12	4.66667	0.669007	33.31654	0.44757	2480.04
1981	49.4	13	4.30769	0.634245	31.33169	0.402266	2440.36
1963	49	14	4	0.60206	29.50094	0.362476	2401
1996	48.8	15	3.73333	0.572097	27.91832	0.327295	2381.44
1970	48.5	16	3.5	0.544068	26.3873	0.29601	2352.25
1951	48	17	3.29412	0.517739	24.85148	0.268054	2304
1992	47.5	18	3.11111	0.492916	23.41349	0.242966	2256.25
1976	46.8	19	2.94737	0.469434	21.96953	0.220369	2190.24
1955	45	20	2.8	0.447158	20.12211	0.19995	2025
1984	45	21	2.66667	0.425969	19.16859	0.181449	2025
1980	44.8	22	2.54545	0.405765	18.17829	0.164646	2007.04
1957	43	23	2.43478	0.38646	16.61779	0.149351	1849
1971	43	24	2.33333	0.367977	15.823	0.135407	1849
1972	42.7	25	2.24	0.350248	14.95559	0.122674	1823.29
1969	42.6	26	2.15385	0.333215	14.19495	0.111032	1814.76
2003	42	27	2.07407	0.316824	13.30662	0.100378	1764
1982	40.5	28	2	0.30103	12.19171	0.090619	1640.25
1977	39.4	29	1.93103	0.28579	11.26013	0.081676	1552.36
1985	39	30	1.86667	0.271067	10.5716	0.073477	1521
2004	39	31	1.80645	0.256826	10.01623	0.06596	1521
1956	38.8	32	1.75	0.243038	9.429876	0.059067	1505.44
1964	38.3	33	1.69697	0.229674	8.796518	0.05275	1466.89
1988	38.2	34	1.64706	0.216709	8.278288	0.046963	1459.24
1973	37.5	35	1.6	0.20412	7.654499	0.041665	1406.25
1952	37.4	36	1.55556	0.191886	7.176519	0.03682	1398.76
1958	36.6	37	1.51351	0.179986	6.587499	0.032395	1339.56
1975	36.6	38	1.47368	0.168404	6.163602	0.02836	1339.56
1997	31.4	39	1.4359	0.157123	4.933675	0.024688	985.96
1959	31	40	1.4	0.146128	4.529969	0.021353	961
1960	30.3	41	1.36585	0.135404	4.102746	0.018334	918.09
1995	30	42	1.33333	0.124939	3.748162	0.01561	900
2002	29.4	43	1.30233	0.11472	3.372755	0.013161	864.36
1983	28.9	44	1.27273	0.104735	3.026852	0.010969	835.21
1998	28.2	45	1.24444	0.094976	2.678309	0.00902	795.24
1989	28	46	1.21739	0.08543	2.392045	0.007298	784
1990	27.2	47	1.19149	0.07609	2.069653	0.00579	739.84
1993	27	48	1.16667	0.066947	1.807563	0.004482	729
1999	25.2	49	1.14286	0.057992	1.461397	0.003363	635.04
1987	24.3	50	1.12	0.049218	1.195998	0.002422	590.49
1979	24.2	51	1.09804	0.040618	0.982952	0.00165	585.64
2001	24	52	1.07692	0.032185	0.772432	0.001036	576
1991	24	53	1.0566	0.023912	0.573892	0.000572	576
1994	18	54	1.03704	0.015794	0.284297	0.000249	324
2000	15.2	55	1.01818	0.007825	0.118945	6.12E-05	231.04
Totales	2364.8		257.242	23.04666	1364.077	17.82264	120274

(Fuente: Elaboración propia)

Ahora bien, dadas dos variables X , Y , la ecuación general de la recta de regresión que las relaciona será:

$$Y = mX + b \quad (24)$$

Lo que en términos de la precipitación y el período de retorno se escribe:

$$P_{Tr} = m(\log T_r) + b \quad (25)$$

Los valores de m y la constante b se obtienen de un análisis estadístico cuyas ecuaciones involucradas se han tomado de Campos, (1998).

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{S_{xy}}{S_x^2} \\
 b &= \bar{Y} - m\bar{X} \\
 S_{xy} &= (1/n) \sum (X_i Y_i) - (\bar{X})(\bar{Y}) \\
 S_x^2 &= \frac{\sum X_i^2}{n} - (\bar{X})^2 \\
 S_y^2 &= \frac{\sum Y_i^2}{n} - (\bar{Y})^2 \\
 \bar{X} &= (1/n) \sum X_i \\
 \bar{Y} &= (1/n) \sum Y_i \\
 r_{xy} &= \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_x^2 \cdot S_y^2}}
 \end{aligned} \quad (26)$$

La aplicación de las ecuaciones anteriores se lleva a cabo con los valores de la tabla anterior, si consideramos que:

Y_i , son los registros de lluvia máxima diaria, es decir igual a P de la tabla anterior.

X_i , son los valores del logaritmo del período de retorno asociados a Y_i .

Aplicando entonces los totales de la tabla anterior resulta que:

$$\bar{X} = 0.4190$$

$$\bar{Y} = 42.996$$

$$S_y^2 = 338.144$$

$$S_x^2 = 0.148487$$

$$S_{xy} = 6.7860$$

$$m = 45.7009$$

$$b = 23.847$$

Por lo que la ecuación (25) resulta finalmente:

$$P_{Tr} = 23.84 + 45.71794(\log T_r) \quad (27)$$

Siendo el coeficiente de correlación igual a:

$$r_{xy} = 0.96$$

La figura siguiente muestra los valores registrados y la curva de regresión que resulta del análisis anterior.

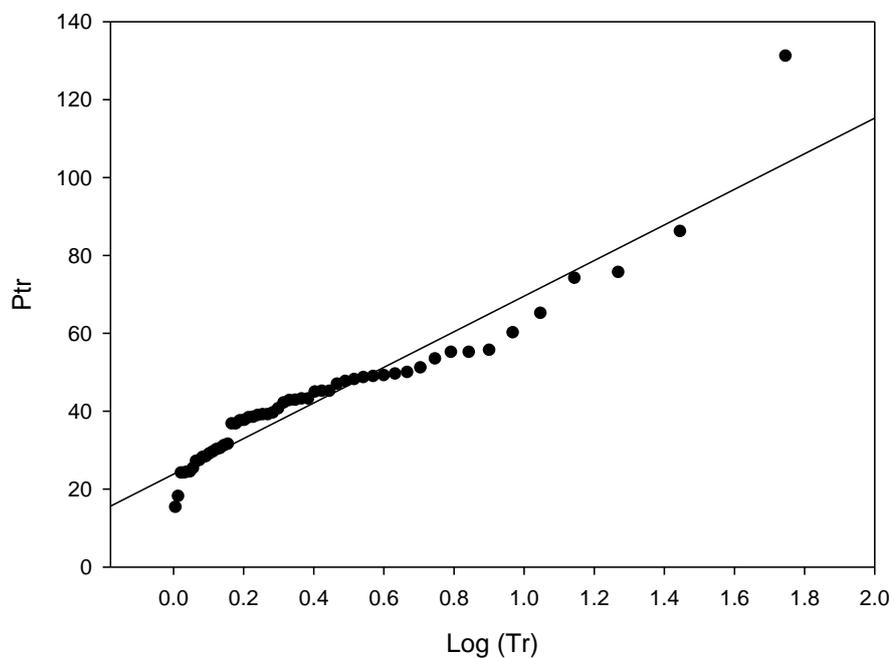


Figura 5.6 Análisis de regresión de datos de precipitación máxima en 24 h de la estación Observatorio.

(Fuente: Elaboración propia)

La ecuación de regresión (27) sirve ahora para obtener las precipitaciones asociadas a distintos períodos de retorno. Las magnitudes de estos últimos se definen en función de las recomendaciones ya expresadas en el cuadro 5.3, los resultados se presentan en el cuadro siguiente.

Cuadro 5.4 Magnitudes de precipitación máxima en 24 hrs. para distintos períodos de retorno.

Valores de T_r (años)	Valores de P_{Tr} (mm)
2	37.6
5	55.794
10	69.55794
25	87.7509
50	101.513

(Fuente: Elaboración propia)

Correlación entre la lluvia de una hora y la de 24 h.

Ante la escasez de datos de lluvia registrados con pluviógrafos; es decir, datos con dependencia del tiempo de ocurrencia, diversos autores han intentado correlacionar los registros de lluvia de 1 hora con las precipitaciones máximas registradas en 24 h. (Bell, citado por Campos, 1998) ha propuesto la relación siguiente para obtener la magnitud de de la precipitación con diferentes períodos de retorno y con duración de 1 hora, pero como una función de la lluvia de una hora de duración y período de retorno de 2 años..

$$P_{Tr}^t = [0.35 \cdot \ln(T_r) + 0.76] [0.54 \cdot t^{0.25} - 0.50] P_2^{60} \quad (28)$$

donde,

P_{Tr}^t , es la precipitación de duración t minutos y período de retorno T_r , en mm.

P_2^{60} , es la precipitación de duración 60 minutos (1 hora) y período de retorno de 2 años, en mm.

En general, los registros de lluvia de corta duración son más bien escasos en nuestro país, contrariamente a lo que sucede con los registros de lluvias máximas en 24 horas. Por tanto, la precipitación con duración de 1 hora

y período de retorno de 2 años (o de cualquiera) puede ser evaluada a partir de su relación con respecto a la de 24 horas y de igual período de retorno. Los coeficientes que establecen esta relación han sido propuestos por distintos autores (Campos, 1998). En el caso del presente estudio, pueden usarse los siguientes:

$$\begin{aligned}
 \text{a)} \quad & \frac{P_2^{60}}{P_2^{1440}} = 0.40 \\
 \text{b)} \quad & \frac{P_2^{60}}{P_2^{1440}} = f(\text{número de días con lluvia por año}) \\
 \text{c)} \quad & \frac{P_2^{60}}{P_2^{1440}} = f(ntc, pm24)
 \end{aligned} \tag{29}$$

En las expresiones anteriores P_2^{60} es la precipitación con duración de 1 hora (60 minutos) y período de retorno de 2 años P_2^{1440} , la precipitación de 24 horas (1440 minutos) y período de retorno de 2 años, con los criterios b y c, esta relación se define como una función de: *ntc*, el número de tormentas convectivas por año, y *pm24*, la precipitación media anual de las máximas registradas en 24 hr.

En el caso de los datos registrados en la estación Observatorio, el número de días promedio en el año con lluvia es superior de 30, en tanto que el promedio de las máximas en 24 hr es 43 mm. Con estos datos y las tablas y gráficas asociadas a las expresiones (29) (véase Campos, 1998), resultan los siguientes valores para la lluvia de una hora; en estos valores se han aplicado coeficientes con tres criterios distintos (tomados de Campos, 1998) y considerando que la lluvia de 24 hr y período de retorno de 2 años es de 37.6 mm (véase el cuadro 5.4):

- criterio (a) $P_2^{60} = 0.60P_2^{1440} = 0.60(37.6) = 22.6 \text{ mm}$; para regiones de baja precipitación y donde las máximas en 24 hr provengan de tormentas convectivas.

- Criterio (b) $P_2^{60} = 0.75P_2^{1440} = 0.75(37.6) = 28.2 \text{ mm}$; para un número de días con lluvia por año mayor de 24.
- Criterio (c) $P_2^{60} = 25 \text{ mm}$; leído directamente de las gráficas de Reich (citado por Campos, 1998).

De los tres criterios anteriores, se adopta el valor intermedio de $P_2^{60} = 25 \text{ mm}$ como precipitación representativa de 1 hora y período de retorno de 2 años. Este valor fue incrementado en 13% para tomar en cuenta el hecho de que el análisis estadístico de las lluvias es elaborado con registros de lluvias con intervalo de observación de 24 horas y no representan verdaderamente al valor máximo registrado en ese mismo período de tiempo (Campos, 1998). Así, la magnitud final de esta lluvia de referencia es: $P_2^{60} = 28 \text{ mm}$. Este valor se utiliza ahora en la ecuación (27) para extrapolar los resultados a otras duraciones y períodos de retorno. Los valores calculados se dividen seguidamente por las duraciones elegidas para transformarlos en intensidades de lluvia y son presentados en el cuadro siguiente. En estos cálculos se eligen duraciones típicas de 5, 10, 20, 40, 60, 100, 120, y 1440 minutos, así como períodos de retorno de hasta 500 años (los valores de 100 y 500 años son utilizados solamente como un referente de comparación). Como ya se dijo anteriormente, el procedimiento empleado se justifica cuando no se dispone de registros pluviográficos, situación muy común en las estaciones climatológicas de nuestro país.

Cuadro 5.5 Valores resultantes de las relaciones entre la intensidad, duración y período de retorno.

Periodos de Retorno Tr(años)	Duraciones, en minutos							
	5	10	20	40	60	100	120	1440
2	104	77.838	54.119	36.1309	28.154	20.346	18.068	3.306
5	137.267	102.736	71.43	47.735	37.161	26.858	23.848	4.363
10	162.432	121.57	84.525	56.487	43.972	31.782	28.22	5.163
25	195.699	146.468	101.836	68.056	52.973	38.291	33.999	6.221
50	220.864	165.303	114.931	76.807	59.791	43.215	38.371	7.021
100	246.03	184.137	128.027	85.558	66.603	48.138	42.744	7.82
500	304.462	227.87	158.433	105.879	82.421	59.571	52.895	9.678

(Fuente: Elaboración propia)

Estos valores fueron graficados y son mostrados en la figura siguiente como curvas de intensidad-duración-período de retorno, las cuales tienen una utilidad extrema en este tipo de análisis, tal y como se verá a continuación.

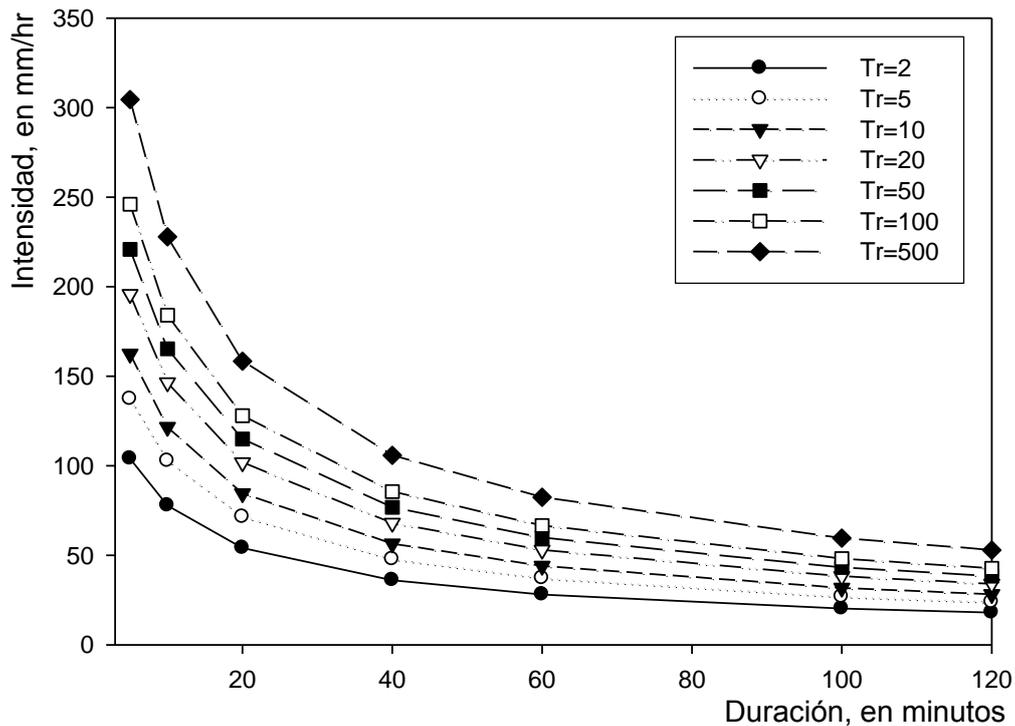


Figura 5.7 Curvas intensidad-duración-período de retorno para la estación Observatorio

(Fuente: Elaboración propia)

5.1.6 Aplicación de Métodos Convencionales para el cálculo de escurrimiento en cuencas urbanas.

En este apartado se presentan los resultados que se obtienen en la aplicación de los conceptos hidrológicos anteriores, considerando dos escenarios de uso del suelo; en el primero, se considera a la unidad de escurrimiento sin alteración, manejando sus condiciones naturales, tal y como estaba en el pasado reciente. En el segundo escenario, se considera la construcción del fraccionamiento “Cumbres del Cimatario” bajo la hipótesis de una urbanización de baja densidad poblacional, con lotes de menos de 500 m²

y un coeficiente de utilización del suelo (COS) del 65%, de acuerdo al código urbano. Para obtener el Gasto Máximo e Hidrograma de Escurrimiento como base para la valoración del impacto hidrológico.

Método Racional

La aplicación de este método está basada en la ecuación (1), la cual requiere definir el valor del coeficiente de escurrimiento *C* y la intensidad de la lluvia representativa. Para el caso de *C*, el cuadro siguiente muestra los valores adoptados para cada tipo de uso del suelo y vegetación de la unidad de escurrimiento (se utilizaron los datos del cuadro 4.2 como valores de referencia para este coeficiente).

Los valores de esta tabla fueron ponderados con base a la superficie de cada uso del suelo y/o vegetación para obtener un valor representativo de toda la unidad de escurrimiento.

Cuadro 5.6 Valores adoptados para el coeficiente de escurrimiento.

Uso del suelo o Vegetación	Superficie antes del proyecto (ha)	Superficie después del proyecto (ha)	C antes del proyecto	C después del Proyecto
Matorral crasicaule	123.23	83.68	0.42	0.42
Mat. Espinoso	132.82	127.88	0.44	0.44
Mat. esp. Secund.	6.90	6.90	0.43	0.43
Selva baja	78.84	71.70	0.36	0.36
Camino	3.71	3.71	0.92	0.92
Fraccionamiento	-----	51.64	-----	0.92

(Fuente: Elaboración propia)

Con los datos de la tabla anterior, los valores del coeficiente de escurrimiento ponderado para cada escenario son:

$$C_{\text{antes de proyecto}} = 0.419$$

$$C_{\text{después de proyecto}} = 0.495$$

De acuerdo con la ecuación (1), el método racional establece la hipótesis de que el máximo escurrimiento se presenta en el tiempo de concentración t_c ; es decir, cuando toda la unidad de escurrimiento está contribuyendo con el flujo. Para determinar este parámetro se aplicaron las ecuaciones (13), (14) y (15), dando como resultado los valores mostrados en el cuadro siguiente (donde se incluyen también los componentes utilizados en cada fórmula). Estos valores se obtuvieron para cada una de las cuatro zonas en que se dividió la unidad de escurrimiento, tal y como se apuntó más arriba.

Cuadro 5.7 Valores del tiempo de concentración para cada zona de la unidad de escurrimiento.

Zonas de la microcuenca	Valores de T_c , en horas			Parámetros de los métodos empleados			
	Kirpich	Rowe	SCS	Área m ²	L (m)	D(m)	S (%)
Zona 1	0.10	0.1060	0.098	805437.564	328	12	0.036
Zona 2	0.132	0.13	0.13	116831.482	565	30	0.053
Zona 3	0.204	0.216	0.202	105651.027	1369	137	0.10
Zona 4	0.398	0.399	0.393	2492458.894	2910	232.7	0.08
Global	0.83	0.85	0.82				

(Fuente: Elaboración propia)

Como se observa, los tres métodos arrojan resultados muy similares, por lo que para la unidad de escurrimiento se adopta un tiempo total de concentración igual a $t_c = 0.83 \text{ hr} = 50 \text{ min}$.

Como lo establece el método racional, en el cálculo de la intensidad de lluvia representativa se debe utilizar una duración equivalente al tiempo de concentración. Para ello, se utilizó entonces las curvas intensidad-duración-período de retorno con una duración de 53 minutos para obtener los valores de las intensidades y, a partir de ellas, los valores del gasto máximo de escurrimiento. Los resultados para los dos escenarios de uso del suelo, se presentan en el cuadro siguiente:

Cuadro 5.8 Gasto Máximo con el método racional para diferentes períodos de retorno.

Períodos de Retorno (años)	Intensidades con $d=53$ minutos (mm/hr)	Gasto máximo antes del proyecto (m^3/s)	Gasto máximo después del proyecto (m^3/s)	Impacto hidrológico por Incremento del gasto pico	
				(m^3/s)	(%)
2	30.34	12.37	14.62	2.25	18.12
5	40.07	16.34	19.30	2.96	18.12
10	47.43	19.34	22.84	3.50	18.10
25	57.17	25.64	30.29	4.65	18.14
50	64.53	31.57	37.30	5.73	18.15
100	71.89	36.64	43.28	6.64	18.12
500	88.98	47.16	55.71	8.55	18.13

(Fuente: Elaboración propia)

Método del Hidrograma Unitario Adimensional del Servicio de Conservación de Suelos (HUA)

En este caso se requiere la aplicación de las ecuaciones (3) y (4), así como la determinación de la lluvia efectiva a través del método del SCS-USA. Para el cálculo de esta última, se deben conocer los valores de CN (números de escurrimientos), los cuales toman en cuenta el tipo de suelo, área y tipo de vegetación en cada zona de la unidad de escurrimiento y que se obtienen de las tablas ya presentadas con anterioridad. Los valores de CN se muestran en el cuadro siguiente para los dos escenarios de uso del suelo.

Cuadro 5.9 Determinación de los Números de Escurrimiento CN.

Vegetación	Grupo de Suelo	Área, en km^2		CN antes del proyecto	CN después del proyecto
		Antes del proyecto	Después del proyecto		
Mat. Espinoso	D	1.328	1.278	76	76
Espinoso Sec.	D	0.062	0.062	91	91
Crasicaule	D	1.232	0.837	69	69
Selva Baja	D	0.788	0.717	61	61
Camino	D	0.037	0.037	92	92
Fraccionamiento		-----	0.516	-----	95

(Fuente: Elaboración propia)

Al igual que con los coeficientes de escurrimiento, los valores de CN también fueron ponderados en función de las superficies y vegetación cubierta en la unidad de escurrimiento, los resultados son:

$$CN_{\text{antes de proyecto}} = 70.5$$

$$CN_{\text{después de proyecto}} = 74.5$$

Para tomar en cuenta las condiciones de humedad antecedente, los valores anteriores se corrigieron con ayuda de la cuadro 4.7 y suponiendo la condición más desfavorable desde el punto de vista de los escurrimientos; esto es la condición de lluvia precedente mayor de 53 mm en los cinco días previos al del análisis. Esto conduce a los dos nuevos valores para CN:

$$CN_{\text{antes de proyecto}} \Big|_{\text{corregido}} = 87$$

$$CN_{\text{después de proyecto}} \Big|_{\text{corregido}} = 91$$

Se selecciona ahora la intensidad y la duración de la lluvia más representativa para la región de la unidad de escurrimiento. Como ya se ha indicado con anterioridad, la estación Observatorio, usada como de referencia para este trabajo, no dispone de registros pluviográficos con los cuales pudiera obtenerse una duración típica de las tormentas de la región. Sin embargo, de algunos estudios llevados a cabo en la Universidad Autónoma de Querétaro, donde se ha registrado la duración e intensidad de las tormentas ocurridas en el Campus Universitario, se ha encontrado que la mayor parte de las tormentas presentan una duración inferior a los 45 minutos (comunicación personal), por lo que se adopta este último valor para los análisis que siguen. Considerando entonces una duración típica $D=45$ minutos, se obtiene las intensidades y precipitaciones asociadas, a cada período de retorno, y para cada escenario analizado, lo que se muestra en el cuadro siguiente.

Cuadro 5.10 Cálculo de la precipitación total y efectiva con el método del USC.

Período de Retorno (años)	Precipitación total (mm) con D= 45 min. (de ec. 13)	Precipitación efectiva (mm) (de ec. 10) Antes de Proyecto	Precipitación efectiva (mm) (de ec. 10) Después de Proyecto
2	25.23	5.6	9.0
5	33.3	10.4	15.0
10	39.40	14.5	19.9
25	47.47	20.4	26.7
50	53.57	25.2	32.0
100	59.68	30.1	37.4
500	73.85	42.1	50.4

(Fuente: Elaboración propia)

La aplicación del método requiere además del cálculo del tiempo pico y el tiempo base del hidrograma, lo que puede hacerse con la ec. (4) y considerando un valor para el tiempo de concentración igual a 53 minutos, en tanto que para D se toma 45 minutos. Los resultados son:

$$t_p = 0.5 \cdot D + 0.6 \cdot t_c = 0.5 \cdot (45) + 0.6 \cdot (53) = 54.3 \text{ min}$$

$$t_b = 2.67 \cdot t_p = 2.67 \cdot 54.3 = 144.98 \text{ min}$$

Una vez que se conoce el tiempo de pico y la lámina de precipitación efectiva para cada período de retorno, se obtienen los gastos picos a través de la ecuación (3), estos valores son mostrados en el cuadro siguiente.

Cuadro 5.11 Gasto de pico para los dos escenarios de uso del suelo.

Período de Retorno (años)	Gasto Pico (m ³ /s) Antes del proyecto	Gasto Pico (m ³ /s) después del proyecto	Impacto hidrológico por incremento del gasto pico	
			(m ³ /s)	(%)
2	4.5	7.24	2.74	60.95
5	8.35	12.04	3.69	44.23
10	11.67	15.98	4.31	36.94
25	16.44	21.45	5.01	30.50
50	20.26	25.74	5.47	27.01
100	24.24	30.12	5.88	24.27
500	33.89	40.56	6.67	19.69

(Fuente: Elaboración propia)

En el cuadro anterior también se ha incluido la valoración del impacto en términos del incremento del gasto de pico del hidrograma. Con este método también se puede determinar el hidrograma de escurrimientos usando la forma

y los valores del hidrograma adimensional ya presentados anteriormente (véase la figura 5.7). Por tanto, para un período de retorno de 50 años, la figura siguiente muestra la forma de los hidrogramas de escurrimientos para los dos escenarios contemplados.

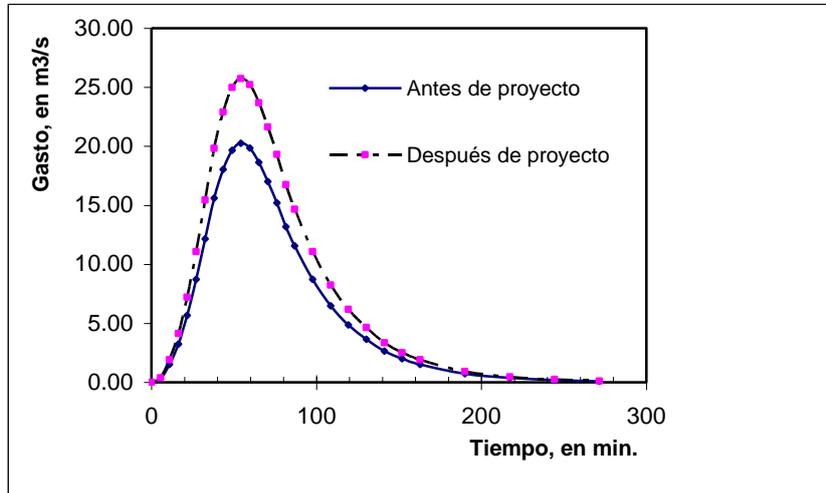


Figura 5.8 Hidrograma de escurrimiento para un período de retorno de 50 años y con el método del hidrograma unitario adimensional (Fuente: Elaboración propia)

Método de Chow

En este caso se aplica la ecuación (5). Para ello, primeramente se obtiene el valor de la precipitación efectiva para distintas duraciones e intensidades. Tomando en cuenta que para esta variable P_e , se puede aplicar la metodología de los números de escurrimiento, se ha preparado el cuadro siguiente con el cálculo de esta variable para tres duraciones típicas y todos los períodos de retorno ya analizados en los apartados anteriores. La ecuación utilizada para este cálculo es la (10). El valor de la precipitación total P_b se tomó de las curvas intensidad-duración-período de retorno.

Cuadro 5.12 Estimación de las precipitaciones efectivas (método de Chow).

Período de Retorno (años)	Duración de tormenta $d=20$ min.			Duración de tormenta $d=40$ min.			Duración de tormenta $d=60$ min.		
	P_b (mm)	P_e (mm) Antes del proyecto	P_e (mm) Después de proyecto	P_b (mm)	P_e (mm) Antes de proyecto	P_e (mm) Después de proyecto	P_b (mm)	P_e (mm) Antes del proyecto	P_e (mm) Después del proyecto
2	18.04	2.04	0.87	24.09	0.86	0.90	28.15	0.88	0.92
5	23.81	4.56	0.90	31.82	0.89	0.93	37.16	0.91	0.94
10	28.18	6.89	0.92	37.66	0.91	0.94	43.97	0.92	0.95
25	33.95	10.39	0.93	45.37	0.92	0.95	52.97	0.93	0.95
50	38.31	13.29	0.94	51.20	0.93	0.95	59.79	0.94	0.96
100	42.68	16.38	0.94	57.04	0.94	0.96	66.60	0.95	0.96
500	52.81	24.0	0.95	70.59	0.95	0.97	82.42	0.96	0.97

(Fuente: Elaboración propia)

Se procede ahora al cálculo de los factores que intervienen en el método de Chow, para ello se construye la tabla siguiente con los valores de P_e (precipitación efectiva), P_b (precipitación total) y duración d . Debido a la cercanía de la estación base con la unidad de escurrimiento de estudio, se adoptó el mismo valor para las variable P_e y P_{eb} , de suerte que el factor Y resulta de 0.278 (véase ecuación 7). Por lo que toca al factor Z , se utilizó la grafica de la figura 4.4, estimándose previamente el valor del tiempo de retraso con la ecuación (8). El cálculo se hizo para tres duraciones de tormenta, con el fin de seleccionar los valores máximos para cada período de retorno considerado.

Cuadro 5.13 Estimación de los factores X, Y y Z para el método de Chow.

Período de Retorno (años)	Duración de tormenta $d=20$ min.				Duración de tormenta $d=40$ min.				Duración de tormenta $d=60$ min.			
	X		Y	Z	X		Y	Z	X		Y	Z
	AP*	DP**			AP	DP			AP	DP		
2	6.1	12.3	0.278	0.6	7.0	11.7	0.278	0.9	6.9	10.6	0.278	1.4
5	13.7	22.9	0.278	0.6	13.6	20.0	0.278	0.9	12.5	17.5	0.278	1.4
10	20.7	31.9	0.278	0.6	19.3	26.8	0.278	0.9	17.3	23.1	0.278	1.4
25	31.2	44.9	0.278	0.6	27.5	36.4	0.278	0.9	24.2	30.8	0.278	1.4
50	39.9	55.3	0.278	0.6	34.2	43.9	0.278	0.9	29.6	36.9	0.278	1.4
100	49.2	66.0	0.278	0.6	41.1	51.6	0.278	0.9	35.3	43.0	0.278	1.4
500	72.2	92.1	0.278	0.6	58.0	70.0	0.278	0.9	49.0	57.7	0.278	1.4

* Valor calculado para la condición Antes del Proyecto

(Fuente: Elaboración propia)

** Valor calculado para la condición Después del Proyecto

Con los valores consignados en el cuadro anterior, se calcula finalmente los gastos máximos con ayuda de la ecuación (5), estos resultados se presentan en el cuadro 5.14, para una duración de tormenta de 40 minutos.

Finalmente, se comparan los resultados que se obtienen con los tres métodos utilizados, empleando para ello las magnitudes de los gastos picos y sus incrementos con respecto al cambio en el uso del suelo. Estos resultados comparativos se presentan en el cuadro 5.15.

Cuadro 5.14 Gasto máximo de escurrimiento e impacto hidrológico para una duración de tormenta de 40 minutos.

Período de Retorno (años)	Gasto Máximo para una duración de d = 40 min		Impacto Hidrológico por Incremento del Gasto Pico	
	Antes del proyecto (m ³ /s)	Después del proyecto (m ³ /s)	(m ³ /s)	(%)
2	6.13	10.2	4.07	66.4
5	11.9	17.5	5.6	47.0
10	16.9	23.5	6.6	39.0
25	24.1	31.9	7.8	32.2
50	29.9	38.4	8.5	28.4
100	36.0	45.2	9.2	25.5
500	50.8	61.3	10.5	20.7

(Fuente: Elaboración propia)

Cuadro 5.15 Comparativo de los Métodos Hidrológicos Utilizados.

Período de Retorno (años)	Método Racional		Método del Hidrograma Unitario		Método de Chow	
	Antes de proyecto (m ³ /s)	Después de proyecto (m ³ /s)	Antes de proyecto (m ³ /s)	Después de proyecto (m ³ /s)	Antes de proyecto (m ³ /s)	Después de proyecto (m ³ /s)
2	12.37	14.62	4.5	7.24	6.13	10.2
5	16.34	19.30	8.35	12.04	11.9	17.5
10	19.34	22.84	11.67	15.98	16.9	23.5
25	25.64	30.29	16.44	21.45	24.1	31.9
50	31.57	37.30	20.26	25.74	29.9	38.4
100	36.64	43.28	24.24	30.12	36.0	45.2
500	47.16	55.71	33.89	40.56	50.8	61.3

(Fuente: Elaboración propia)

5.1.7 Aplicación de la metodología hidrológica para el cálculo de los niveles de infiltración en la unidad de escurrimiento.

De acuerdo con la metodología propuesta, se utilizan dos criterios para estimar dos indicadores de infiltración y que sirven para valorar el impacto en la disminución de una posible recarga en los acuíferos.

Determinación del Índice de Infiltración Media

El primer criterio se refiere a la determinación del llamado índice de infiltración, mismo que se obtiene a través de la secuencia de pasos ya descrita anteriormente en este trabajo. La aplicación de este criterio requiere que se conozca un hietograma de una tormenta representativa para la unidad de escurrimiento en estudio. Debido a que este requerimiento no se cumple con los datos recabados para la estación Observatorio (utilizada como estación climatológica de referencia para todos los análisis de este trabajo), se decidió hacer este análisis con datos de la estación instalada en la Facultad de Ingeniería de la UAQ (Campus Universitario – Cerro de las Campanas), los datos corresponden al período de lluvias de este año 2005, y aunque es solo una muestra pequeña de datos climatológicos, permite observar las duraciones típicas de las tormentas de la región. La figura siguiente muestra el comportamiento temporal de este grupo de tormentas.

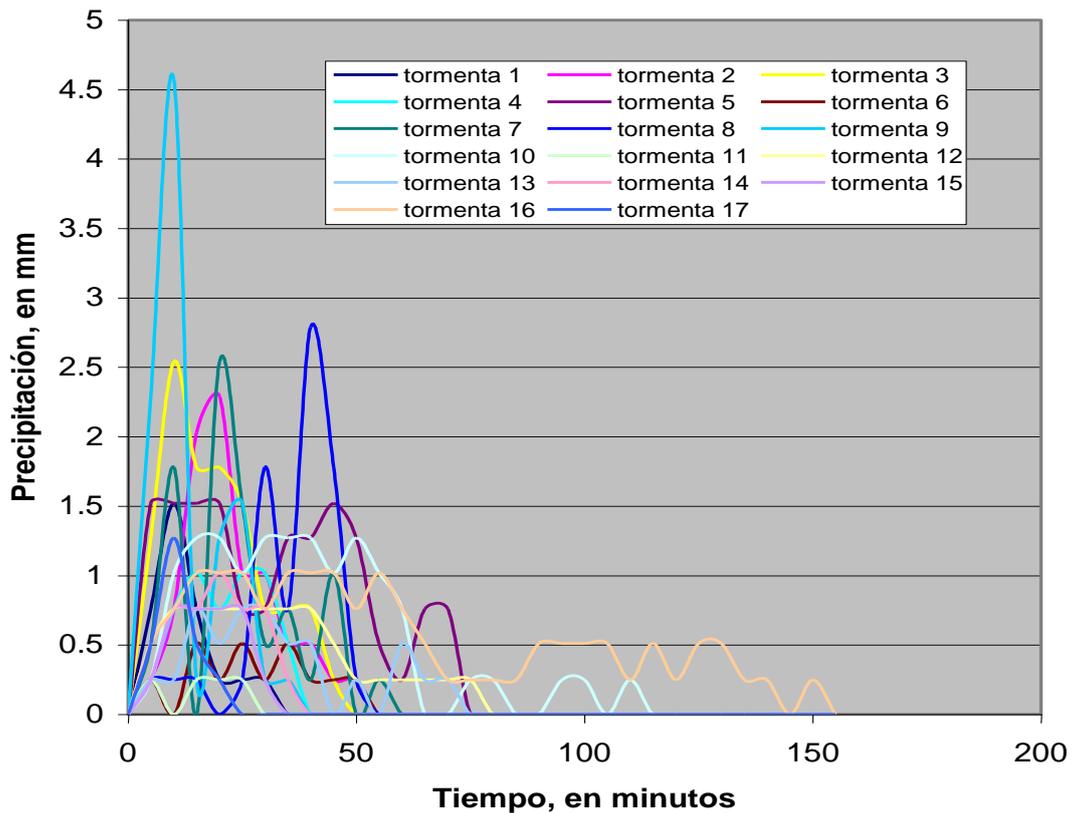


Figura 5.9 Tormentas típicas en el Valle de Querétaro
(Fuente: Lab. de Hidráulica, Facultad de Ingeniería-UAQ, 2005)

Esta información contiene registros de precipitación con intervalos de 5 minutos; el sitio donde está instalada la estación está ubicado a una distancia aproximada de 7 Km. en línea recta de la unidad de escurrimiento de estudio, por lo que los resultados que se obtienen deben ser interpretados con las reservas del caso; no obstante aportan una idea sobre la “pérdida” que se genera al urbanizar un porcentaje significativo de la superficie de una unidad, originalmente cubierta con vegetación en buen estado de conservación.

De los datos recabados se elige una tormenta representativa para el año 2005 y se construye el hietograma correspondiente. Para ello, se considera un intervalo de cálculo de 5 minutos (el mismo con el cual fueron registrados los datos de precipitación); el hietograma en cuestión se muestra en la figura siguiente.

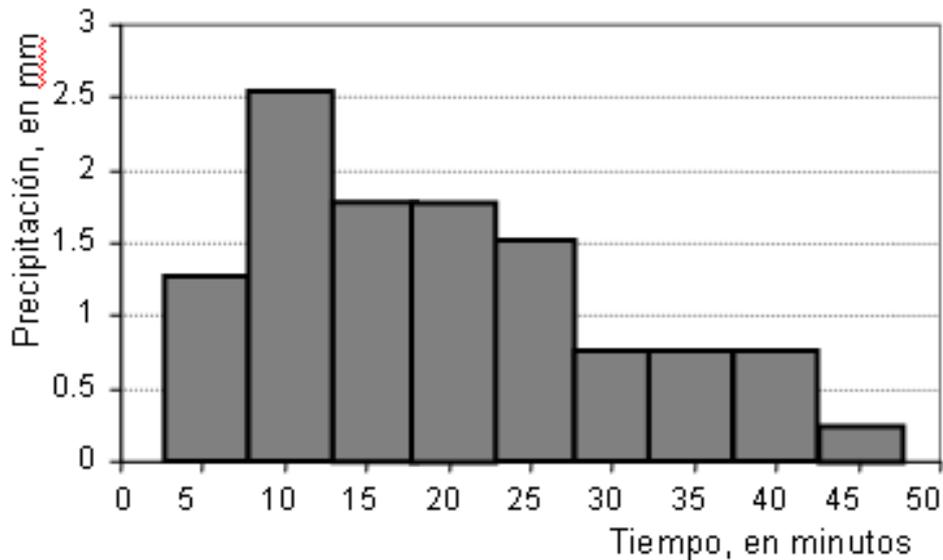


Figura 5.10 Histograma para el cálculo del índice de infiltración (para una tormenta de duración 45 minutos)

(Fuente: Elaboración propia)

En estos análisis se utiliza también la precipitación efectiva, misma que se calcula con el método del SCS y considerando una precipitación total de 11.42 mm (datos recabados de la estación de la UAQ) y la determinación del número de escurrimiento CN , pero considerando en este caso la condición de humedad antecedente tipo III; es decir, los valores de este último parámetro se manejaron para una condición húmeda (más de 35 mm de lluvia en los 5 días previos a la ocurrencia de la tormenta representativa). Por tanto, el valor de CN se corrige con base a la ecuación (12), lo que da como resultado:

$$CN_1 = 87 \quad \text{antes del proyecto}$$

$$CN_1 = 91 \quad \text{después del proyecto}$$

Para condición húmeda

Al igual que en los análisis anteriores y con el fin de valorar el impacto, se contemplan los dos escenarios de uso del suelo; es decir, con y sin proyecto. Por tanto, bajo estas condiciones, la magnitud de la precipitación total y la ecuación (10), resulta los valores siguientes para la precipitación efectiva :

$$P_e = 0.35 \text{ mm} \quad \text{antes del proyecto}$$

$$P_e = 1.30 \text{ mm} \quad \text{después del proyecto}$$

De acuerdo con la metodología descrita brevemente del índice de infiltración, estos valores se utilizan para trazar sobre el hietograma una línea horizontal y cuyas ordenadas por encima de ella sumen un total equivalente a los valores de P_e previamente obtenidos. Este procedimiento se hace por prueba y error y los resultados obtenidos son:

$$\phi = 2.2 \text{ mm/h} \quad \text{antes del proyecto}$$

$$\phi = 1.6 \text{ mm/h} \quad \text{después del proyecto}$$

Así, el impacto que resulta es una disminución en el valor del índice de infiltración de:

$$\Delta\phi = 0.6 \text{ mm} \quad ; \quad \text{Porcentaje} = 27\%$$

Aplicación de la Ecuación de Balance Hídrico

Se aplican en este caso las ecuaciones (16) a (20) para la determinación de las láminas de escurrimiento, evapotranspiración e infiltración para toda la unidad de escurrimiento. A fin de evaluar el efecto de urbanización en la reducción del agua infiltrable se consideraron los dos escenarios de uso del suelo. En la determinación de la lámina de escurrimiento, se estimaron los valores representativos del coeficiente de escurrimiento con ayuda de los valores reportados en el cuadro 4.8 y la ecuación (19). Posteriormente, se pondera un valor representativo para toda la unidad en función del área cubierta por los distintos tipos de usos de suelo y vegetación. Los valores resultantes para los dos escenarios son:

$$C = 0.11 \quad \text{antes del proyecto}$$

$$C = 0.12 \quad \text{después del proyecto}$$

Por lo que toca a la evapotranspiración, con los datos de la estación Observatorio y la aplicación del método de Turc (representado por las

ecuaciones 17 y 18, Sánchez, 2004), se obtuvo una lámina promedio anual de $E_{ir} = 450 \text{ mm/año}$. Igualmente, de los valores registrados en la misma estación, se consideró una precipitación media anual representativa para toda la unidad de escurrimiento de $P = 550 \text{ mm/año}$.

Con los valores anteriores se confecciona el cuadro siguiente donde se muestra las láminas de infiltración promedio anuales deducidas de la ecuación (20) para cada escenario y donde se incluye el impacto de la urbanización evaluada como la reducción en estos valores de infiltración.

Cuadro 5.16 Disminución en la lámina promedio anual de infiltración.

Escenario de uso de suelo	Lámina de precipitación media anual (mm)	Lámina de evapotranspiración media anual (mm)	Lámina de escurrimiento medio anual (mm)	Lámina de infiltración media anual (mm)	Impacto Hidrológico por decremento de la infiltración	
					(mm)	(%)
Antes de proyecto	550	450	60.5	39.5		
Después de proyecto	550	450	67.0	32.3	7.2	18.2

(Fuente: Elaboración propia)

Al obtener los resultados del impacto hidrológico, se obtiene un ejemplo de lo que está sucediendo en la periferia de la ciudad de Santiago de Querétaro, de cómo la ciudad sigue creciendo, sustentada en cambios de uso de suelo que siguen sin regirse del marco legal vigente, ocupando tierras productivas o de gran valor ecológico.

De acuerdo a los gastos pico de los métodos convencionales empleados se puede observar que existe impacto hidrológico, que aunque en menor grado, esta situación no considera los impactos hidrológicos acumulativos, que se están dando en la zona, es decir, los demás fraccionamientos cuyas aguas drenen hacia el bordo de regulación El Tángano

5.2 Revisión y análisis de las leyes, reglamentos y normas que rigen los cambios de uso de suelo a nivel federal, estatal y municipal.

De las leyes y reglamentos que se presentan los artículos más específicos que rigen los cambios de uso de suelo, así como los artículos referentes a las medidas de mitigación para minimizar los efectos adversos que ello ocasiona.

5.3.1 Comparativo de Leyes y Reglamentos que enmarcan un cambio de uso de suelo en los niveles federal, estatal y municipal.

Nivel Federal

Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente

Artículo 1. Fracción XI referente a la atención de los asuntos que afecten el equilibrio ecológico de dos o más municipios.

Artículo 15. Fracción IV, quien realice obras que afecten el ambiente está condicionado a prevenir, minimizar o reparar los daños que cause así mismo, asumir los costos que implique. Fracción VI, la prevención de las causas que los generan es el medio más eficaz para evitar los desequilibrios ecológicos. Fracción IX, la coordinación entre las dependencias y entidades de la administración pública y entre los distintos niveles de gobierno y la concertación con la sociedad, son indispensables para la eficacia de las acciones ecológicas.

Artículo 20 Fracción VI, los programas de ordenamiento ecológico local regularán los usos del suelo, incluyendo a ejidos, comunidades y pequeñas propiedades, expresando las motivaciones que lo justifiquen.

Artículo 23 Fracción V, se establecerán y manejarán en forma prioritaria las áreas de conservación ecológica en torno a los asentamientos humanos.

Artículo 98, el uso del suelo debe ser compatible con su vocación natural y no debe alterar el equilibrio de los ecosistemas. Fracción IV Deberán de

considerarse las medidas necesarias para prevenir o reducir su erosión, deterioro de las propiedades físicas, químicas o biológicas del suelo y la pérdida duradera de la vegetación natural.

Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable

Artículo 58 y 117, las autorizaciones en cambio de uso de suelo en terrenos forestales, por excepción previa opinión técnica de los miembros del Consejo Estatal Forestal basado en un estudio técnico justificativo que demuestre que no se compromete la biodiversidad, ni se provocará la erosión de los suelos, el deterioro de la calidad del agua, o la disminución en su captación, los usos de los suelos alternativos del suelo sean más productivos a largo plazo. Estudios en conjunto no de manera aislada.

Ley General de Asentamientos Humanos.

Artículo 28, las tierras agrícolas y forestales, así como las destinadas a la preservación ecológica, deberán utilizarse preferentemente en dichas actividades.

Artículo 30, la fundación de centros de población deberá realizarse en tierras susceptibles para el aprovechamiento urbano, evaluando su impacto ambiental y respetando primordialmente las áreas naturales protegidas, el patrón de asentamientos humanos actual y las comunidades indígenas.

Reglamento a la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente

Artículo 22, el programa de ordenamiento ecológico general del territorio tendrá por objeto, establecer los lineamientos y estrategias ecológicas necesarias para promover el establecimiento de medidas de mitigación tendientes a atenuar o compensar los impactos ambientales adversos que pudieran causar las acciones, programas y entidades de la administración pública federal.

Artículo 23, por efectos del artículo anterior las áreas de atención prioritarias se identificarán en: zonas de relevancia por su patrimonio escénico o paisajístico, vulnerabilidad de los acuíferos y sus áreas de recarga, entre otras.

Legislación Agraria en Materia de Certificación

Artículo 10, los ejidos operan de acuerdo con su reglamento interno sin más limitaciones en sus actividades que las que dispone la ley.

Artículo 56, la asamblea de cada ejido podrá determinar el destino de las tierras que no estén formalmente parceladas, efectuar el parcelamiento de éstas reconocer el parcelamiento económico o de hecho o regularizar la tenencia de los posesionarios o de quienes carezcan de los certificados correspondientes.

Artículo 59, será nula de pleno derecho la asignación de parcelas en bosques o selvas tropicales.

Artículo 74, la propiedad de las tierras de uso común es inalienable, imprescriptible e inembargable.

Artículo 88, queda prohibida la urbanización de tierras ejidales que se ubiquen en áreas naturales protegidas incluyendo las zonas de preservación ecológica de los centros de población cuando se contraponga declaratoria respectiva.

Reglamento de Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de impacto ambiental.

Artículo 5, quienes pretendan llevar a cabo alguna de las siguientes obras o actividades, requerirán previamente la autorización de la Secretaría en materia de impacto ambiental: Cambio de uso de suelo de áreas forestales, así como en selvas y zonas áridas, cambio de uso de suelo para actividades de desarrollo inmobiliario en predios con vegetación forestal, con excepción de la construcción de vivienda unifamiliar, cuando su construcción no implique el derribo de arbolado en una superficie mayor a 500 metros cuadrados, o la eliminación o fragmentación del hábitat de ejemplares de flora o fauna sujetos a un régimen de protección especial de conformidad con las normas oficiales mexicanas y otros instrumentos jurídicos aplicables.

Artículo 44, al evaluar las manifestaciones de impacto ambiental la Secretaría deberá considerar: I. Los posibles efectos de las obras o actividades a desarrollarse en el o los ecosistemas de que se trate, tomando en cuenta el conjunto de elementos que los conforman, y no únicamente los recursos que fuesen objeto de aprovechamiento o afectación; III. En su caso la Secretaría podrá considerar las medidas preventivas, de mitigación y las demás que sean propuestas de manera voluntaria por el solicitante, para evitar o reducir al mínimo los efectos negativos sobre el ambiente.

Nivel Estatal

Ley Estatal Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente

Artículo 7, lo referente a la protección al ambiente en zonas de dos o más municipios.

Artículo 8 Fracción III, no intervendrá el municipio en competencia del estado o federal.

Artículo 33, en la planeación del desarrollo estatal deberán tomarse en cuenta los estudios de impacto ambiental de las obras. Fracción V así como también se incluirán a los ejidos, comunidades y pequeña propiedad con justificación.

Artículo 47, se evitará la afectación de áreas con alto valor ambiental.

Artículo 54, no se autorizarán obras que se contrapongan con los planes de desarrollo.

Artículo 55, al solicitar la autorización deberá incluir sus efectos directos o indirectos en el corto, mediano y largo plazo, así como la acumulación y naturaleza de los mismos y las medidas para evitarlo o mitigar los efectos adversos.

Artículo 64, la Secretaría y los municipios supervisarán la ejecución y operación de las obras en lo relativo a las medidas de mitigación contenidas en la manifestación de impacto ambiental.

Artículo 123, el uso del suelo debe ser compatible con su vocación natural y no debe alterar el equilibrio de los ecosistemas. Considerarse las medidas necesarias para prevenir y reducir su erosión, propiedades físicas y químicas y la pérdida de la vegetación natural.

Código Urbano Estatal

Artículo 14, los Municipios son los encargados de la aprobación y autorización del fraccionamiento.

Artículo 30, garantiza la conservación de las áreas no urbanizables.

Artículo 106, sólo se aprobarán los proyectos de fraccionamientos cuando estos se ubiquen en terrenos contiguos a zonas ya urbanizadas de la ciudad, salvo fraccionamientos de tipo campestre, cuando se construyan respetando las normas indicadas.

Nivel Municipal

Ley Orgánica Municipal

Artículo 16, los municipios podrán coordinarse y asociarse para la formulación y aplicación de planes y programas de desarrollo urbano.

Artículo 92, se efectuará la revocación de las concesiones o autorizaciones en caso de incumplimiento por parte de los interesados.

Artículo 121, los ayuntamientos concurrirán con los gobiernos federal y estatal en la ordenación y regulación de los asentamientos humanos, con base en los planes nacional, estatal y municipal de desarrollo urbano y en el de ordenamiento de la zona conurbada.

Código Urbano del Municipio de Querétaro.

Artículo 190, todo propietario deberá recabar la licencia del Ayuntamiento a través de la Dirección, sujetarse a la evaluación de impacto ambiental que obliga la Ley Estatal de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

Artículo 201, se considerará de utilidad pública el establecimiento de áreas naturales protegidas de jurisdicción municipal y de zonas prioritarias de preservación y restauración del equilibrio ecológico en el territorio municipal.

Artículo 202, corresponde al ayuntamiento el condicionamiento de las autorizaciones para el uso de suelo o de las licencias de construcción u

operaciones, al resultado de la evaluación de obras, acciones y servicios que se ejecuten.

Artículo 207, fracción IV, la responsabilidad respecto al equilibrio ecológico comprende tanto a las condiciones presentes como las que determinan la calidad de vida de las generaciones.

Artículo 242, los criterios de preservación y restauración del equilibrio ecológico serán considerados en las autorizaciones para el cambio de uso del suelo.

Reglamento de Policía y Gobierno Municipal de Huimilpan

Artículo 161, podrá autorizar la modificación del uso del suelo basándose en el dictamen técnico que emita la Dirección de Desarrollo Urbano Municipal.

Artículo 171, para obtener la licencia de fraccionamiento deberá presentar una solicitud por escrito más el expediente técnico validado por la Dirección de Desarrollo Urbano y Obras Públicas del Municipio más la opinión de la comisión Municipal de Desarrollo Urbano

Artículo 172, la validación de los proyectos técnicos la Dirección de Desarrollo Urbano y Obras Públicas, cuidará que se cumplan las normas, recabará en forma expresa las validaciones técnicas de las dependencias del ramo que posteriormente serán prestadores de los servicios públicos al desarrollo urbanístico autorizado.

Artículo 173, con cargo al interesado del desarrollo habitacional las obras serán supervisadas por personal asignado por el municipio.

Cuadro 5.17 Comparativo de los requisitos para solicitar cambio de uso de suelo en los municipios de Huimilpan y Querétaro.

Municipio de Huimilpan	Municipio de Querétaro
Copia de identificación oficial	Solicitud de Dictamen de uso de suelo
Copia de constancia de propiedad	Solicitud elaborada, Dos fotografías diferentes como mínimo, tamaño postal del predio del inmueble, Vo. Bo. de la SEDESU, de la Asociación de Condóminos, No adeudo de
Estudio de impacto urbano	
Anteproyecto arquitectónico	
Fotografías panorámicas	
Croquis de localización	

Solicitud dirigida al presidente municipal	impuesto predial, Llenar formato con datos del inmueble, Solicitud
Copia del recibo del pago de impuesto predial	Factibilidad de giro, Solicitud elaborada ,Copia del dictamen de uso de suelo que ampare el local o uso esperado, Vo Bo de la Dirección de Protección Civil Municipal o de la Dirección de Ecología Municipal.

(Fuente: Elaboración propia)

5.3.2 Identificación del concepto de Impacto Hidrológico dentro de las leyes, normas y reglamentos que enmarcan un cambio de uso de suelo.

Terminología.-

Cambio de uso de suelo en terreno Forestal: La remoción total o parcial de la vegetación de los terrenos forestales para destinarlos a actividades no forestales, Artículo 7 V. Reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable.

Cambio de uso de suelo: Modificación de la vocación natural o predominante de los terrenos, llevada a cabo por el hombre a través de la remoción total o parcial de la vegetación. Reglamento de Impacto Ambiental de la LGEEPA.

Medidas de Mitigación: Conjunto de acciones que deberá ejecutar el promotor para atenuar los impactos y restablecer o compensar las condiciones ambientales existentes antes de la perturbación que se causare con la realización de un proyecto en cualesquiera de sus etapas.

Impacto Ambiental: Modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza, Artículo 3º XIX de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

Impacto Hidrológico: Aumento en el pico del nuevo hidrograma en comparación con el hidrograma antecedente, ocasionado por el cambio de uso del suelo en una cuenca hidrográfica, (Pilar y Depettris, 2001).

Manifestación de Impacto ambiental: El documento mediante el cual se da a conocer, con base en estudios, el impacto ambiental, significativo y potencial que generaría una obra o actividad, así como la forma de evitarlo o atenuarlo en caso de que sea negativo, Artículo 3º. XX de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

El concepto de impacto hidrológico como tal no está descrito dentro de ninguna de las leyes, normas o reglamentos analizados, a nivel Federal, Estatal y Municipal se describe de manera general lo que se entiende como impacto ambiental, donde se generalizan los daños adversos que sufre la naturaleza por los cambios de uso del suelo.

El impacto hidrológico lo contemplan las leyes y reglamentos de manera indirecta dentro del contexto de impacto ambiental. Cuando se indican dentro de las leyes y reglamentos, las medidas de mitigación que minimicen los efectos adversos por un cambio de uso de suelo, considerando que la manifestación de impacto ambiental considere el estudio hidrológico, lo anterior es contemplado en los artículos 15 y 98 de la Ley General Del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, en su Reglamento en el artículo 22; la Ley Estatal del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, en sus Artículos 55, 64, 123; la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable en su artículos 58 y 117.

5.3.3 Correspondencia del concepto hidrológico entre las leyes, normas y reglamentos que involucran los cambios de uso de suelo en los tres niveles, federal, estatal y municipal.

Se considera que existe correspondencia en los niveles federal y estatal, si consideramos que de manera indirecta el concepto de impacto ambiental, engloba también al impacto hidrológico, ya que al mencionar las obras de mitigación que minimicen los daños adversos causados por el cambio de uso de suelo, puedan referirse a obras estructurales realizadas para el control de avenidas.

En el nivel municipal, el artículo 173 del Reglamento de Policía y Gobierno Municipal de Huimilpan, menciona que ya ejercida la autorización, la supervisión de las obras se llevará a cabo por personal designado por el municipio con cargo al interesado; esta situación no contempla sin embargo la supervisión de obras que se estén desarrollando para minimizar los efectos negativos de un impacto ambiental. En el Artículo 172 del mismo reglamento se menciona la revisión técnica del expediente por parte de las dependencias del ramo donde además se indica que serán éstas las que posteriormente proveerán de servicios públicos al fraccionamiento; es decir, el aspecto de disponibilidad de servicios está más priorizada que la revisión para un análisis de impacto ambiental. Además este suministro de servicios debe realizarse de manera, sectorizada, es decir que para considerar el impacto hidrológico y las medidas de mitigación es el ayuntamiento municipal quien debe someterlo a aprobación y revisar los impactos hidrológicos acumulativos dentro de su municipio correspondiente y a su vez a nivel estatal la Comisión Estatal del Agua.

5.3.4 Interacción entre las instituciones involucradas en los cambios de uso de suelo a nivel de leyes, reglamentos y normas.

Sí, existe interacción entre las instituciones involucradas en los cambios de uso de suelo, por lo menos a nivel leyes ya que de acuerdo al artículo 10 de la LEEPA, se indica la creación de la Comisión Estatal de Ecología como un órgano permanente de coordinación institucional entre las dependencias y entidades del ejecutivo estatal y los municipios, y de concertación entre los sectores de la sociedad civil, cabe aclarar que la aplicación de este artículo no fue comprobado entre las dependencias involucradas.

En el artículo 47 se menciona la colaboración entre las dependencias y entidades de la administración pública estatal y los municipios para la regularización ambiental en los asentamientos humanos.

De la misma Ley, en el Artículo 73 a través de las Secretaría de Gobierno y de Desarrollo Sustentable, se brindará asesoría técnica y jurídica a los ayuntamientos de la entidad, para el eficaz y eficiente desempeño de su gestión ambiental. En el Artículo 31, fracción IX y fracción XII, se menciona que toda persona tiene derecho a disfrutar de un ambiente sano, y las autoridades, en los términos de ésta y otras leyes, tomarán las medidas para preservar ese derecho. Las autoridades competentes en igualdad de circunstancias ante los demás estados, promoverán la preservación y restauración del equilibrio de los ecosistemas regionales.

El reglamento de Policía y Gobierno Municipal de Huimilpan, artículo 183, cita que se debe crear el consejo Municipal de protección al ambiente y que es un instrumento de participación ciudadana para la conservación, protección, mejoramiento y restauración del ambiente en el Territorio municipal.

En el artículo 186, se dice que las actuaciones del Consejo Municipal de protección al Ambiente, serán de colaboración y coordinación con las autoridades competentes en materia ecológica de los ámbitos federal y estatal.

5.3.5 Responsabilidad de tomar en cuenta los impactos hidrológicos en los cambios de uso de suelo y la etapa en que son considerados.

Es el Municipio el encargado de solicitar, a través de su Dirección de Desarrollo Urbano y Obras Públicas, la revisión del expediente técnico de las obras a desarrollar dentro de sus límites. Dicha solicitud se llevara a cabo a cada una de las Dependencias del Ramo, lo anterior en apego al Artículo 172 del Reglamento de Policía y Gobierno Municipal Huimilpan. Se otorga a este reglamento la facultad para dar el dictamen de aprobación o negación de un cambio de uso de suelo, actividades que están enmarcadas en los Artículos 115 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, Artículo 5 de la Constitución Política Estatal de Querétaro de Arteaga, Artículo 9 de la Ley de Asentamientos Humanos, Artículo 8 de la LGEEPA, Artículo 14 y 22 del Código Urbano y Artículo 8 de la LEEPA. Por tanto es el Municipio quien debe de tomar en cuenta los Impactos Hidrológicos dentro de su territorio, el Artículo 33

de la Ley Estatal del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente menciona que para la planeación del desarrollo estatal deben de considerarse los estudios de impacto ambiental de las obras. Por lo tanto el impacto hidrológico aunque de manera no especificada debe de incluirse en el estudio de impacto ambiental que se adjunta al expediente técnico de la solicitud de cambio de uso de suelo que se dirige al Ayuntamiento por parte de los interesados, sobre todo si el proceso de urbanización se va a desarrollar en terrenos con pendientes altas.

5.3.6 Impacto Hidrológico y las medidas de mitigación que desarrollan los fraccionadores y etapa en la que se implementan.

En el artículo 15 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente indica, quien realice obras que afecten el ambiente está obligado a prevenir, minimizar o reparar los daños que cause. Así como asumir los costos que implique. En el Artículo 55 y 64 de la Ley Estatal de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente se menciona que al solicitar la autorización en la manifestación de impacto ambiental deberá incluir sus efectos directos o indirectos en el corto, mediano y largo plazo, así como la acumulación y naturaleza de los mismos y las medidas para evitarlo o mitigar los efectos adversos, estas medidas que serán supervisadas por la Secretaría de Desarrollo Sustentable y el Municipio en cada una de las etapas del desarrollo de las obras según lo describa la manifestación de impacto ambiental.

5.3.7 Análisis del Proceso Administrativo y Legal del Fraccionamiento Cumbres del Cimatarío.

Los aspectos administrativos más relevantes del desarrollo urbanístico Cumbres del Cimatarío dentro del ámbito Federal, Estatal y Municipal y sus observaciones dentro del marco legal por el cambio de uso de suelo, se detallan a continuación.

En asamblea general de ejidatarios del núcleo agrario de San Francisco celebrada el 27 de noviembre del año 2000 se aprobó el cambio de

destino de las tierras de uso común del polígono dos a áreas parceladas, así como la aprobación del dominio pleno sobre las parcelas del núcleo agrario, a efecto de que estas parcelas se desincorporen del régimen de tenencia ejidal y se incorporen al régimen de propiedad privada.

Observaciones:

Los ejidos operan de acuerdo con su reglamento interno sin más limitaciones en sus actividades que las que marca la Ley, lo anterior de acuerdo al Artículo 10 de la Legislación Agraria en Materia de Certificación. Del Artículo 74 de la misma legislación se indica que, la propiedad de las tierras de uso común es inalienable, imprescriptible e inembargable, más sin embargo en la Ley Agraria también tiene imprecisiones ya que en la misma ley se le otorga al ejido el cambio de destino de sus tierras, y después del PROCEDE las tierras de uso común son la única identidad ejidal que le queda al ejido para usufructo común y los ejidatarios a la fecha están optando por parcelarlas, aprovechando su derecho y dejando de lado el carácter de imprescriptible, inembargable e inalienable. En el Artículo 59 se cita, será nula de pleno derecho la asignación de parcelas en bosques o selvas tropicales, este es el artículo que en el caso de las tierras de uso común del ejido San Francisco, dejaría sin efecto el parcelamiento que realizaron los ejidatarios y que el PROCEDE respeto desde que fue medido por el INEGI en 1998.

Con fecha 20 de diciembre del año 2000, se recibe en las oficinas de la presidencia municipal de Huimilpan, el escrito que presentan los acreditados con derechos parcelarios de las parcelas 45, 46, 48, 49, 50, para solicitar el cambio de uso de suelo a uso habitacional. Se autoriza el cambio de uso de suelo a habitacional con densidad 100 habitantes por Hectárea, en sesión de Cabildo celebrada el 25 de Abril 2001 en el Municipio de Huimilpan.

Periódico Oficial del Gobierno del Estado Libre y Soberano de Querétaro Arteaga. La Sombra de Arteaga. Del 22 de Junio de 2001, Tomo CXXXIV. Gobierno Municipal. En sesión ordinaria de cabildo de fecha 25 de Abril del año 2001, el H. Ayuntamiento de Huimilpan, Qro. emitió el acuerdo

que autoriza a los propietarios de las parcelas No. 45, 46, 48, 49 y 50 del Ejido San Francisco, el cambio de uso de suelo a uso habitacional, con una densidad H1 (cien habitantes por hectárea), del predio ubicado en carretera Querétaro – Huimilpan Km. 4.5, perteneciente al Municipio de Huimilpan. Presidencia municipal de Huimilpan. Secretaría General, Ramo Administrativo, oficio 008/01 el Ciudadano presidente municipal en uso de sus facultades resuelve la solicitud presentada por los propietarios, Lourdes Nader Harp, José Oleszcovski Wasserteil, Susana Ruiz Zaldumbide y Pedro Ignacio Ruiz Zaldumbide relativo al cambio de uso de suelo de preservación ecológica a uso habitacional con una densidad H1 (100 habitantes por hectárea) del predio ubicado en carretera Querétaro Huimilpan Km. 4.5, perteneciente al municipio de Huimilpan, Qro.

En el párrafo anterior se describen los propietarios de los predios quienes solicitaron el cambio de uso de suelo y de acuerdo a la asamblea ejidal las personas que anteriormente se describieron fueron aceptadas como ejidatarios, por lo que se puede inferir que el parcelamiento de las tierras de uso común del ejido San Francisco ya estaban destinadas para su venta, desde la asamblea ejidal no para usufructo parcelario por legítimos ejidatarios.

A través del oficio VE/1127/07 de la Vocalía Ejecutiva, solicitud QR-053-00-D, cédula Núm. 99 de la Zona de Distribución: Sur, de la Comisión Estatal De Aguas con fecha 12 de Junio de 2001, se le solicita al fraccionamiento Cumbres del Cimatario los proyectos Hidráulicos de agua potable, drenaje sanitario y pluvial para su revisión y aprobación por parte de esta Comisión.

Observaciones:

En apego al artículo 172 del Reglamento de Policía y Gobierno Municipal, la Comisión Estatal de Aguas solicita al fraccionamiento Cumbres del Cimatario los proyectos Hidráulicos de agua potable, drenaje sanitario y pluvial para su revisión y aprobación por parte de esta Comisión, cabe resaltar

que no se solicitan las obras de mitigación de escurrimientos producto de la impermeabilización de los suelos desprovistos de su vegetación natural, siendo que la Comisión Estatal de Aguas es el Sector responsable de todo lo relacionado al drenaje pluvial en el Estado, situación muy importante por tratarse de un cambio de uso de suelo en el municipio colindante de Huimilpan, donde las aguas pluviales y del drenaje sanitario fluyen hacia el municipio de Querétaro debido a la pendiente de la unidad de escurrimiento, en los documentos revisados el ayuntamiento de Querétaro, no recibe los estudios hidrológicos que se elaboran para el fraccionamiento y que son dirigidos a la Comisión Estatal de Aguas.

En la sesión ordinaria de la subcomisión técnica de la comisión intermunicipal de conurbación de la ciudad de Querétaro celebrada el día 7 de Septiembre de 2001, sus integrantes acordaron de manera unánime que el proyecto era viable.

El 3 de Octubre de 2001, la Secretaria de Desarrollo Urbano y Obras Públicas de Gobierno del Estado emitió el Dictamen de uso de suelo SUE-293/2001 NT- 21990, oficio No. 011427, condicionado al cumplimiento de las autorizaciones de impacto ambiental, adopción del régimen de propiedad privada, etc.

Con fecha 26 de noviembre de 2001 mediante oficio 012083, la Secretaría de Desarrollo Urbano y Obras Públicas del Gobierno del Estado emitió el Dictamen de Uso de Suelo en el que se dictamina factible ubicar un fraccionamiento Habitacional con densidad a 100 habitantes por hectárea.

Con base en el estudio de impacto ambiental y las características del proyecto, el 28 de Noviembre de 2001, el secretario de SEDESU mediante oficio 849/2001 da una autorización condicionada.

La dirección de obras publicas, desarrollo urbano y ecología del municipio de Huimilpan, con el oficio DOP/138/2002 de fecha 15 de marzo de 2002, autoriza la Fusión de las Parcelas 45, 46, 48, 49, 50 del Ejido San Francisco del mismo Municipio.

La sombra de Arteaga. Periódico oficial del gobierno del estado libre y soberano de Querétaro Arteaga. TOMO CXXXV del 7 de junio de 2002, No. 26, Acuerdo relativo a la licencia de ejecución de obras de urbanización y venta provisional de lotes para la primera etapa del fraccionamiento denominado Cumbres del Cimatarío, en el Municipio de Humilpan, Qro.

En reunión celebrada con fecha 1 de Agosto de 2002 se emitió opinión favorable por el Subcomité Estatal de Dictaminación Técnica de Cambio de Terrenos Forestales.

Observaciones:

De acuerdo al procedimiento de un cambio de uso de suelo de acuerdo a los artículos 161, 169, 171, 172 del Reglamento de Policía y Gobierno Municipal, para darse una autorización de un cambio de uso de suelo, el expediente técnico del interesado debe contar con la aprobación de cada una de las dependencias del ramo y para este fraccionamiento en estudio las aceptaciones se hicieron con demasiado retraso, además se otorgaron autorizaciones condicionadas, ver cuadro 5.18.

Cuadro 5.18 Cronología del cambio de uso de suelo para el Fraccionamiento Cumbres del Cimatarío.

Niveles/ Fechas	Federal	Estatal	Municipal	Ejidal	Observaciones
27 de Noviembre 2000				Asamblea Ejidal para el cambio de destino de las tierras de uso común a parceladas	
20 de Diciembre 2000			Solicitud del cambio de uso de suelo parcelario a habitacional		
25 de Abril 2001			En sesión de Cabildo el 25 de		Para la autorización de un cambio

			Abril 2001 se autoriza en cambio de uso de suelo a habitacion al con una densidad de H1 100 habitantes por hectárea		de uso de suelo el Municipio debe tener el expediente técnico validado por las Dependencias del ramo. Artículo 171, 172 del Reglamento de Policía y Gobierno Municipal.
12 de Junio del 2001		La CEA solicita al fraccionamiento o los proyectos hidráulicos de agua, drenaje pluvial y sanitario			
22 de Junio de 2001		Se pública el cambio de uso de suelo en el Diario La Sombra de Arteaga.			
7 de Septiembre de 2001		La comisión Intermunicipal de conurbación acordaron que el proyecto era viable			Declaran viable un proyecto que su cambio de uso de suelo ya estaba aprobado por el municipio desde el mes de abril 2001
03 de Octubre 2001		La SEDUOP condiciona al cumplimiento de la autorización de impacto ambiental			
26 de Noviembre 2001		La SEDUOP emite dictamen de Uso de Suelo Factible, 100 Habitantes por Hectárea			
28 de Noviembre de 2001		SEDESU da su autorización condicionada			

15 de Marzo 2002				El Municipio Autoriza la fusión de las parcelas en cuestión y da licencia de ejecución de obras de urbanización y venta provisional de lotes.	
Junio 2002				Estudios Técnicos Justificativos y Manifestación de Impacto Ambiental Modalidad Particular por parte del Fraccionamiento.	
1 de agosto 2002		Subcomité Estatal de Dictaminación Técnica de Cambios de Terrenos forestales da su opinión dictaminando su factibilidad			Aprobación que llega un año cuatro meses después que el municipio dictamino el cambio de uso de suelo.
21 de Octubre 2002	La SEMARNAT da su autorización al estudio de impacto ambiental condicionada				
23 de Octubre 2002	La SEMARNAT da su autoriza cambio de utilización de terrenos forestales				

(Fuente: Elaboración propia)

El cuadro anterior muestra la toma de decisiones por parte de las dependencias involucradas, cada una de ellas de primera instancia da su dictamen factible pero condicionando al proyecto, siendo que la decisión del cambio de uso de suelo ya estaba aprobada por el municipio (2001) con demasiada anterioridad. Lo relevante en este proceso es que por tratarse de

terrenos forestales de acuerdo al artículo 8, fracción III de la Ley Estatal del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, el municipio no intervendrá en competencia estatal o federal, por lo tanto le correspondía a la SEMARNAT dictaminar el cambio o no del uso de suelo en terrenos forestales, dando su aprobación en 2002. La autorización que otorga el municipio al fraccionamiento es la detonante para el desarrollo de urbanización en la zona.

Con fecha 21 de Octubre de 2002, la Delegación Federal de la SEMARNAT en Querétaro, mediante oficio No. F.22.01.03/1164/02 autoriza el estudio de impacto ambiental, con las siguientes condicionantes: En apego a la Dictaminación del Subcomité Estatal de Dictaminación Técnica de Cambio de Terrenos Forestales y con fundamento en los Artículos: 5 fracción X, 28 fracción VII, 30 y 35 fracción II de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; Artículo 4 fracción I, 5 inciso O, 44 y 45 fracción II de su reglamento en Materia de evaluación del Impacto Ambiental y 36 fracción IX, inciso c, del Reglamento Interior de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), resuelve que es procedente, por lo tanto autoriza de manera condicionada para el desarrollo del proyecto denominado Desarrollo Residencial Cumbres del Cimatario.

Se autoriza el cambio de uso de suelo para 51.65 ha., tendrá una vigencia de dos años y será revalidado a juicio de la SEMARNAT.

El desarrollo del Proyecto Desarrollo Residencial Cumbres del Cimatario, deberá ajustarse a la descripción contenida en la manifestación de Impacto Ambiental, Modalidad Particular, a los planos del proyecto, así como a lo dispuesto en la presente resolución. Superficie total del proyecto 86.65 de las cuales 35 están destinadas a área protegida, 51.65 al fraccionamiento habitacional. Se deberá dejar como área verde el 40% de la superficie de cada lote, donde no se permite la construcción para cualquier otra actividad que altere la condición original de la vegetación presente. Las áreas en las cuales se conservará la vegetación original del sitio del proyecto serán: área protegida 35.0 has, áreas verdes para lotes 11.19 ha, áreas verdes comunes 2.66 ha, protección de cauce de arroyo 0.37 ha, dando un total de 49.22 ha. El

desmonte se deberá hacer de manera gradual, durante las etapas del proyecto, con la finalidad de no eliminar la vegetación en una sola intervención y de no dejar al suelo desprovisto de vegetación. En la medida de lo posible, rescatar ejemplares vegetales. En la construcción y acabado de calles, plazas, andadores, estacionamientos, se deberán utilizar materiales filtrantes. Se deberán construir fuera del predio en la corriente del arroyo presas filtrantes con el objeto de detener los sedimentos arrastrados y favorecer la infiltración al subsuelo.

Observación:

Lo indicado por la SEMARNAT se trata de medidas estructurales para el control de avenidas en el caso de las presas filtrantes y los pavimentos permeables, con el objetivo de disminuir el proceso de escorrentía de aguas pluviales, ocasionado por la pavimentación de calles, andadores y estacionamientos, según el artículo 98 de la LGEEPA y 123 de la LEEPA, como medidas de mitigación a los impactos adversos por el cambio de uso de suelo. Cabe destacar que la SEMARNAT señala que deberán de ajustarse al plano y en el plano el cauce del arroyo es truncado por un conjunto de condominios, además de que manera benefician los árboles plantados en áreas aledañas, sin las mitigaciones deben ser en el mismo lugar donde se originan los efectos adversos.

Así mismo, se condiciona a que deberá dejarse una franja de protección de 10 m a partir del nivel máximo de aguas ordinarias en ambos lados del arroyo temporal denominado el Tángano, donde deberá respetarse la vegetación presente y donde por ser de competencia de federal, no se permitirá la remoción de vegetación. Ya que la construcción del fraccionamiento modificará vegetación de selva baja caducifolia y matorral xerófilo, se deberá realizar la plantación de 50,000 unidades de especies nativas de la región en el parque Nacional Cimatario, durante el primer año de vigencia de la presente y notificar a la delegación de la SEMARNAT el sitio del área reforestada. Deberá ser promovida la Declaratoria de Área Natural Protegida y su Inscripción en el Registro Público de la Propiedad en

aproximadamente 35 ha del Cerro el Tangano, en la que se acordará con la UAQ un programa de manejo según lo estipulado en el estudio Justificativo e informar a la SEMARNAT. Se deberá conservar la proporción de 60% construcción 40% áreas verdes. Se deberán realizar informes donde se estén llevando a cabo los trabajos con apego a las condiciones antes señaladas ante la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, así como una copia de acuse del reporte a la SEMARNAT. Esta última podrá evaluar nuevamente la Manifestación de Impacto Ambiental, Modalidad Particular o solicitar mayor información adicional, de considerarlo necesario, en los términos previstos en el Artículo 28 del Reglamento de la LEGGEPA, con el fin de revalidar la autorización otorgada, modificarla, suspenderla o revocarla si estuviera en riesgo el equilibrio ecológico o se produjeran afectaciones nocivas imprevistas en el ambiente. El incumplimiento de cualquiera de los términos resolutive y/o la modificación del proyecto en las condiciones en que fue expresado en la documentación presentada, podrá invalidar la presente resolución, sin perjuicio de las sanciones previstas en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y demás ordenamientos legales que resulten aplicables.

La delegación de la SEMARNAT en Qro. Mediante oficio No. F.22.02 02/1153/02 de fecha 23 de octubre de 2002, autoriza cambio de utilización de terrenos forestales.

La PROFEPA en oficio BOO. 0014/2004 del 12 de Enero 2004 informa a la SEMARNAT de la visita de inspección a Cumbres del Cimatarío, donde se observó lo siguiente: cambio de uso de suelo forestal a vías de acceso en una superficie de 1440 m², donde se afectó vegetación natural, área no considerada en la autorización de cambio de uso de suelo forestal, ni en la manifestación de Impacto Ambiental; se observaron cuatro obras de terraplén con una superficie de 49 m² construidas sobre el cauce del Arroyo El Tangano, dichas obras no están contempladas, así como la construcción de dos tanques a base de mampostería para almacenar agua tratada, con una superficie de 79.79 m² cada uno, obras que se encuentran dentro de los terrenos del Área

Natural Protegida El Tangano, mismas que no cuentan con autorización. No se ha realizado la reforestación contemplada en citada autorización.

La PROFEPA en oficio SDT/040/2004 con fecha 2 de febrero de mismo año dirigido a la SEMARNAT, donde le informa el incumplimiento de las condicionantes establecidas en las autorizaciones del impacto ambiental y autorización para el cambio de uso de suelo, cuyo incumplimiento determinó el área técnica en base a las observaciones asentadas en las visitas de inspección realizadas del 27 de noviembre al 2 de diciembre de 2003 y el 21 de enero de 2004. Donde se encontró la construcción de una vialidad en el lado izquierdo del margen del arroyo El Tangano, sin respetar el área federal, el terminado de calles es a base de adoquín y concreto estampado, no se observó la construcción de presas filtrantes en la corriente del arroyo y al momento no presenta un manejo de la reserva de área natural protegida.

Mediante oficio No BOO. E. 56.4 Cl. 149, de 3 de enero del 2004 la Comisión Nacional de Aguas solicita al director del fraccionamiento Cumbres del Cimatario, la regularización de ocupación de zona federal de acuerdo a lo estipulado en el artículo 3º fracción VIII de la Ley de Aguas Nacionales. Donde deberá reponer la superficie correspondiente ampliando la zona federal margen derecha, colocando mojoneras que marquen los límites federales definitivos. Teniendo como resultado la firma de una minuta el 3 de febrero del 2004, entre el fraccionador y la Comisión Nacional del Agua para dejar 20 metros del lado izquierdo del margen del arroyo como zona federal.

En virtud de haber infringido las disposiciones jurídicas establecidas en la autorización de cambio de uso de suelo y manifestación de impacto ambiental, la PROFEPA dicta resolución administrativa No. 189 2004 en expediente 033/ 04 de fecha 20 de julio del 2004, y sanciona a Cumbres del Cimatario, S. A. de C. V. con una multa equivalente a 5, 270 días de salario mínimo general vigente en el Distrito Federal año 2004, lo cual equivale a \$238,414.80 00/100 pesos, m.n.

Observación:

La sanción que se opta por aplicarle al Fraccionamiento Cumbres del Cimatario, por todos los desacatos a las leyes, reglamentos y todas las condicionantes que se le implantan para permitir su aprobación y proceso de urbanización, en materia del impacto ambiental y aguas nacionales resulta ser una solución donde se compensa en aspecto económico a costa del medio ambiente, ya que de las condicionantes que le impuso la SEMARNAT no fueron concretadas, el fraccionamiento siguió su proyecto urbanístico, sin considerar sus limitantes normativas. Cada una de las condicionantes influye de manera directa con el régimen hidrológico, el proteger la vegetación nativa, respetar el cauce del arroyo, pavimentos permeables, represas filtrantes en el cauce del arroyo, etc., favoreciendo la disminución de la escorrentía, es decir menor impacto Hidrológico.

5.3.8 Análisis del estudio técnico justificativo y la Manifestación de Impacto Ambiental Modalidad Particular, Fraccionamiento Cumbres del Cimatario.

De la manifestación de impacto ambiental modalidad particular por cambio de utilización de terrenos forestales a uso habitacional residencial en el predio denominado "Cumbres del Cimatario", del Municipio de Huimilpan, Qro. Junio de 2002, se analizaron los puntos más importantes enfocados al impacto hidrológico por el cambio de uso de suelo.

1.-Delimitación del área de estudio. No existe ordenamiento ecológico decretado para el predio en cuestión, ni se encuentra dentro del límite normativo de ningún instrumento de planeación Urbana del Municipio.

El estudio clasifica la zona conforme a los coeficientes de escurrimientos del INEGI (que toma en cuenta la permeabilidad de los suelos, la cubierta vegetal y precipitación media) como zona de escurrimiento bajo ya que su coeficiente es de 5 a 10%. Para la hidrología subterránea lo considera de baja permeabilidad por el tipo de material que consolidan el suelo, que es de baja capacidad para retener el agua, resultando por ello una superficie con

alto coeficiente de escurrimiento, cuando el suelo se encuentra desprovisto de vegetación.

Observaciones:

En este mismo estudio clasifican la zona conforme al INEGI en área de bajo escurrimiento, esto quiere decir que el INEGI toma en cuenta la cubierta vegetal en excelente estado de conservación que amortigua los escurrimientos. Sin embargo si analizamos la zona desde el aspecto suelo (rocoso y de poca permeabilidad), da como resultado una zona con alto coeficiente de escurrimiento. Debido a su pendiente y tipo de suelo, esta situación que se incrementa al pavimentar los suelos al desarrollarse el Fraccionamiento, por lo tanto el valor ambiental más rico de la unidad de escurrimiento lo constituye su vegetación, por todos los servicios ambientales que se derivan de ella.

2.- En el Capítulo de Geología el estudio dice textualmente, “no se detectaron fallas o fracturamientos dentro del área, la zona no es susceptibles a sismicidad, derrumbes, hundimientos, inundaciones, ni se encuentra dentro de zonas de actividad volcánica, únicamente es susceptible de deslizamientos de tierra”.

Observaciones:

En la caracterización Física y Biótica de la unidad de escurrimiento, motivo de este análisis, se señala la presencia de una falla o escarpe que sustenta una selva baja caducifolia de forma paralela y a todo lo largo del cauce del Arroyo y efectivamente por la demasiada pendiente los terrenos son factibles de deslizamientos.

3.- Para el proceso de Erosión, el estudio ambiental señal “es común que los suelos sean susceptibles de erosionarse al quedar descubiertos de vegetación original; sin embargo, actualmente el tipo de erosión es laminar ligera debido a la densidad y espesura de la vegetación, y una vez realizado el cambio de utilización de terrenos, se llevarán a cabo obras de equipamiento

para las calles, que incluyen pavimentación, por lo que no habrá riesgo de erosión”.

Observaciones:

El proceso de erosión se intensifica a media que el suelo se ve desprotegido de su vegetación, y efectivamente el suelo ya no se erosiona, está impermeabilizado; ahora la lámina de agua que el suelo retenía con su vegetación natural, fluye de manera libre, que conforme avanza se incrementa su volumen y su intensidad, provocando que la erosión del suelo ya no se dé en el lugar del fraccionamiento, pero sí en las partes medias y bajas de la unidad de escurrimiento, incrementando la cantidad de sedimentos arrastrados que llegan al bordo Tangano II, mismos que reducen su capacidad de almacenamiento.

4.- En lo relacionado al Paisaje, “El paisaje del lugar es muy característico a la vista del visitante, ya que presenta una sensación de relajación, recreación y esparcimiento fuera de la ciudad, además, es de las pocas áreas con vegetación natural que circundan la ciudad, por lo que es muy importante dar impulso al proyecto propuesto en la parcela 47 que servirá para conservar y proteger los recursos naturales y en específico a la vegetación y fauna del lugar. Dadas las condiciones de pendiente, tipo de vegetación, exposición entre otras, dan al predio un atractivo visual poco común”.

Observaciones:

Efectivamente el área antes del fraccionamiento era de las pocas áreas verdes que se encontraban si alteración, un lugar de belleza natural y riqueza escénica como pocos cerca de la ciudad, por lo que era resguardado como zona de protección ecológica dentro de los planes del desarrollo urbano del municipio de Querétaro, este aspecto es de gran importancia ya que pone de manifiesto que no existe una conciliación entre los planes de desarrollo intermunicipales, ya que cada uno sigue sus planes de desarrollo por separado sin homogenizar aptitudes de los suelo en sus área de colindancia. Por lo tanto

al fraccionador le resultó más fácil tener acceso al cambio de uso de suelo por el municipio de Huimilpan, el cual no lo tenía considerado dentro de su desarrollo urbano, mucho menos ambiental. Tratándose de una zona limítrofe entre el Municipio de Querétaro y el Municipio de Huimilpan no se tomaron en cuenta los planes estatales de desarrollo, ni el Plan Estatal de Ordenamiento Ecológico Territorial de la SEDESU, ni tampoco el inventario forestal con el que cuenta la SEMARNAT.

5.- En cuanto a las Obras de Mitigación. “El arroyo que existe en el predio deberá ser respetado, así como su zona de protección federal, establecido por la Comisión Nacional del Agua, para lo cual se contempla el revestimiento del mismo y el establecimiento de áreas verdes en la zona de protección federal”.

Observaciones:

Lo anterior de ninguna manera puede considerarse como medidas de mitigación, puesto que el revestimiento del cauce debido a su pendiente, favorece el incremento de velocidad de las aguas pluviales, además de disminuir la infiltración, el establecimiento de áreas verdes en la zona de protección federal no son necesarias, la vegetación nativa que crece al lado del arroyo da el soporte fundamental para su equilibrio.

Las obras de mitigación que propone el fraccionador, indican que dentro de su manifestación de impacto ambiental para cambio de uso de suelo, el Impacto Hidrológico no está debidamente considerado dentro de los aspectos técnicos importantes, puesto que sólo dan alternativas de mitigación que van en función del desarrollo de su proyecto urbanístico, sin considerar los impactos ambientales que ello provoque aguas abajo del fraccionamiento.

Observaciones Técnicas al Estudio Justificativo para cambio de utilización de terrenos forestales a uso habitacional residencial en el predio denominado “Cumbres del Cimatarío”, Municipio de Huimilpan, Querétaro. Junio de 2002.

1.- Factores de riesgo para el uso propuesto.- “En la región no se detectaron factores sociales, políticos o naturales que pudieran poner en riesgo o limitar el cambio de utilización de terrenos forestales a uso habitacional residencial propuesto, ya que las cualidades estéticas del paisaje y vegetación no son únicas ni excepcionales; además, no es una zona de hacinamiento, sino más bien una zona de expansión periférica, donde de acuerdo con el Plan de desarrollo Urbano de Huimilpan se clasifica como Habitacional con una densidad de hasta 100 habitantes por hectárea“

Observaciones:

Lo anterior expuesto se contradice con el estudio de Manifestación de Impacto Ambiental Modalidad Particular realizado por el mismo fraccionamiento, en lo referente a su descripción del valor paisajístico de la zona. Además el estudio técnico justificativo para cambio de utilización de terrenos forestales a uso habitacional, no debe de considerar la clasificación de uso habitacional que le otorga el municipio en Abril del 2001 si el estudio lo presenta en junio del 2002, mismo que de acuerdo a la ley debió de haberlo presentado junto con su solicitud para la autorización para cambio de uso de suelo. Además manifiesta que el municipio de Huimilpan no cuenta con su plan general de desarrollo a nivel municipal, en los documentos revisados sólo se localizó el de la cabecera municipal.

2.- El ayuntamiento de Huimilpan recibió por concepto de impuesto por superficie vendible de las tres etapas del fraccionamiento la cantidad de \$532013.54 pesos m.n. y la Secretaria de Planeación y Finanzas del Estado, por concepto de derechos de Supervisión de las obras de urbanización de la etapa uno a ejecutar, la cantidad de \$274 803.97 pesos m.n.

Observaciones:

Por el pago de impuestos al Ayuntamiento de Huimilpan económicamente se benefició, no siendo así al municipio de Querétaro. Debido

a que la unidad de escurrimiento drena sus aguas hacia la ciudad de Querétaro, ésta debe de considerar el incremento en el gasto sanitario y pluvial dentro del drenaje general del Municipio de Querétaro. Se manifiesta con esta situación la falta de coordinación que se indica en el Artículo 1 de la LEGEEPA, donde debe de darse la intervención federal para la atención de preservar el equilibrio ecológico entre dos o más municipios. El artículo 7 de la LEEPA, menciona de igual manera la intervención del ámbito estatal para resguardar el equilibrio ecológico entre dos o más municipios.

VI. DISCUSIONES

Después de analizar las leyes, reglamentos y normas que rigen los cambios de uso de suelo en los tres niveles de gobierno, se puede decir que el punto medular de este proceso lo constituye el municipio, ya que es el facultado para ejercer las autorizaciones de los cambios de uso de suelo. Sin embargo y de acuerdo al análisis administrativo, no se toman en consideración todo el marco legal al que debe sujetarse dicho cambio de uso, ni se apropia de los conocimientos necesarios para sustentar su autorización de acuerdo a la ley, ocasionando con esto que después de una autorización bien o mal ejercida se proceda por parte de las dependencias estatales y federales del ramo a justificar y/o a condicionar la aprobación del proyecto. Se busca así que el fraccionamiento se desarrolle lo más apegado a la normatividad vigente. En materia ambiental las leyes que rigen el cambio de uso del suelo, contemplan el impacto ambiental de manera general, pero no especifican el impacto hidrológico, ni que medidas deben de considerarse para mitigar su efectos negativos, los aspectos hidráulicos son considerados de manera sectorial, los municipios sólo reciben las validaciones de los estudios hidrológicos, sin que éstos sean insumos para una base de datos que se utilice en la elaboración de los planes de desarrollo urbano y ambiental.

Para mitigar los efectos del impacto hidrológico en la mayoría de los casos se procede a mitigar el problema con ampliar las obras de drenaje pluvial, incrementar la capacidad de los bordos de regulación y control de avenidas; es decir, con medidas estructurales sin considerar que existen otras medidas no estructurales. Estas deben incluirse en la actualización o modificación del marco legal existente. Para que logre el equilibrio entre el crecimiento de las ciudades y el medio ambiente. El marco federal y estatal vigente otorga los elementos necesarios, únicamente se necesita su aplicación efectiva y continua en todos los niveles de gobierno, así como la aplicación estricta del Plan de Ordenamiento Ecológico Territorial Federal y Estatal y la elaboración de los planes de desarrollo municipal deben considerar no sólo su territorio, sino también más allá de sus límites donde se ocasionen impactos.

Con respecto a la interacción entre las instituciones del ramo y los municipios, se establece una comunicación a través de la Dirección de Desarrollo Urbano y Obras Públicas del Municipio, misma que es la que elabora el dictamen de cada expediente. Otro aspecto importante que se observa, en cuanto a la ley federal y estatal de la LGEEPA, es que en uno de sus artículos, el objeto de la supervisión que se establece entre las leyes y el reglamento municipal no es el mismo, es decir, cuando se citan a las obras de mitigación en el artículo 98 de la LGEEPA y 64 de la LEEPA se menciona la supervisión de las obras de mitigación que se desarrollan en correspondencia a la manifestación de impacto ambiental y en el reglamento municipal, artículo 173 se cita únicamente la supervisión de las obras por parte del municipio sin especificar si también de trata de obras de mitigación. En el proceso administrativo de Cumbres del Cimatario se detecta que el municipio actúa sólo como receptor de las validaciones técnicas de cada una de las dependencias del ramo, teniendo como objetivo, la justificación de la autorización de cambio de uso de suelo que con anticipación fue ejecutada, esto debido a la diferencia de tiempo. Se observa a través de la manifestación de impacto ambiental aprobada, que el municipio de Huimilpan no cuenta con un plan de desarrollo urbano y medio ambiente de todo su territorio, por lo que resulta accesible a toda solicitud de cambio de uso de suelo, ya que no se tiene una base que lo regule, así mismo en ninguno de los documentos hidrológicos elaborados para cumbres se toman en cuenta los efectos acumulativos, es decir, la suma de los impactos hidrológicos en la unidad de estudio o de áreas aledañas que se están urbanizando y poniendo en riesgo la infraestructura hidráulica aguas abajo.

VII. CONCLUSIONES

No se cumple la hipótesis, es decir en el proceso de autorización del proyecto Cumbres del Cimatarío, la normatividad vigente no considera los criterios suficientes que minimizan el impacto hidrológico aguas abajo derivado de un cambio de uso de suelo.

Conclusiones marco legal

Derivado de todo el análisis anterior se concluye que el impacto hidrológico, no está debidamente contemplado dentro del marco legal vigente.

Las medidas de mitigación están contempladas en las leyes de manera general, no existe especificación de las mismas en lo relacionado al impacto hidrológico, ni como se deben de desarrollar, ni el objetivo que se pretende.

Las relaciones entre dependencias existe de manera sectorial, cada una otorga su validación conforme recibe el expediente, manifestando de esta manera que la ley la aplica cada dependencia conforme sea su inferencia en el proyecto, sin analizar todos los elementos que lo integran.

Conclusiones hidrológicas

Actualmente el crecimiento de las ciudades es permanente, y cada vez se construyen más fraccionamientos que convierten amplias zonas de terrenos ejidales con vegetación natural en nuevas zonas urbanizadas y pavimentadas, los cambios de uso del suelo generados tienen además otra característica, se están llevando a cabo en las microcuencas que rodean las ciudades importantes y en terrenos con pendientes que favorecen el paisaje visual. Estas condiciones están provocando un cambio en el comportamiento de los componentes del ciclo hidrológico.

La urbanización afecta el ciclo del agua debido a que incrementa el volumen y la velocidad del escurrimiento superficial en el área afectada, tal incremento provoca una mayor intensidad del escurrimiento en el área urbana localizada aguas abajo. Es común que los planes de desarrollo de las ciudades no estén siendo asociados con los resultados de estudios hidrológicos que los orienten, las consecuencias no son solo hidrológicas, sino que también conllevan costos sociales, ambientales y económicos. Se constata además que esta falta de planeación hidráulica/hidrológica en los planes de desarrollo provoca afectaciones que son y serán cada vez más recurrentes y de magnitudes cada vez mayor.

Por lo que se refiere al aspecto hidrológico, se ha podido constatar que la modificación de los usos del suelo en la zona Centro-Sur de la ciudad de Querétaro, conlleva los siguientes impactos,

1. Para un período de retorno de 25 años, un incremento de $5 \text{ m}^3/\text{s}$ en las magnitudes del gasto pico de escurrimiento. Esto representa, en el mejor de los casos (método racional), una alteración del 18% con respecto a las condiciones naturales de escurrimiento.
2. Basado en el análisis de tormentas representativas, la afectación anterior significa que para una tormenta de 40 minutos de duración y 68 mm/h de intensidad, la unidad de escurrimiento del arroyo Tángano drena $21,164 \text{ m}^3$ más como consecuencia de la urbanización, lo que representa un 30% más con respecto a las condiciones naturales.
3. Como consecuencia de la impermeabilización del suelo, se deja de infiltrar en promedio cada año, una lámina de 7 mm , lo que representa un volumen de $24,500 \text{ m}^3$ cada año.

Si bien, con este período de retorno (25 años), estas afectaciones no ponen en riesgo la estructura del Bordo Tangano II, no resulta lo mismo cuando se presente una avenida de 100 años de período de retorno o mayor, ya que los valores del gasto pico se encontrarían muy cerca de la capacidad hidráulica máxima de esta estructura. De presentarse estas condiciones extremas, se elevaría el riesgo de sufrir inundaciones en la zona sur de la ciudad. Las obras

pluviales que se han estado realizando en los últimos meses ayudarán sin duda a la mitigación de estos riesgos, pero los costos que esta infraestructura acarrea no se trasladan a quien genera los impactos.

La población urbana crece entre dos y tres veces más de prisa que la población rural. Con toda probabilidad esta tendencia se mantendrá en las próximas décadas. Hoy en día, las áreas urbanas se consideran como un motor de la economía global. Esta fue una de las conclusiones de la conferencia Hábitat II de Estambul, en junio de 1996. Es una realidad aceptada que el crecimiento de las ciudades no se puede detener. En vez de ello, el desafío consiste en controlar el crecimiento urbano de tal modo que se traduzca en crecimiento económico y en un ambiente satisfactorio. En este contexto, la conservación de las áreas ecológicas de alto valor ambiental debiera ser una prioridad de las políticas públicas y de los tomadores de decisión.

Las soluciones técnicas a los problemas de escurrimiento de aguas pluviales en las zonas urbanas han evolucionado dramáticamente. A principios del siglo XX no se hacía distinción entre las aguas de lluvia y las llamadas aguas residuales, la solución consistía en desprenderse de ellas rápidamente, capturándolas y evacuándolas hacia aguas abajo. En muchos casos se desarrollaron soluciones combinadas, mezclando las aguas pluviales con las residuales y extraerlas en el mismo sistema de drenaje. Con este enfoque, se hizo práctica común emplear soluciones basadas en colectores enterrados que permiten el aprovechamiento de la superficie del terreno para otros fines. Este enfoque, orientado a combatir los síntomas y no las causas, ha demostrado poco éxito con el crecimiento de las ciudades, generando grandes problemas aguas abajo de ellas, con muchas soluciones obsoletas e incapaces de hacerse cargo del crecimiento urbano, ni de la contaminación de las aguas pluviales y dificultando el tratamiento de las aguas servidas.

Hoy, se reconoce la necesidad de atender más bien las causas que las consecuencias, este cambio de paradigma requiere también un cambio de mentalidad en los tomadores de decisión. Con este enfoque es necesario controlar el volumen, los gastos máximos y la contaminación en el lugar que se

generan y no aguas abajo donde se manifiestan los síntomas. Es imprescindible minimizar el cambio en los patrones hidrológicos y reducir al máximo las externalidades negativas del proceso de urbanización.

Un principio fundamental para evitar problemas asociados con los fenómenos de urbanización es no atentar con los patrones y regímenes de los fenómenos naturales, la autorización de los cambios de uso del suelo para favorecer el crecimiento urbano tendría que apegarse estrictamente al principio de impacto hidrológico cero. Antes que proceder con autorizaciones para la urbanización de zonas aledañas a cauces de ríos, con pendientes elevadas y cubiertas con una masa arbórea, cuya función natural es de servir como esponja para la retención de escurrimientos, las autoridades deben priorizar la manutención y uso de estas regiones, de manera que no sólo cumplan con su función habitual de drenaje y almacenamiento temporal de las aguas de lluvia, si no que también se incorporen como parte de la infraestructura urbana de uso público, destinándolas como parques naturales, área de recreación, o reserva paisajística. La autorización del cambio de uso del suelo en las zonas aledañas de la reserva del Cimatario, es un claro ejemplo de lo que no se debe hacer. Se ha privilegiado el paisaje visual y el beneficio económico, como criterios para la ubicación de un nuevo fraccionamiento, en una zona cuya función natural es la de amortiguar los escurrimientos y generar recarga hacia el acuífero. Se amplía la mancha urbana en terrenos con pendientes de 25%, removiendo una vegetación en excelente estado de conservación y cuyos servicios hidrológicos no son restituidos de ninguna forma. Con estas autorizaciones los problemas no solo se limitan a la pérdida de un paisaje natural y a las modificaciones del patrón de escurrimientos e infiltración; más aún, los impactos se transfieren aguas abajo, sin compensación alguna y ocasionando un costo social y económico en un municipio distinto al de la autorización.

a) *Ningún usuario urbano debe ampliar la crecida natural*: las crecidas naturales no pueden ser aumentadas por los que ocupan la cuenca, sea un simple loteo u otras obras derivadas del ambiente urbano. Esto se aplica al relleno de zonas bajas, a la impermeabilización de las superficies, a la construcción de calles y avenidas, etc.

b) *Los impactos hidrológicos de la urbanización no deben ser transferidos*: las obras y medidas a implementar no pueden reducir el impacto de un área en deterioro de otra(s). En caso que ello ocurra se deben prever medidas compensatorias.

c) *Las aguas pluviales requieren espacio*: una vez que el agua de lluvia alcanza el suelo la misma escurrirá, exista o no un sistema de drenaje adecuado. Siempre que se elimine el almacenamiento natural sin que se adopten medidas compensatorias, el volumen eliminado será ocupado en otro lugar. Canales y conductos desplazan la necesidad de espacio y deben ser proyectados teniendo presente este hecho. En otras palabras, el problema de drenaje urbano es, esencialmente, un problema de asignación de espacio, por lo que es indispensable preservar áreas o sectores para el manejo de las aguas.

d) *Las áreas bajas aledañas a los cursos de agua, delineadas por el escurrimiento, son parte de los cursos*: toda ocupación que se realice en estas áreas originará posteriormente la adopción de medidas compensatorias onerosas. La preservación de estas áreas de inundación natural es invariablemente la solución más barata para los problemas de inundación. Adicionalmente ofrece otras ventajas colaterales dentro del espacio urbano como creación de áreas verdes, oportunidades de recreación, preservación de los ecosistemas, etc

e) *La solución de los problemas debe involucrar la adopción de medidas estructurales y no estructurales*: las medidas estructurales implican la alteración del medio físico a través de obras de conducción y regulación. Las medidas no estructurales presuponen una convivencia razonable de la población con los problemas.

VIII. RECOMENDACIONES

Con base en la problemática, la revisión bibliográfica, resultados obtenidos del impacto hidrológico del fraccionamiento Cumbres del Cimatarío y de la ambigüedad en la aplicación de las leyes que enmarcan un cambio de uso del suelo derivado de la falta de precisión en las mismas en cuanto al impacto hidrológico, así como a la interpretación particular de quienes las aplican y para contribuir, de alguna manera a la organización y correcta aplicación de las leyes y reglamentos que enmarcan los cambios de uso del suelo y tomando como punto de inicio el Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental en su artículo 44, que hace referencia que al evaluar las manifestaciones de impacto ambiental la Secretaría deberá considerar los posibles efectos de las obras o actividades a desarrollarse en el o los ecosistemas de que se trate, tomando en cuenta el conjunto de elementos que lo conforman y no únicamente los recursos que fuesen objeto de afectación.

En el artículo 9 del citado reglamento, los promoventes deberán presentar ante la Secretaría una manifestación de impacto ambiental, en la modalidad que corresponda, para que ésta realice la evaluación del proyecto de la obra o actividad respecto de la que se solicita autorización, por lo anterior se realiza la propuesta de anexar en la información que deberá contener la manifestación de impacto ambiental modalidad particular, artículo 12 del mismo reglamento fracción VI en las medidas preventivas y de mitigación de los impactos ambientales el concepto de impacto hidrológico cero, es decir que en las obras de mitigación a realizarse para minimizar el proceso de urbanización los promoventes deberán verificar que el pico del nuevo hidrograma generado en el cambio de uso de suelo autorizado no debe superar al hidrograma antecedente con la aplicación de medidas estructurales y/o no estructurales, situación que dará solución al problema en el lugar justo donde se inicia y no donde se presentan las consecuencias.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agenda 21. Universidad Blas Pascal. 2001. Argentina. Documento en línea 19 de Septiembre (2004). Disponible en:

http://www.ubp.edu.ar/todoambiente/agenda_21/Agenda21gobiernos.htm

Baltazar R. J.O., Martínez Y Díaz M. y Hernández S. L.G. 2004. Guía de Plantas Comunes del Parque Nacional “El Cimatario” y sus Alrededores. Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro.

Bazant J. 2001. Lineamientos para el Ordenamiento Territorial de las Periferias Urbanas de la Ciudad de México. CIEAP/UAEM. Papeles de Población No. 27.

Breña P. A. F. y M. A Jacobo V. 2005. Principios y Fundamentos de hidrología Superficial. Universidad Autónoma Metropolitana. División de Ciencias Básicas e Ingeniería. Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica.

Campos A. D. F. 1998. Procesos del Ciclo Hidrológico. Universidad Autónoma del San Luis Potosí, Facultad de Ingeniería. San Luis Potosí, S.L.P., México, 1998. Tercera Reimpresión.

Cantú S. I. y González R. H. Pérdida por infiltración de lluvia en tres especies de matorral submontano. Universidad Autónoma de Nuevo León. Marzo 2005. Vol. VII No.1.

CNA, 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-011 Para el cálculo de la disponibilidad de agua en cuencas. Diario oficial de la federación, Abril, 2002. Comisión Nacional del Agua, México.

CEPAL 1997. Ciudades para un Futuro más sostenible. Documento en Línea 18 de Agosto 2004. Disponible en:

<http://habitat.aq.upm.es/iah/cepal/a008.html>.

Cundom G. y Gutiérrez G. 2001. Impacto Cero en el Drenaje Pluvial Urbano. Universidad Nacional del Nordeste, Chaco Argentina. Documento en Línea 22 de Septiembre 2004.

Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Título Quinto, De los Estados de la Federación y del Distrito Federal, Artículo 115, Párrafo V.

Chavarri Velarde E., Curso IA-4026; Hidrología Aplicada: Clase VIII :Infiltración, Universidad Nacional Agraria La Molina.

Depettris C. A. y Pilar J. V. 2003. Uso de Medidas no estructurales para controlar el aumento de las áreas Impermeables en la Ciudad de Resistencia, Argentina. Documento en Línea el 22 de Septiembre 2004.

Estudio técnico justificativo para cambio de utilización de terrenos forestales a uso habitacional residencial en el predio denominado "Cumbres del Cimatario", Municipio de Huimilpan, Querétaro. Junio de 2002.

Fernández L. B., Rivera P. y J. P. Montt M. 2004. Drenaje de Aguas Lluvia Urbanas en Zonas Semiáridas. ARQ, no. 57 Documento en Línea 18 de Septiembre 2004. Santiago de Chile. Disponible en:

http://www.scielo.php?pid=S0717_69962064005700017&script=sci_arttext&tlnq=es

Fernández L. B., Rivera P. y J. P. Montt M. 2003. Con Bajo Impacto Hidrológico Ambiental: Uso de Pavimentos Permeables. Pontificia Universidad Católica de Chile. Revista BIT 54, Noviembre 2003. Documento en Línea 22 de Septiembre 2004.

Fernández M. A. 1996. Ciudades en Riesgo. Degradación Ambiental, Riesgos Urbanos y Desastres. Documento en Línea 18 de Agosto 2004.

Disponible en:

http://www.desenredado.org./public/libros/1996/cer/CER_cap09_002_ene_7_2003.pdf

Girot P. O. 2004. La Gestión Ambiental del Riesgo: Retos y Perspectivas. Lanzamiento del Informe Mundial de Reducción de Desastres: Un Reto para el Desarrollo. Quito, Ecuador Febrero 2004. Documento en Línea 23 de Septiembre 2004-09-23. Disponible en:

<http://www.pnud.org.ec/Publicaciones/RDR2004/panel%202/Pgirot.ppt>

Gobierno del Estado de México 2001. “La construcción de la sustentabilidad y la gestión pública en grandes ciudades de América Latina y el Caribe”. Feria Ambiental Metropolitana. Municipio de Neucalpan Octubre 2001. Documento en Línea 21 de Septiembre 2004. Disponible en:

http://www.rolac.unep.mx/redes/Archivos_PDF/autoridades1_completo.pdf.

Hager M. C. 2003. Low-level approaches to stormwater management are gaining ground. Stormwater: The journal of surface water Quality Professionals, Vol. 4 (1), January / February, 2003. Documento en Línea el 18 de Septiembre, 2004. Disponible en:

<http://www.lowimpactdevelopment.org/publication.htm>.

Huk J. y Mervanti J. 1999. Medidas Estructurales y No estructurales de Control Hidrológico en las Fuentes para el Drenaje Urbano en una Cuenca de Posadas, Misiones, Argentina. Universidad Nacional de Misiones. Argentina. Documento en Línea 16 de Septiembre 2004. Disponible en:

http://www1.unne.edu.ar/cyt/tecnologicas/t_035.pdf.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), 1986. Síntesis Geográfica, Nomenclator y Anexo Cartográfico del estado de Querétaro.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI)1997. Cuaderno Estadístico Municipal, Querétaro.

Instituto Mexicano del Transporte (IMT). Caracterización de Suelos y Control espacial por medio de los Sistemas de Información Geográfica; caso Valle de Querétaro. Publicación Técnica No. 203, San Fandila Querétaro, 2002.

Documento en línea 13 de Julio 2004.

<http://www.imt.mx.publicaciones.@imt.mx>

Ken Bohuslav, P.E., Hydraulic Design Manual , March 2, 2004. Descargado de página de internet: <http://manuals.dot.state.tx.us/dynaweb/colbridg/hyd/>.

López C. F. 1998. Restauración Hidrológica Forestal de Cuencas y Control de la Erosión. Ingeniería Medioambiental. 2da. Edición. Coedición TRAGSA, TRAGSATEC; Ministerio del Medio Ambiente, Ediciones MUNDI-PRENSA.

La sombra de Arteaga. Periódico Oficial del Gobierno del Estado Libre y Soberano de Querétaro de Arteaga. Fundado en el año de 1867. Tomo CXXXV, 7 de Julio de 2002, No. 26

Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, Publicada el 28 de Enero de 1988, con modificaciones publicadas en el Diario Oficial de La Federación de Fecha 7 de Enero 2000.

Ley Estatal del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Modificada y Publicada el 20 de Octubre del 2000 en el Diario oficial La Sombra de Arteaga. Gobierno del Estado de Querétaro Arteaga.

Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable

Ley Forestal. SEMARNAT. Diario Oficial

Ley General de Asentamientos Humanos. Diario Oficial de la Federación el 21 de Julio de 1993.

Ley Orgánica Municipal del Estado de Querétaro. La Sombra de Arteaga 25 de Mayo de 2001.

Manifestación de Impacto Ambiental modalidad particular que se elabora para el cambio de utilización de terrenos forestales a uso habitacional residencial en el predio denominado “Cumbres del Cimatario”, del Municipio de Huimilpan, Qro. Junio de 2002.

Mardones M. y Vidal C. 2001. La zonificación y evaluación de los riesgos naturales de tipo geomorfológico: un instrumento para la planificación urbana en la ciudad de Concepción. Santiago de Chile. 2001, Vol. 27, No. 81. Documento en Línea 18 de Septiembre 2004. Disponible en:
http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250_7161200100810006&lng=es&nrm=1507.

Nueva Legislación Agraria. Reglamento de la Ley Agraria en Materia de Certificación de Derechos Ejidales y Titulación de Solares. Procuraduría Agraria, Noviembre 1993.

Redondo J. 2001. La Ordenación del Territorio, Infraestructura y Transportes y Política Energética en Gipuzkoa, España. Documento en Línea 18 de Septiembre 2004. Disponible en:
http://www.g2020.net/docum/G2020_Territorio_Rekondo_es.pdf

Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Ordenamiento Ecológico. Diario Oficial de la Federación 8 de Agosto de 2003.

Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental

Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Áreas Naturales Protegidas

Reglamento de la Ley Forestal. 23 de Septiembre de 1998. Poder Ejecutivo Federal.

Reglamento de Construcción para el Municipio de Querétaro

Reglamento de Policía y Gobierno Municipal. Municipio de Huimilpan.
Gobierno del Estado de Querétaro.

Rzedowski J., 1981. Vegetación de México. Editorial LIMUSA, México.

Sánchez F. J. 2004. Hidrología Superficial III Relación Precipitación-Escorrentía.
Universidad de Salamanca, 11 pp. Disponible en:
En: <http://web.usal.es/javisan/hidro>

Scornik M. y V. S. Pelli. 2003. La Problemática de los asentamientos humanos
en las diferentes zonas de vulnerabilidad hídrica del Gran Resistencia y su
enciadre legal – normativo. 2003. El 11 de Octubre 2005.
Disponible en:
<http://www1.unne.edu.ar/cyt/2003/comunicaciones/07-Tecnologicas/T-018.pdf>.

SCT-México; Estudios Hidráulico-Hidrológico para Puentes. Normas
M.PRY.CAR.1.06.004/00. Tomado de página de Internet:
<http://normas.imt.mx/NORMAS>.

SEDESOL 2004. Proceso de Urbanización y su Impacto Ambiental.
Documento Final. Secretaría de Desarrollo Social. Documento en Línea 17 de
Septiembre 2004. Disponible en:
http://www.conafovi.gob.mx/que%20hacemos/suelo/InformefinalSedesolRev2_Final.pdf.

SEDESU 2004. Programa Estatal de Vivienda, Gobierno del Estado de
Querétaro. Resumen Ejecutivo del Programa Estatal de Vivienda. 64 pág.

Springall 1986. Hidrología. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de
México.

Weinstein N. 2003. Low- Impact Development, a New Approach to Stormwater Management. Turning the tide, South Carolina Department of health and Environmental Control, Abril 2003. Documento en Línea el 18 de Septiembre , 2004, Disponible en:

<http://www.lowimpactdevelopment.org/publication.htm>.

Zamudio, R.S., Rezendowski, J., Carranza, G.E. y Calderón, R. G. 1992. La Vegetación del Estado de Querétaro. Instituto de Ecología A.C. Centro Regional del Bajío.