



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ingeniería

**Relaciones de sistemas de alcantarillado con
cauces y barrancas en la ciudad de
Cuernavaca, Morelos**

Tesis que para obtener el título de

Ingeniero Civil

Presenta

David Carreño Nicolás

Director de Tesis

Mtro. Enrique Díaz Mora

Sinodales

M.I Julio Octavio Lozoya Corrales

Ing. Alberto Coria Ilizaliturri

M.I Carlos Manuel Menéndez Martínez

M.I Juan Antonio del Valle Flores



Ciudad Universitaria, México D.F

Abril de 2011



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Para David Alejandro

Agradecimientos:

Este trabajo de investigación no hubiera sido posible sin el apoyo incondicional, paciencia interminable y lucha ante la adversidad del Maestro Enrique Díaz Mora, Investigador del Instituto de Ingeniería de la UNAM, quien me brindó la oportunidad de formar parte del Grupo de Investigación de Urbanismo Transdisciplinario en coordinación con el Posgrado de Urbanismo. Mi agradecimiento a usted es de por vida.

Así también un agradecimiento especial a la Maestra María Isabel Saro, por darse un tiempo para revisar y emitir valiosas observaciones y recomendaciones a este trabajo de investigación aún en condiciones de extrema adversidad.

A mi esposa Lucelly, quien me ha acompañado en duros embates de la vida y que con paciencia y apoyo, ha sacrificado tiempos y momentos familiares para permitirme la culminación de este documento.

A mi señora madre, Dolores Nicolás, en agradecimiento a su encomiable esfuerzo desde que me gestó en su vientre, su amor y la educación que me proporcionó. Someto a ella este trabajo como un tributo. Esta Tesis es tuya. Te ama tu hijo David.

A mi abuelita Eladia, apoyo de toda la vida, madre, consejera y amiga, quien con amor estuvo conmigo en la bonanza y en la enfermedad, y que con sus extraordinarias atenciones facilitaron mi transcurso por los estudios de Licenciatura.

A mi tío el Lic. Humberto Nicolás, hombre recto y honorable, cuyo apoyo incondicional, constante, valioso e insustituible ha resultado fundamental en mi vida. Gran parte de cada uno de mis logros también ha sido tuyo, Humberto.

Al resto de mi familia, por todas sus porras y estimulación para concluir este documento; Soledad Nicolás, Pilar Caballero, César Martínez, Pedro Martínez, Emiliano Nicolás, Alejandra Nicolás, Raúl Mendoza, Raúl Mendoza Jnr, Claudia Mendoza, Ana Laura Mendoza y mi madrina Evy Elbjorn.

Finalmente, al Instituto de Ingeniería en el periodo bajo la dirección del Dr. Sergio Alcocer por el apoyo de una beca. A todos y cada uno de mis profesores de la Facultad de Ingeniería, quienes me proporcionaron los conocimientos necesarios para mi formación como profesionista; a mi amada UNAM quien me hizo ingeniero.

David Carreño Nicolás

Abril de 2011

Contenido

Agradecimientos.....	3
Introducción.....	6
<i>Capítulo 1: Ciudad, objeto de estudio interdisciplinario. Urbanismo e ingeniería civil...</i>	8
1.1 Perspectiva transdisciplinaria de la ingeniería civil.....	8
1.2 Breve visión histórica del urbanismo.....	12
1.3 El papel de la ingeniería civil en el urbanismo.....	21
1.4 La ciudad como objeto de estudio.....	24
<i>Capítulo 2: Monografía de la ciudad de Cuernavaca.....</i>	29
2.1 Contextualización del municipio de Cuernavaca.....	29
2.2 Características físicas del municipio.....	31
2.3 Zonificación primaria del uso de suelo y tenencia de la tierra.....	33
2.4 Población y vivienda.....	35
2.5 Comportamiento histórico del área urbana.....	42
2.6 Proceso de urbanización del municipio de Cuernavaca.....	52
2.7 Problemática urbana.....	55
<i>Capítulo 3: Sistemas de alcantarillado: ingeniería y tecnología.....</i>	56
3.1 Aguas residuales: definición y características.....	56
3.2 Alcantarillado.....	64
3.3 Tratamiento de las aguas residuales.....	76
3.4 Tecnologías alternas a los sistemas de alcantarillado sanitario.....	88
<i>Capítulo 4. Las barrancas como elementos de valor urbano–ambiental de la ciudad de Cuernavaca.....</i>	96
4.1 Las barrancas como elementos físicos.....	96
4.2 Origen y descripción de las barrancas de Cuernavaca.....	98
4.3 Las barrancas como elementos de valor ambiental y urbano en Cuernavaca.....	103

<i>Capítulo 5</i> Caracterización de los sistemas de alcantarillado del municipio de Cuernavaca.....	107
5.1 Breve recuento de la gestión del agua en la República Mexicana.....	107
5.2 Comisión Estatal de Agua del Estado de Morelos y Organismo Operador del Municipio de Cuernavaca.....	109
5.3 Contextualización de la descarga de aguas residuales en Cuernavaca en el ámbito Estatal y Nacional.....	113
5.4 Caracterización del alcantarillado del municipio de Cuernavaca.....	116
<i>Capítulo 6</i> Sistemas de alcantarillado y barrancas en el municipio de Cuernavaca: su relación como problema de investigación.....	141
6.1 Argumentos para establecer a esta relación como problemática.....	141
6.2 La Comisión Nacional del agua (CNA) como actor a nivel federal de la problemática, sus posiciones y acciones.....	144
6.3 La Secretaría de Desarrollo Urbano, Obras y Servicios Públicos Municipales y Medio Ambiente de Cuernavaca, como actor a nivel municipal de la problemática, sus posiciones y acciones.....	148
6.4 Plan estratégico para la recuperación ambiental de la cuenca del río Apatlaco: esfuerzo multi-institucional.....	153
6.5 Actores complementarios en la problemática: instituciones académicas, Organizaciones No Gubernamentales y Asociaciones Civiles.....	164
6.6 Análisis y propuesta de soluciones en la perspectiva transdisciplinaria y urbanística de la ingeniería civil.....	166
Conclusiones.....	168
Referencias.....	170

Introducción

La necesidad de satisfacer los requerimientos fundamentales de los seres humanos — específicamente los congregados en medios urbanos— ha provocado alteraciones en el entorno natural que lo dañan y lo destruyen; procesos que indican el poco o nulo *valor* que se le concede a la naturaleza más allá de una simple fuente de recursos. Dicha destrucción del entorno natural, desde de una visión antropocéntrica, tiene consecuencias nocivas en el *sapiens*, pues degrada su ambiente, reduciendo por ende, su calidad de vida.

El medio ambiente de la ciudad de Cuernavaca ha sido objeto de la destrucción a lo largo de más de un siglo en la medida que ha sido urbanizada; en específico, sus cauces y barrancas, han sido contaminadas y en otros casos destruidas. Lo anterior tiene particular trascendencia pues propongo a las barrancas como elementos naturales con *valor ambiental*, pero también con *valor urbano*. Su contaminación y destrucción obedecen a múltiples factores; se trata en este documento uno de ellos: la *relación de los sistemas de alcantarillado de la ciudad con las barrancas*, debido a que se encuentra lejos de contribuir a preservar un medio ambiente en armonía con los habitantes, pues la insuficiente cobertura e inadecuada operación de estos sistemas, provocan el vertimiento de aguas residuales crudas a las barrancas, tanto de viviendas de manera directa, como de los sistemas mismos, contaminando y destruyendo las barrancas y degradando su entorno; constituyéndose entonces dicha relación como *conflictiva y compleja*.

Debido a la gravedad de las consecuencias de la relación problemática y a que en un gran sector de la población se ha generado en los últimos años preocupación por el deterioro de su entorno, se ha decidido abordar, bajo una perspectiva transdisciplinaria de la ingeniería civil en el marco del urbanismo, dicha relación como objeto de investigación en este documento, como parte de los trabajos que he desarrollado en el ámbito del grupo Urbanismo Transdisciplinario encabezado por el Mtro Enrique Díaz Mora en el Instituto de Ingeniería en coordinación con el Posgrado de Urbanismo de la UNAM.

En este trabajo de investigación se presenta inicialmente, en el capítulo primero, al ingeniero civil y el ejercicio transdisciplinario dentro del urbanismo, del que se esboza su breve historia, para

tomar a la ciudad como objeto de estudio; particularizando, en el segundo capítulo se caracteriza al municipio de Cuernavaca y su ciudad en los términos estrictamente necesarios para el abordaje de la problemática tratada. Es necesario tratar el marco teórico-práctico de los sistemas de alcantarillado y tratamiento, por lo que en el capítulo tercero se incluye información sobre la naturaleza de estos sistemas como producto de la ingeniería y su aplicación. En el capítulo cuarto se ofrecen datos y características particulares de las barrancas de Cuernavaca y se plantean como elementos de valor urbano-ambiental. Con los elementos anteriores, en el capítulo quinto se constituye un informe general de las condiciones y cobertura de los sistemas de alcantarillado del municipio así como se presenta a su organismo operador y brevemente se enmarca a la gestión de los servicios de agua potable y saneamiento en el ámbito nacional, consecuentemente, en el capítulo sexto, se plantea la relación de ambos elementos —barrancas y sistemas de alcantarillado— como un problema de investigación transdisciplinaria, abordable por distintos actores, los planes proyectados y en ejecución como producto de este planteamiento como un problema, y la visión y propuestas bajo la perspectiva de ingeniero civil en el ámbito del urbanismo, como parte fundamental de un ejercicio transdisciplinario para coadyuvar a eliminar la cualidad problemática de la relación de sistemas de alcantarillado con cauces y barrancas en Cuernavaca.

Capítulo 1 Ciudad, objeto de estudio interdisciplinario. Urbanismo e ingeniería civil

El hombre —como ser racional— se ha sobrepuesto a todas las adversidades a las que se ha enfrentado a lo largo de su existencia, mediante la acumulación y desarrollo de conocimientos, así como haciendo uso de su ingenio. A partir de la razón, la combinación de ambos ingredientes provocó el nacimiento de la ingeniería, como una herramienta de supervivencia. La ingeniería civil en sus inicios permitió la construcción de caminos que facilitaron el comercio entre los pueblos, de canales y acueductos que proveyeron de agua apta para el consumo de los habitantes, de infraestructura que sin duda, más allá de una simple supervivencia, indujo desarrollo y por ende, bienestar para la humanidad. La esencia de la ingeniería civil es la transformación del medio en beneficio de la sociedad. Es por ello que al enfocar a la ciudad como objeto de estudio, la ingeniería civil cobra un papel trascendente en la práctica del urbanismo.

1.1 Perspectiva transdisciplinaria de la ingeniería civil

En la actualidad, un ingeniero civil es aquel profesionalista que posee y aplica conocimientos generales¹ de física, matemáticas y química, así como diversas disciplinas que constituyen su especialidad (geotecnia, estructuras, sistemas, hidráulica, ingeniería sanitaria y ambiental) y está capacitado para realizar los proyectos y las obras de infraestructura requeridas por la sociedad, con el empleo más conveniente de los recursos disponibles. Pero, el ingeniero no debe limitarse a diseñar y construir infraestructura, pues la ingeniería y los ingenieros no son ajenos a los problemas sociales de su tiempo. Es difícil concebir alguna actividad humana,

¹ Dichos conocimientos son en realidad, la base sólida necesaria para toda ingeniería.

donde no tenga incumbencia el ingeniero civil. Bajo esta acepción enfatizo la necesidad de un ejercicio *transdisciplinario* de la ingeniería civil, en relación con otras disciplinas de la ingeniería y otras áreas del conocimiento —urbanismo, en el caso del presente documento, como herramienta para la solución de problemas urbanos, específicamente de *la ciudad*.

Asumo el concepto de *transdisciplinariedad* que Mario Bunge²(2000) define cuando menciona que las alternativas para la unificación de las ciencias sociales fragmentadas tienen dos caminos, la reducción y la integración. La primera ha fracasado debido a la naturaleza poliforme de los hechos sociales; pero la integración tiene posibilidades de éxito. Esta integración es la transdisciplinariedad, que posee dos variantes: la *multidisciplinariedad* y la *interdisciplinariedad* (figura 1.1).

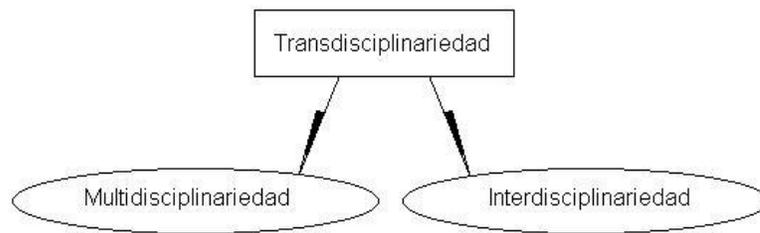


Fig 1.1 Transdisciplinariedad

La integración de las ciencias sociales debe ser de una manera que cada una no pierda profundidad, diversidad ni rigor; la multidisciplinariedad es entonces la *suma* de los campos de conocimiento hacia un objeto de estudio, y la interdisciplinariedad es la *intersección* de disciplinas, la cual eventualmente conduce a una interdisciplina. (figuras 1.2 y 1.3). Por su naturaleza multifacética, los hechos sociales se abordan mejor de modo multidisciplinario o interdisciplinario, pues como señala Bunge la sociedad «no es una colección desestructurada de individuos independientes, sino un supersistema de individuos interactuando». La ingeniería civil no es ajena a la sociedad; como señalé anteriormente, su objeto es en última instancia la satisfacción de necesidades sociales, de ahí que un ejercicio integral de la misma deba inexorablemente transgredir sus propios límites disciplinarios para constituir una ingeniería civil transdisciplinaria.

² Físico, filósofo, epistemólogo y humanista argentino, nacido en Buenos Aires, Argentina el 21 de septiembre de 1919.

El ingeniero civil debe ser capaz de planear, diseñar, construir, administrar, mantener y operar obras para el desarrollo urbano, rural, industrial, habitacional y, en general, de la infraestructura de un país, procurando el mejor aprovechamiento de los recursos materiales y financieros en beneficio de la sociedad. Para ello, necesita construir visiones integrales y soluciones globales en unión de profesionistas de otras áreas del conocimiento a través de equipos de trabajo *multidisciplinarios*.

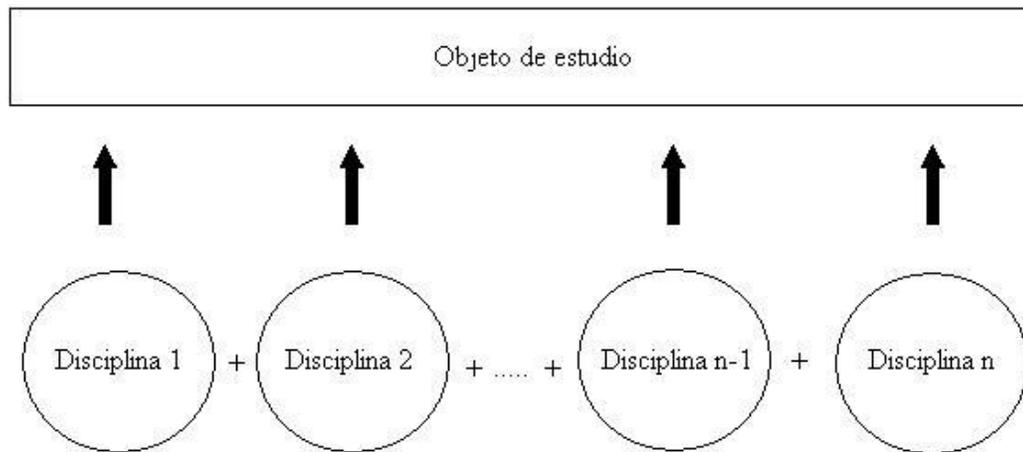


Fig 1.2 Multidisciplinarietà

La transgresión de los límites de las disciplinas básicas de la ingeniería para un abordaje más conveniente y completo de un problema suele conducir al desarrollo de *interdisciplinas*; por ejemplo, la ingeniería económica y de costos, que conlleva conocimientos técnicos — inherentes a las disciplinas de la ingeniería civil— aplicados al diseño de vías terrestres, edificaciones, presas; así como conocimientos para evaluar inversiones en construcción, operación y mantenimiento de infraestructura. Y, como el beneficio de un proyecto no es sólo financiero, sino también social, el ingeniero en su evaluación tiene que recurrir a otras áreas de conocimiento incorporando consideraciones de otras disciplinas como es la generación de empleos como indicador de desarrollo local, por citar un ejemplo. En este ejemplo se tiene que con base en dicha interdisciplina puede determinarse la factibilidad y conveniencia de un proyecto, o proyectos alternativos, de una manera integral, considerando aspectos técnicos de ingeniería y de rentabilidad financiera, así como impactos socio-económicos.

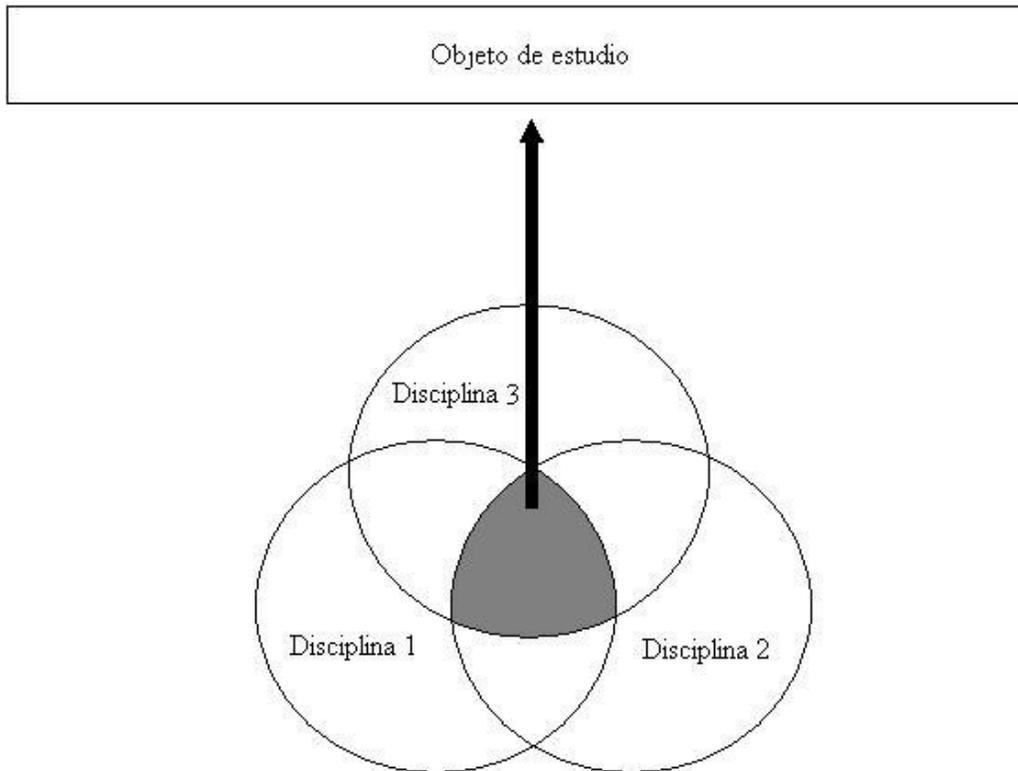


Fig 1.3 Interdisciplinarietà

En ese orden de ideas, me he propuesto promover el ejercicio *transdisciplinario* — multidisciplinario e interdisciplinario— de la ingeniería civil con aplicación al urbanismo. Conviene aclarar, sin embargo, que si bien para abordar problemas urbanos suele ser necesario el empleo de todas las disciplinas y especialidades de la ingeniería civil, dado el objeto de investigación particular que me ocupa, en el presente trabajo utilizo el marco teórico específico de las ingenierías sanitaria y ambiental, puesto que a ellas conciernen los estudios sobre generación, transporte, tratamiento y vertimiento de aguas residuales producto de la vida de las ciudades y los asentamientos humanos.

De manera general, puede decirse que el objeto de estudio de la ingeniería ambiental lo constituye la *contaminación del ambiente* como la consecuencia de las actividades antropogénicas que ocurren en el entorno, esencialmente en agua, suelo y aire; conociendo sus características y desarrollando métodos para su control y remoción, proponiendo soluciones a problemáticas ambientales. Químicos, físicos, biólogos e ingenieros de diversas disciplinas han contribuido a construir el marco teórico, métodos, técnicas y herramientas de esta

ingeniería, que por tanto, denomino como una interdisciplina. Por su parte, la ingeniería sanitaria —disciplina de la ingeniería civil— tiene por objeto el diseño, la construcción y la operación de obras de infraestructura que inciden en la forma de vida del ser humano en los ámbitos de la *conservación de la salud, el mejoramiento de su calidad de vida y la preservación del entorno natural*, como son los sistemas de agua potable, *alcantarillado*, diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales, así como instalaciones para el manejo y disposición de residuos sólidos.

Ambas ingenierías son complementarias, se auxilian, pues la sanitaria, en el ejercicio de su disciplina, necesita ineludiblemente conocer e interpretar la teoría y conceptos desarrollados por la ambiental, la cual por tanto, aporta elementos determinantes en el diseño y operación de la infraestructura antes mencionada. Es entonces que practicando una multidisciplina, logran satisfacer necesidades específicas del *sapiens* —dotación de agua potable, saneamiento, manejo de los residuos sólidos— preservando el entorno natural, y en general, el medio ambiente.

1.2 Breve visión histórica del urbanismo

Como punto de partida es necesario abordar dos términos que son empleados de manera frecuente en el presente trabajo: urbanización y urbanismo. El término *urbanización*, de manera simple es «la división de un terreno en manzanas y lotes, que requiera el trazo de una o más vías públicas, así como la ejecución de obras materiales que permitan la dotación de infraestructura, equipamiento y servicios urbanos en el espacio respectivo» (Aguilar 1998). Estas acciones en la base de los asentamientos humanos, implican inexorablemente una modificación del espacio original —el entorno natural— a un entorno artificial, un espacio antropizado. El inminente impacto al medio ambiente consiste en el irremediable reemplazo del suelo natural por suelo artificial (asfalto, concreto); el desalojo de las especies de flora y fauna nativas del área urbanizada; la emisión de contaminantes a la atmósfera, suelo y cuerpos acuíferos; entre otras consecuencias. En contraposición a la definición del Colegio Nacional de Jurisprudencia Urbanística CNJUR, conviene señalar que con frecuencia las acciones de urbanización no conllevan el aprovisionamiento de equipamiento y servicios urbanos; esta manera de urbanizar, frecuente en nuestro país, es consecuencia de factores sociales como la marginación, y pobreza, la insuficiencia en la oferta de hábitat. Como ejemplos se encuentran

zonas específicas de la zona de barrancas del Distrito Federal, — por mencionar la desaparecida Barranca del Muerto, la Barranca de Guadalupe— y también las barrancas de Cuernavaca.

La Real Academia Española (RAE) define el término *urbanismo* como: «Conjunto de conocimientos relativos a la planificación, desarrollo, reforma y ampliación de los edificios y espacios de las ciudades» y en una segunda acepción: «Organización u ordenación de dichos edificios y espacios». Françoise Choay (1976), quien ha realizado un amplio estudio filosófico e histórico acerca del urbanismo, afirma que «la palabra urbanismo es reciente»; esta autora refiere que «G. Bardet sitúa su aparición en el año 1910»³.

Según el urbanista Fagner Dantas (2003), el urbanismo se ha manifestado en tres etapas: la primera como una *simple intervención práctica* para resolver los problemas comunes e inmediatos de las ciudades, la segunda como un *idealismo-científico*, una forma de pensar la ciudad, y la tercera como una *práctica política*. Bajo la acepción de Choay se distinguen sólo dos etapas a las que denomina *preurbanismo* y *urbanismo*.

En la perspectiva de Dantas, la primera, surgida a raíz de la Revolución Industrial⁴, implicó un cambio radical en la forma de vivir en las ciudades, pues el nacimiento de la llamada *ciudad industrial* provocó una explosión urbana en los países incorporados al industrialismo. Esta explosión tuvo según este autor «un factor atractivo-urbano y otro repulsivo-campesino», que implicó un incremento en las necesidades de las ciudades, necesidades que fueron objeto del análisis y ocuparon el pensamiento de historiadores, sociólogos, economistas o políticos. La segunda etapa, la de idealismo-científico, engloba las etapas que Choay denomina preurbanismo y urbanismo; en la interpretación de Dantas, Françoise Choay considera que bajo sus dos formas, teórica y práctica, el urbanismo es patrimonio de *especialistas* «generalmente arquitectos». La investigadora señala que: «Mientras que, a lo largo de su historia, el preurbanismo estaba vinculado a una serie de ideas políticas, el urbanismo aparece despolitizado.» El urbanismo de las últimas décadas del Siglo

³ Choay (1976) afirma que «según G. Bardet (*L'urbanisme*, P.U.F., París 1959) pudo aparecer por primera vez en 1910 en el *Bulletin de la Société géographique de Neufchatel*, debida a la pluma de P. Clerget.» J.G. Bardet (1907 - 1989) fue arquitecto urbanista e historiador francés nombrado presidente de la Sociedad de Urbanismo de Francia y Presidente mundial del área de Urbanismo de las Naciones Unidas.

⁴ La Revolución Industrial fue un periodo histórico comprendido entre la segunda mitad del siglo XVIII y principios del XIX, donde primero en el Reino Unido y posteriormente en Europa, sufren un conjunto de transformaciones debido al reemplazo del medio de producción manual a industrial con la invención de la máquina de vapor.

XX, posterior a la obra de urbanismo de Choay es considerado por Dantas como una *práctica política*, donde intervienen el Estado y la Economía.

Para el sociólogo Artemio Baigorri (2003) el urbanismo surge a partir de la reflexión crítica de la forma de hacer ciudad, durante la etapa que Dantas clasifica como urbanismo Idealista-Científico y Choay como preurbanismo. Es destacable que estos tres autores no consideran a la planificación antigua⁵ en la concepción del urbanismo.

Como respuesta al desorden de la ciudad industrial, surgió una serie de propuestas de ordenaciones urbanas a escala imaginativa, en una dimensión utópica. En su obra, Choay distingue dos maneras de pensar la ciudad: la *progresista* y la *culturalista*. Ambas son consideradas por esta autora como modelos que constituyen un *preurbanismo*.

El modelo progresista, como su nombre lo indica, tiene como objetivo al hombre perfecto en progreso constante; para aspirar a dicha perfección, es necesario concebir al *individuo tipo*, independientemente de lugar, espacio y tiempo, lo que implica una *ordenación tipo* para la ciudad. Las características de ésta incluyen un bajo índice de mortalidad; agua, luz, y aire igualmente distribuidos para todos; una división del espacio urbano acorde con las funciones humanas, pero que a su vez favorezca la estética y también la funcionalidad. Las vías de comunicación, edificios y viviendas se constituyen con base en prototipos definidos; el *orden* de la ciudad progresista se expresa con una rigidez que elimina variantes y adaptaciones. Los principales pensadores de este modelo de reflexión urbana fueron Robert Owen (1771–1858) y Charles Fourier (1772–1837).

Para el modelo contrapuesto, denominado culturalista, el grupo humano es primero que el individuo; es decir, se piensa en la ciudad antes que en el individuo: En este modelo, el individuo es único por su particularidad y propia originalidad, no se concibe un individuo tipo. La ordenación del espacio es menos rigurosa, aunque para que posea una belleza cultural, debe tener ciertas determinaciones espaciales. Hay una fuerte crítica a la geometría de la ciudad, justificando que la asimetría es un signo de un orden orgánico, natural que rompe con la rigidez propuesta en el modelo progresista, así como también no hay prototipos para las edificaciones y viviendas. La ciudad culturalista está bien circunscrita en unos límites precisos e inspirados en las ciudades medievales, puesto que los pensadores de este modelo son

⁵ Fagner Dantas considera que sólo existió planificación en la Edad Antigua, Media y Renacentista, no incluida en la concepción de urbanismo, Françoise Choay determina que el antecedente del urbanismo es el preurbanismo a raíz de la Revolución Industrial y para Baigorri da inicio cuando nace la crítica a la ciudad industrial.

nostálgicos en su reflexión. Los autores que definieron esta manera de concebir a la ciudad son William Morris (1834-1896) y John Ruskin (1818-1900).

Friedrich Engels (1820-1895) y Karl Marx (1818-1883), si bien no tuvieron una trascendencia clara en el desarrollo del urbanismo, hicieron una fuerte crítica tanto a la ciudad industrial como a las corrientes de pensamiento englobadas en ambos modelos: para estos autores, no podía preverse el ordenamiento urbano antes de la toma del poder revolucionario, pues el perfil de un modelo de ciudad se dibujaría progresivamente con el desarrollo de la acción colectiva. Cabe señalar que en su interpretación, la ciudad es «el lugar de la historia», donde se desarrolla la burguesía, nace el proletariado y se lleva a cabo la revolución socialista que realiza al hombre universal. Esta visión queda plasmada en los escritos *Los principios del comunismo* (1847) y *Los problemas de la vivienda*, publicación contenida en la obra recopilatoria *Zur Wohnungsfrage*. (1887).

Las reflexiones y los modelos arriba comentados constituyen en interpretación de Choay un cimiento para el urbanismo, en el sentido de que en éste no sólo hay pensamiento utópico referido a la ciudad, sino que también está presente la práctica y son los especialistas los que lo llevan a cabo. La autora identifica tres formas de pensar y hacer ciudad en la etapa del urbanismo: el *nuevo modelo progresista*, el *nuevo modelo culturalista* y el *modelo naturalista*.

El nuevo modelo progresista, tiene su primera expresión fue la publicación de *Le cité industrielle* (1917) de Tony Garnier (1869-1948), a la corriente que bajo los mismos estatutos de su antecesora asumió la modernidad como idea clave en un intento de ordenación y soluciones utilitarias; el modelo progresista influyó fuertemente a los arquitectos de principios del siglo XX teniendo como una de sus consecuencias, la creación de la *Bauhaus* Alemana⁶ y los Congresos Internacionales de Arquitectura Moderna *CIAM*.

Los CIAM elaboraron la llamada *Carta de Atenas*, en la que menciona sobre la ciudad, lo siguiente:

La ciudad no es más que una parte del conjunto económico, social y político que constituye la región, la unidad administrativa raramente coincide con la unidad geográfica, esto es, con la región. La delimitación territorial administrativa de las ciudades fue arbitrariamente desde el principio o ha pasado a serlo posteriormente, cuando la aglomeración principal, a

⁶ La escuela Bauhaus fue fundada por el arquitecto Walter Gropius (1883-1969) en 1919, su objetivo era la síntesis de las artes y la industria, mediante la elaboración de normas y standards destinados a una producción en serie en las artes y la arquitectura, tratando de definir un solo estilo. Fue cerrada por los nazis en 1932.

consecuencia de su crecimiento, ha llegado a alcanzar a otros municipios, englobándolos a continuación, dentro de sí misma. Esta delimitación artificial se opone a una buena administración del nuevo conjunto. Pues, efectivamente, algunos municipios suburbanos han adquirido inesperadamente su valor, positivo o negativo, imprevisible ya sea por convertirse en barrios residenciales de lujo, ya por instalarse en ellos centros industriales intensos, ya por reunir a poblaciones obreras miserables.

En general, en esta carta se establece⁷ el tipo ideal del asentamiento humano bajo el marco de cuatro funciones fundamentales: habitar, trabajar, circular y cultivar cuerpo y espíritu. Así, la ciudad debe tener como característica principal una función eficaz, debe ser un lugar donde predomine la salud e la higiene, debe dotársele de grandes áreas verdes y construcciones verticales que permitan una alta densidad de habitantes en áreas reducidas; el modelo en cuestión manifiesta una aversión total a las vías de circulación a un lado de las edificaciones por considerarlas antihigiénicas para el habitante por la contaminación generada por los automóviles. Los urbanistas separan zonas de trabajo, vivienda y esparcimiento dentro de las ciudades, que a su vez están subdivididas en rígido orden. Es notorio que esta corriente de pensamiento del urbanismo fue desarrollada por especialistas. Le Corbusier⁸ (1887-1965), asumiéndose como el poseedor de la verdad en una actitud de paternalismo autoritario evidente (Choay 1976) señalaba: «el urbanista no es más que un arquitecto». Sin duda, las ideas de urbanismo y urbanista transdisciplinarios estaban lejos de ser aceptadas por los que ejercieron esta forma de pensar a la ciudad.

La contraparte del nuevo modelo progresista corresponde al nuevo modelo culturalista, cuyos principios ideológicos son similares a su equivalente en el preurbanismo: la totalidad, donde la aglomeración se impone a los individuos, y la importancia de lo cultural antes que lo material. Los dos principales exponentes de este modelo son Camilo Sitte (1843-1903), con su obra *Der Städtebau*⁹ (1889) y Ebenezer Howard (1850-1928) con la creación del concepto de *ciudad jardín*; Howard fue el único urbanista de esta corriente de pensamiento que reflexionaba con base en consideraciones políticas y sociales diferencia de los demás que lo

⁷ Un establecimiento a priori, según Choay, que sería duramente criticado por otras corrientes de reflexión sobre la ciudad.

⁸ Su verdadero nombre fue Charles Edouard Jeanneret

⁹ Esta obra se compone de una teoría y un modelo de la ciudad ideal que le habían inspirado los conocimientos de Sitte en arqueología medieval y renacentista.

hacían sobre bases más estéticas. La ciudad culturalista es pensada como una entidad que debe tener su espacio bien definido, particular y diferenciado de las demás, dentro de unos límites precisos inalterables que se establecen por franjas verdes y que no deben ser trasgredidos; si la población es ya excedente en la ciudad, es necesario establecer un asentamiento en otro lugar, es decir, fundar una nueva ciudad, reproduciéndose cual células. A diferencia de la ciudad progresista, la culturalista se adapta a la topografía del terreno, lo que le proporciona su particularidad sobre las demás.

Los urbanistas culturalistas poseen una visión nostálgica de las ciudades del pasado; argumentan que el estudio de aquéllas permite una mejor ordenación y estética de las grandes ciudades. Esta visión fue duramente criticada por los progresistas por su perspectiva estrictamente estética e ignorante de los problemas contemporáneos en la ciudad de su presente. Choay apoya la moción afirmando que «el espacio no es reversible» y que dicha visión nostálgica provoca retroceso al recrear un pasado muerto.

Un tercer modelo del urbanismo surgió en los Estados Unidos de América, *el modelo naturalista*, de carácter totalmente utópico que influenció a sociólogos y *town-planners*. La idea principal de esta corriente de pensamiento es que únicamente el contacto con la naturaleza puede devolver al hombre a sí mismo y a su desarrollo armónico. El modelo posee un fuerte carácter individualista, puesto que el manejo del espacio consiste en unidades urbanas atomizadas, dispersas, muy especializadas en su función; dicha dispersión permite un contacto más cercano con la naturaleza, pues las unidades están diseminadas en ella. Aunque para la comunicación de las unidades se reconoce necesario el uso de la tecnología (rutas terrestres, viales, telecomunicaciones), también se establece una preservación hacia la naturaleza en todas sus características.

A estas maneras de pensar y modelar la ciudad, surgieron críticas alrededor del urbanismo, de tipo técnico y humanista; a la crítica con un enfoque técnico, Choay le denomina *Tecnotopía*, y a la humanista, *Antropópolis*.

La Tecnotopía indica que a pesar de la revolución tecnológica en la que se fundamenta el progresismo, éste no aprovechó en toda su plenitud las bondades y posibilidades tecnológicas. Por ello, «los técnicos, arquitectos e ingenieros» (Choay 1976) intentaron pensar de una forma más radical la ciudad del siglo XX, en función de la nueva tecnología y los nuevos estilos de vida, que implicarían complejidad en la construcción, en la geometría y necesariamente en los materiales. En esta crítica sí se pone atención a los incrementos de

población y su consecuente desarrollo de nuevas necesidades y se plantea el diseño de ciudades futuristas; las ciudades verticales de kilométrica altitud, la ciudad puente, o ciudades en plataformas marinas; ciudades con concentraciones muy densas de población donde se libera la superficie terrestre por suelo artificial.

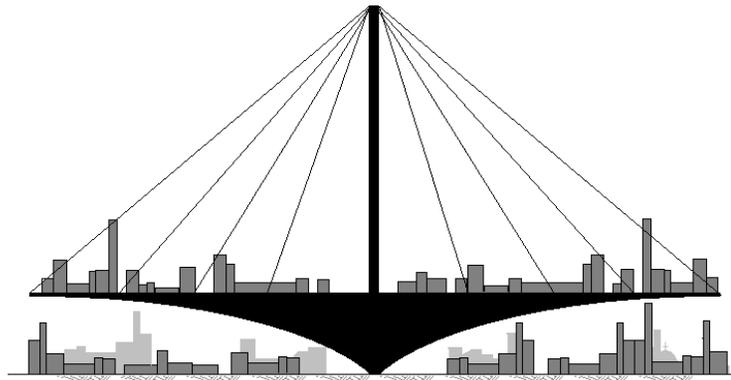


Fig 1.4 Imagen hipotética de una ciudad puente, concebido bajo la crítica de la Tecnotopía

La denominada Tecnotopía, es cuestionada por Choay en el sentido de reflexión si en realidad este tipo de complejos establecimientos humanos con aspectos futuristas establecen en verdad una ciudad, o esta crítica se limita a la simple concepción y modelado de un lugar indiferenciado o indefinido, de un receptáculo cualquiera, o en el mejor de los casos estas ciudades se convierten simplemente en un «hermoso objeto técnico» pues para la urbanista, existe una relación habitante-habitáculo que no debe pasar desapercibido; el habitar «es la ocupación por la cual el hombre accede al ser, por cuanto deja que las cosas surjan en torno a él, y se arraiga». La autora afirma que la técnica no es nociva por sí sola, lo es cuando ésta es deshumanizada. Bajo esta reflexión, se afirma que aplicar únicamente la técnica en el diseño y concepción de ciudad, no es suficiente para la práctica del urbanismo.

La crítica de la Antropópolis, cual antítesis de la Tecnotopía, posee una perspectiva humanista, y en la actualidad es llevada a cabo nuevamente por sociólogos, historiadores, economistas fuera del marco especialista del urbanista, arquitecto y constructor. Choay distingue tres maneras de reflexionar a la ciudad dentro de esta crítica humanista

multidisciplinaria del urbanismo que a diferencia del preurbanismo no son utópicas, sino con fundamentos referidos a una mayor cantidad de «sectores de la realidad».

La primera consiste en la propuesta de Patrick Geddes (1854-1932) sobre «la necesidad absoluta de reintegrar al hombre concreto¹⁰ y completo a la formulación de la planificación urbana» dejando a un lado la ciudad teórica para el hombre teórico. Para ello al momento de la creación de un proyecto urbano, es necesaria la transdisciplinarietà, puesto que es necesario considerar todos los factores que intervienen, desechando la idea de que el urbanismo se hace en un papel con regla y compás; una ciudad es entonces la flor —y el resultado— de una civilización, de una época cargada de historia, de arraigo. Propone entonces la creación de una ciencia de la ciudad, la *polística*, y dentro de ella, una investigación previa al diseño de un plan de ordenación urbana que debe consistir en los siguientes puntos:

- Situación, topografía y ventajas naturales
- Medios de comunicación por tierra y agua con los que cuenta el lugar
- Industrias, fábricas y comercios establecidos y a establecerse
- Población, sus movimientos, ocupaciones, salud, densidad y necesidades presentes y a futuro
- Ordenación pasada y presente, incluyendo servicios existentes como agua potable y alcantarillado
- Futura ordenación urbana, expansiones suburbanas, posibilidades de mejor y soluciones propuestas

Una segunda reflexión de la crítica humanista multidisciplinaria del urbanismo consiste en la visión del entorno urbano como factor de impacto en la conducta humana, pues una distribución racional del espacio es incapaz por sí misma de hacer sentir al habitante sensaciones de libertad, seguridad y otras que repercuten en su salud mental, al respecto Choay menciona que: «El islote insano puede revelarse más saludable que el barrio remodelado por los urbanistas de acuerdo con los principios de la higiene», lo que fue objeto de estudio e investigación; determinando que las rígidas reglas para el *hombre tipo* utilizados por los urbanistas progresistas, podían llevar a resultados no solo diferentes entre sí, sino totalmente adversos, a comunidades con un fuertes vínculos comunitarios. Converge a la idea

¹⁰Al mencionar al hombre concreto se refiere al hombre real, aquel que habita a las ciudades, no al hombre tipo, modelo o ideal.

de Geddes de hacer *participar a los interesados*, en el modelado de su ciudad, puesto que resalta «el carácter traumatizador y empequeñecedor de una planificación que coloca al habitante ante el hecho consumado, y que lleva a tratarlo como un verdadero objeto» (Choay 1976), el urbanismo debe ser totalmente sensible a aquellas personas que ocuparán el territorio urbanizado, es más complejo que el simple y hueco diseño de un espacio.

La tercera reflexión de la crítica humanista del urbanismo es una contraposición a la conceptualización apriorística de los denominados modelos, pues en ellos no se contempla la percepción urbana de quienes habitarán la ciudad, es entonces necesario un planteamiento *a posteriori* a la ciudad, derivado de la perspectiva de la población que la habitará, que indudablemente implica, tomar su percepción de la ciudad como un objeto de investigación; y que una vez conocida, permitirá elaborar un modelo urbano.

Como lo mencioné en un párrafo anterior, el urbanismo se ha consolidado en una última etapa como una práctica política (Dantas 2003) bajo una nueva perspectiva que reconoce que la aplicación del urbanismo no puede hacerse siempre por la ocupación de nuevos espacios por modelos de asentamientos supuestamente adecuados. La extensión permanente de la malla urbana en los países altamente urbanizados representaba altos costos de implantación de infraestructura, que aunado a la crisis del endeudamiento público en la década de los ochentas en el Siglo XX, llevó a los gobiernos a reducir costos. Esto abrió una nueva perspectiva para la intervención urbana: la necesidad de asociaciones entre la iniciativa privada y el poder público, lo que llevó a la inserción de una lógica empresarial en la gestión del planeamiento urbano. El método recibió el nombre de *planeamiento Estratégico*, su principal exponente fue el español Jordi Borja.

Es de esta manera que la nueva faceta del urbanismo actual, se ejerce como práctica política que ahora emana de corporativos, de los órganos gubernamentales, de los centros de investigación, de las ONG's y en hasta de los movimientos populares, ahora estas entidades son las que han tomado la función original del urbanismo, las que toman las decisiones sobre «qué actividades deben ocupar qué lugares». Decisiones que ahora salen de las salas de juntas de las grandes corporaciones, o de las instancias públicas supranacionales (SAU 2003) haciendo evidente la estrecha relación entre las dinámicas de poder y la construcción de la ciudad, dejando a un lado las herramientas de la disciplina urbanística. La toma de decisiones sobre la urbanización de nuevos territorios obedece entonces a los intereses de las empresas inmobiliarias, sin estar fundamentadas en dichas herramientas urbanísticas, lo que genera en

muchos casos, una depredación del medio ambiente, pues lo apropian y lo destruyen. Este urbanismo tecnocrático debe ser en definitiva, erradicado, en virtud de que sus prácticas de *urbanización salvaje*, no propician una aproximación a la utopía de la *ciudad sustentable*. La intervención de la técnica, (como la ingeniería y especialmente la arquitectura) se ha limitado para «el lucimiento compositivo sobre los lienzos más extensos en los que pudieron nunca soñar» (SAU 2003), o al fachadismo.¹¹ Son estas condiciones lo que se denominada crisis del urbanismo de finales del Siglo XX, inclusive, hay quienes determinaron aquí «la muerte del urbanismo heredado» (SAU 2003)

Para Baigorri si hay otro camino para el ejercicio del urbanismo, que combina la teoría y la praxis: el urbanismo transdisciplinario. Este urbanismo debe superar las limitaciones de las distintas disciplinas, y que posea una terminología y conceptos comunes, pero dejando como tronco común los conocimientos propios de cada rama de conocimiento. La participación de la ingeniería civil en la construcción y práctica de un urbanismo transdisciplinario resulta fundamental.

1.3 El papel de la ingeniería civil en el urbanismo

En la breve reseña de la evolución del urbanismo que he presentado en la sección anterior no se aborda el papel de la ingeniería civil a lo largo de sus más de dos siglos de historia, pero no quiere decir que no haya tenido alguno. En el nacimiento de la ciudad industrial, los incrementos súbitos de población trajeron consigo necesidades sanitarias de abastecimiento de agua potable y de alcantarillado que desalojaran las aguas residuales, las cuales eran foco de generación de enfermedades entre los habitantes; por ende, era indispensable la intervención de ingenieros civiles orientados al ámbito sanitario que planearan y construyeran estos sistemas, al ritmo de crecimiento de los asentamientos humanos industrializados. Si bien Choay no lo menciona como un representante del desarrollo del urbanismo, el ingeniero de puertos y caminos, Ildefonso Cerdá (1815-1876) publicó en 1867 su *Teoría General de la Urbanización*, y es considerado por algunos, como el catalán Joaquim Torrent, como uno de

¹¹ No pretendo demeritar el valioso trabajo arquitectónico de las grandes ciudades, ni mucho menos de los conocimientos y talento propios del arquitecto, su aportación es solo una parte y no el todo en el ejercicio urbanístico.

Artemio Baigorri cataloga como «simple fachadista» al culturalista Camilo Sitte. (Baigorri 2003: 5), en la misma visión que expresa la SAU sobre el urbanismo contemporáneo.

los pioneros del urbanismo moderno; aunque en realidad la publicación de Cerdá se ubica en la etapa del urbanismo como intervención práctica y funge como un claro ejemplo, el tratado de Cerdá tuvo origen en sus experiencias basadas en los previos proyectos de ensanche de la ciudad de Barcelona, proyectos que en sí mismos no fueron el origen del urbanismo moderno, sino en la crítica y reflexión sobre los efectos que estos ensanches provocan en las ciudades y sociedades de los que fueron objeto (Baigorri 2003), pues::

«Incorpora no solo análisis sobre arquitectura e ingeniería sino también sobre "Derecho de la Administración, 'estudios societarios', estadística, geografía, la higiene pública, la propiedad, la economía política, la intervención de la Administración con la expropiación urbanística, policía y edificación, etc." (García Bellido; citado por Baigorri, 1995)

Esto es, de manera histórica, la primera intervención en el urbanismo de un ingeniero más por la consecuente reflexión que menciona Baigorri que por la técnica misma contenida en su obra.

El papel transdisciplinario del ingeniero civil debe superar los conflictos multidisciplinares que los sociólogos como Baigorri(1995) argumentan, en el sentido de que cada uno de los profesionistas de los diversos ámbitos de conocimiento que interviene busca demostrar que su disciplina es la única base posible del urbanismo, cayendo en «componendas y trapicheos», creando descrédito a la reflexión urbana. Es por ello necesario ir más allá, donde la interacción multidisciplinaria sea plural y quede entendido como el mismo Baigorri lo expresa que: «La sociología es urbanismo, la arquitectura es urbanismo, [...] la ingeniería es urbanismo».

Al participar en grupos de trabajo multidisciplinares en el ámbito urbanístico, el ingeniero civil debe evitar buscar ejercer preeminencia sobre los demás miembros del grupo; y a su vez debe procurar superar sus limitaciones disciplinarias para coadyuvar a establecer una visión amplia del proyecto urbanístico que haga partícipe también a la comunidad a la que éste va dirigido. Al ir más allá de los límites de su disciplina, incurriendo en otros ámbitos del conocimiento, es entonces transdisciplinario, lo que le permite que su *abstracción* de la problemática sea cada vez más aproximada a la realidad. Bajo esta dinámica es necesario elaborar proyectos urbanos en los cuales el ingeniero civil interviene de manera transdisciplinaria en la planeación y diseño; ejerciendo de manera exclusiva —debido a la

naturaleza propia de su disciplina— la construcción de la *infraestructura básica* que la ciudad necesita, y se enlistan a continuación:

- Generación y distribución de energía eléctrica: Centrales generadoras y líneas de transmisión y distribución.
- Sistemas de agua potable: Obras de captación, potabilización, conducción, almacenamiento y distribución.
- Sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial: Obras de drenaje que incluyan plantas de tratamiento y en caso necesario, obras de vertimiento
- Vialidades: Autopistas para la interconexión entre ciudades, vías primarias y secundarias

Pero también del *equipamiento urbano* necesario para una ciudad, y que es posible englobar en los ámbitos siguientes:

- Salud: Se integra por inmuebles para la prestación de servicios médicos generales y específicos como centros de salud y hospitales.
- Asistencia social: Conformado por aquellas instalaciones que están destinados al cuidado, alojamiento y alimentación de lactantes, mujeres, niños y ancianos consistentes en casas cuna, guarderías, casas de asistencia y velatorios.
- Comercio: Constituido por establecimientos e instalaciones donde se realiza la distribución de productos al menudeo destinados al usuario final como plazas de usos múltiples, mercados, y tiendas.
- Abasto: Compuesto por las inmuebles donde los productores y comerciantes efectúan actividades de compra y venta de productos de consumo como lo son las unidades de abasto mayorista y los rastros.
- Administración pública: Integrado por todos aquellos elementos que son fundamentales en la organización y buen funcionamiento de la sociedad en conjunto que habita la ciudad en términos de administración, seguridad y justicia, como son palacios municipales, oficinas de gobierno, oficinas delegacionales y centros de readaptación social.
- Servicios Urbanos: Integrado por todas aquellas instalaciones que complementan el buen funcionamiento de la población, que proporcionan su bienestar y comodidad así

como la conservación del entorno natural y que consisten en rellenos sanitarios, cementerios, estaciones de servicio (gasolineras), centrales de policía y de bomberos.

- Educación: Integrado por establecimientos en los que se imparte a la población los servicios educacionales, ya sea en aspectos generales de la cultura humana o en la capacitación de aspectos particulares y específicos de alguna rama de las ciencias o de las técnicas, como lo son jardines de niños, escuelas de los diferentes niveles educativos, institutos y universidades.
- Cultura: Integrado por el conjunto de inmuebles que proporcionan a la población recreación intelectual, estética complementarias a la educación formal que incluyen bibliotecas, museos, casas de cultura y auditorios.
- Recreación: Se integra por espacios comunitarios para el bienestar y recreo del individuo y que propicia la comunicación e integración social de la población, como los son los parques urbanos, las plazas cívicas, salas de cines y espacios para ferias y espectáculos.
- Deporte: Que consisten en las instalaciones que complementan al equipamiento destinado a la salud y recreación de la población, y que asimismo responden a la necesidad de la población de realizar actividades deportivas, propiciando a su desarrollo físico como, gimnasios, albercas, módulos y centros deportivos.
- Comunicaciones: El equipamiento urbano respectivo a las comunicaciones consisten en establecimiento cuyos servicios de transmisión de información de mensajes, permiten el contacto entre las personas, y que propician integración social como lo son las agencias de correos, centrales telefónicas y radiofónicas.
- Transportes: El equipamiento correspondiente a este rubro consiste en todas las instalaciones cuya función es proporcionar servicios de transporte a la población en general así como el desplazamiento de bienes para la actividad productiva de la ciudad, consistentes en centrales de autobuses de pasajeros, de servicios de carga, aeropistas y aeropuertos.

1.4 La ciudad como objeto de estudio

He hablado hasta aquí de las diversas formas de pensar a la ciudad, pero no ha sido definida, por lo que en los párrafos siguientes hace un intento de integrar algunas de sus características,

pero sin proponer una definición rígida y tajante, pues se plantea para ello promover a la ciudad como un objeto de estudio transdisciplinario, y donde cada disciplina realice un aporte en la construcción de su concepto., En realidad todos los que habitan en una tienen la noción de ciudad, es difícil que puedan dar una definición. La RAE la define escuetamente como «conjunto de edificios, calles, regidos por un ayuntamiento cuya población densa y numerosa se dedica por lo común a actividades no agrícolas». La expresión “población densa y numerosa” que menciona la RAE es un indicador importante para poder desarrollar un concepto de ciudad, pero no especifica qué tan grande debe ser la respectiva aglomeración; dicha magnitud ha sido variable en el espacio y tiempo.

En los siglos XVIII y XIX, mil personas eran suficientes para poder identificar las nuevas ciudades emergentes (IBER 1995). El número de habitantes ha sido utilizado ampliamente para determinar cuáles asentamientos pueden ostentar el título de ciudad. En México, la Comisión Nacional de Población considera que una población es una *ciudad pequeña* cuando el asentamiento tiene un número de habitantes mayor a los quince mil, pero menor a cien mil; es una *ciudad mediana* cuando está entre los cien mil y un millón; y es una *ciudad grande* cuando el número sobrepasa el millón de habitantes (CONAPO 2010). La clasificación anterior coincide con las investigaciones de Luis Unikel (Unikel; citado por González, 2009) cuando establece que un asentamiento urbano es aquella localidad con más de quince mil habitantes¹². Estas cifras suelen ser dispares en cada país o región, pues adoptan cantidades distintas para definir a una localidad como ciudad. Puede mencionarse como ejemplo de ello a Francia, que determina que una aglomeración mínima de 2,000 habitantes es una ciudad, en Irlanda la cantidad es de 1,500 habitantes o en España de 10,000 habitantes. Es posible afirmar entonces que el poner en función del número de habitantes el concepto de ciudad únicamente no es suficiente; resulta necesaria la reflexión acerca de múltiples aspectos como su forma en el espacio físico, sus funciones, su comportamiento, su impacto en el *sapiens*, y en el entorno natural.

A lo largo de la historia las ciudades han evolucionado desde las ciudades antiguas, que fungieron como centros religiosos y económicos, pasando por la ciudad de la edad media y la ciudad industrial, en cuya etapa las ciudades comenzaron a tener una explosión demográfica por una inmigración masiva de población del campo y cuya reflexión de tal acción dio origen

¹² Para complementar esta información, Unikel clasifica a los asentamientos como localidades rurales a los que tienen hasta 4,999 habitantes, mixtas rurales a los que tienen de 4,999 hasta 9,999 habitantes, y mixtas urbanas a las que tienen de 10,000 hasta 15,000 (Unikel citado por González, 2009)

al urbanismo, hasta la ciudad actual, cuyos rasgos generales comenzaron a tener formas definidas a partir de la Segunda Guerra Mundial y que tomaron el papel de centros económicos y de poder, desde ellas se dirige la política y economía de los países. En las ciudades se concentran la toma de decisiones que conducen a cada nación, se genera el conocimiento y la innovación, se propicia y se difunde la cultura, son centros de producción y de consumo, son generadores de empleo, son los nodos que estructuran las regiones urbanas, y constituyen la columna vertebral de cada país.

A pesar de los rasgos comunes, no hay una ciudad tipo; cada una responde a su pasado histórico, de sus necesidades sociales y el sistema socio-económico en que se está inscrita, pero también en el medio físico, medio ambiente y entorno natural en donde se encuentran. Es por ello que existen claras diferencias entre la ciudad americana, europea, asiática, africana y latinoamericana.

Las ciudades han tomado diversas formas; que corresponden a múltiples factores, su importancia va más allá de la estética, pues la morfología influye decisivamente sobre su función, actividades y su impacto. En general, son distinguibles las formas del plano urbano:

- Plano irregular: Se presenta en aquellas ciudades donde no existió ningún tipo de planificación previa, las casas, edificaciones, comercio e industrial se han ido construyendo sin responder a un orden preestablecido. Los límites, que tampoco responden a un plan específico, resultan ser los espacios naturales que funcionan como obstáculos físicos a la expansión de la ciudad.
- Plano radiocéntrico: Es aquella forma constituida por cinturones urbanos radiales delimitados por vías de comunicación, cada uno con diferentes usos y servicios.
- Plano radial. Consiste en la disposición alineada de las casas y edificios en torno a una vía de comunicación. Aunque este tipo de plano urbano ha sido producto de reflexiones urbanísticas, también ha sido resultado de la apertura de nuevos caminos y carreteras, en cuya longitud comenzaron a fundarse nuevos asentamientos que hoy son ciudades.
- Plano en damero: Está presente de manera muy difundida en las ciudades europeas del Renacimiento, así como en las colonias hispanas y en los proyectos de ensanche de las ciudades del Siglo XIX (como el de Barcelona que sirvió como base de la obra de Cerdá) cuya característica esencial es el trazo ortogonal,

con una variante que consiste en una vía diagonal que une los extremos opuestos de la traza urbana.

Las ciudades se pueden caracterizar también respecto a las funciones que desempeñan, y como centros políticos y administrativos, o como centros religiosos; ciudades con actividad económica o comercial, o bien a una actividad industrial. Hay ciudades con funciones que responden únicamente a actividades de residencia, y también las hay aquellas en las cuales la actividad turística ha transformado su función de origen, convirtiéndolas en ciudades clave en términos económicos para la nación en la que se encuentran. Las actividades que se desarrollan en cada ciudad la dotan de una personalidad propia e ineludiblemente impactan al ser humano que las habita, definiendo su forma de vida. Es necesario contemplar que este impacto no es únicamente antropocéntrico, como será visto en capítulos posteriores de este documento, aplicado al caso concreto de la ciudad de Cuernavaca, en la República Mexicana.

No es conveniente percibir a la ciudad como un objeto aislado de las demás ciudades o asentamientos, pues forman parte de un sistema urbano donde no sólo importa el crecimiento individual de las ciudades y asentamientos, sino también su número, puesto que más allá de simples relaciones de intercambio entre ellas, existen fenómenos de jerarquización, territorialización y disputa, donde el crecimiento dinámico de alguna absorbe a las demás, conformando un sistema de constante transformación. Es así como nace en el concepto de la *Megalópolis*; aquellos centros urbanos que tuvieron origen bajo el desarrollo simultáneo de dos o más ciudades cercanas, desapareciendo el espacio no urbanizado entre ellas, creando un «continuo urbano» de gran importancia económica, comercial, cultural y política preponderante. Es así como se constituyen las Zonas Metropolitanas, con áreas urbanas que se han extendido en territorios correspondientes a más de una unidad política administrativa; con secuelas directas sobre la gestión urbana, donde más de una autoridad toma decisiones sobre su crecimiento, habilitación, organización y equipamiento. Esto hace aún más complejo el funcionamiento de la ciudad, lo que implica también la necesidad imperante de una visión transdisciplinaria en su estudio y entendimiento.

Es así como el mundo es un lugar cada vez más urbanizado. La población emigra a las ciudades en busca de trabajo, de la oportunidad de recibir educación y de una mejora sustancial en el nivel de vida respecto a la rural. Actualmente casi la mitad de la humanidad vive en zonas urbanas y dentro de 25 años se prevé que las mismas albergarán a más de las

dos terceras partes de la población mundial. La población urbana mundial aumenta 2.5 veces más rápidamente que la población rural (Castellanos, G; Díaz, M y A. Franco 2005). Es por ello que la trascendencia de la ciudad la hace un objeto de estudio donde convergen diversas áreas del conocimiento humano y donde la ingeniería civil juega un papel fundamental en los términos descritos en el subcapítulo anterior, para los cuales es indispensable abordar estudios diversos para cumplir con su papel en el hecho de urbanizar.

La demanda de habitar ha propiciado la creación de ciudades en espacios físicos que no siempre son los idóneos para su establecimiento en cuestiones geográficas, topográficas, climáticas y naturales en las cuales el ingeniero civil tiene que analizar junto al geógrafo, al topógrafo, al biólogo, al químico, al urbanista y al arquitecto para una óptima planeación de la infraestructura mencionada, y coadyuvar al eficiente ordenamiento urbano, conservando la compatibilidad entre los diferentes elementos de su equipamiento.

Las relaciones sociales que en la ciudad ocurren —actividades económicas, la distribución del poder, estratificación social, entre muchos otros— hacen que ésta deba ser analizada y planificada no como un simple habitáculo, un espacio contenedor; por lo cual es necesario para el ingeniero involucrar dichas relaciones en su ejercicio urbanístico.

La transformación del medio que es inherente en la práctica del ingeniero civil, de manera casi inevitable, afecta de alguna manera las condiciones naturales originales de un sitio o región, por lo cual tiene una responsabilidad importante no sólo con los aspectos técnicos y sociales del medio urbano, sino también en la conservación del entorno natural, y «en procurar que los beneficios de su acción sean superiores a los efectos negativos que, en su caso, se deriven de la creación y operación de la infraestructura» (Barocio 2005); pero esto no es suficiente, puesto que no sólo debe ser mayor el beneficio obtenido que los daños al ambiente, sino que éstos deben ser reducidos a su mínima expresión. Esto implica que dentro de la ciudad como objeto de estudio sea contemplado también —como un elemento indisolublemente ligado— el medio ambiente.

Esta perspectiva de ciudad como objeto de estudio, análisis e investigación es sólo una de las múltiples perspectivas posibles de ella, y cuyo concepto no tiene una definición sino varias interpretaciones, y dentro de cada una de estas, cobran importancia diversos elementos para cada disciplina; lo vertido aquí es solamente una perspectiva general sintética, que debe complementarse y profundizarse bajo el análisis y el ejercicio urbanístico transdisciplinario.

Capítulo 2. Monografía de la ciudad de Cuernavaca

En este capítulo presento una caracterización de la ciudad de Cuernavaca útil a los fines de nuestro estudio que sirve como base de reflexión general sobre el ámbito urbano y permite también la discusión y análisis de los elementos en concreto que forman parte de la problemática estudiada.

2.1 Contextualización del municipio de Cuernavaca

Cuernavaca es el municipio que funge como capital del estado de Morelos, el cual se encuentra en la región Centro-País¹ de la República Mexicana, integrada por los estados de México, Morelos, Hidalgo, Puebla, Querétaro, Tlaxcala y Distrito Federal, como se muestra en la figura 2.1

El Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Cuernavaca, publicado por el Ayuntamiento de Cuernavaca 2003-2006 PDUCPC (H. Ayuntamiento de Cuernavaca 2006) y elaborado por la Secretaría de Desarrollo Urbano y Obras Públicas, reconoce que «esta región es la de mayor importancia económica y presenta mayor grado de integración territorial y funcional a nivel nacional» y menciona al respecto que:

El Estado de Morelos y particularmente el municipio de Cuernavaca, han sido influenciados de manera permanente por las políticas establecidas en la región centro y por su dinámica socioeconómica y de expansión urbana, ello ha significado ventajas y desventajas que se reflejan en la propia dinámica socioeconómica municipal. (Ayuntamiento de Cuernavaca 2006)

¹ El Plan Nacional de Desarrollo 2001-2006 definió a las mesorregiones como unidades base para el desarrollo regional en México; las mesorregiones establecidas son: Noroeste, Noreste, Centro-País, Centro Occidente y Sur-Sureste. En el presente documento, me refiero indistintamente a región y mesorregión Centro-País.

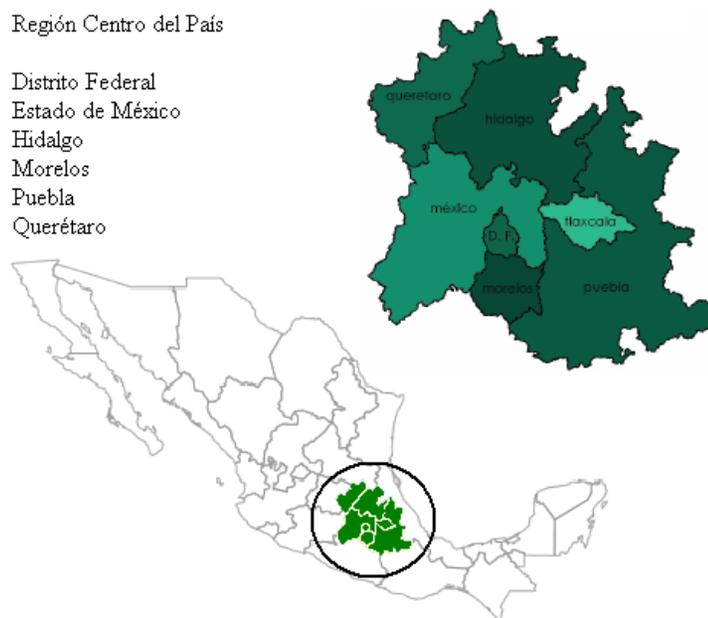


Fig 2.1 Mesorregión Centro–País en la República Mexicana

El Municipio forma parte de una zona metropolitana² denominada Zona Conurbada Intermunicipal de Cuernavaca, junto con los municipios de Emiliano Zapata, Jiutepec, Temixco, Tepoztlán y Xochitepec³ en una región del estado denominada Centro-Poniente (figura 2.2). Esta zona inició su conformación como área urbana continua a raíz de la instalación de la Ciudad Industrial del Valle de Cuernavaca (CIVAC) en el municipio de Jiutepec, creada por un decreto presidencial de Gustavo Díaz Ordaz (1964-1970) en 1966, siendo gobernador del Estado Emilio RivaPalacio (1964-1970) y presidente municipal de Cuernavaca Valentín López González (1964-1966). Este parque industrial funge como el polo de desarrollo más importante de Morelos.

Dentro de esta conurbación, el municipio de Cuernavaca es el que concentra el mayor número de habitantes y de actividades económicas en virtud de que en él se ubica la capital del Estado y cuenta con un nivel de servicios de cobertura estatal, lo que hasta ahora le da preeminencia sobre el resto de los municipios de la zona conurbada.

² El término zona metropolitana se acuñó y desarrolló en los Estados Unidos de América a partir de los años veinte del siglo pasado, y se utiliza para referirse a una ciudad grande cuyos límites rebasan los de la unidad político administrativa que originalmente la contenía.

³ EL PDUCCP 2006 menciona que a esta zona conurbada también se integran otras áreas de los municipios de Yautepec y Tepoztlán, que no son reconocidas oficialmente.



Fig 2.2 Zona Conurbada Intermunicipal de Cuernavaca en la región Centro-Poniente del estado de Morelos.

Fuente: Imagen elaborada con base en el PDUCPC 2006: 13.

2.2 Características físicas del municipio

Cuernavaca está situada al noroeste del Estado; colinda al norte con el municipio de Huitzilac, al sur, con los municipios de Temixco y Jiutepec, al oriente con los municipios de Tepoztlán y Jiutepec, y al poniente, con los municipios de Ocuilan, Estado de México, y Temixco. Se ubica en las siguientes coordenadas geográficas extremas: al norte 19° 02' latitud norte; al sur 18° 49' latitud norte; al este 99° 10' longitud oeste; al oeste 99° 20' longitud oeste.

Administrativamente, el municipio de Cuernavaca, con un territorio aproximado de 207.48 km², está compuesto por ocho delegaciones: Benito Juárez García, Mariano Matamoros Oribe, Miguel Hidalgo y Costilla, Lázaro Cárdenas del Río, Emiliano Zapata Salazar, Plutarco Elías Calles, Antonio Barona Rojas y Vicente Guerrero Saldaña (figura 2.3). Según el PDUCPC 2006, hay en estas ocho delegaciones 241 colonias urbanas. Si se contemplan unidades habitacionales, conjuntos urbanos y fraccionamientos, la cantidad de unidades territoriales asciende a 329, incluidos doce pueblos históricos, dos barrios tradicionales y el Centro Histórico.



Fig 2.3 División política del municipio de Cuernavaca

Poco más de la mitad del territorio municipal (56.52%) se localiza en el Eje Neovolcánico; el 43.48% restante, dentro de la Sierra Madre del Sur. El municipio presenta un declive importante de norte a sur con una diferencia de altitudes de aproximadamente 950 m en sólo 17.5 Km, entre la zona norte de la delegación Emiliano Zapata —2200 msnm— y el extremo sur de la delegación Lázaro Cárdenas —1250 msnm—, lo que representa una pendiente promedio de norte a sur del 5,42%.

Respecto a la geología del lugar, 6.5% de la superficie municipal corresponde a material ígneo extrusivo del periodo Terciario; 48.75% a material clástico del mismo período; 43.39% a material ígneo extrusivo del período Cuaternario; y 1.35% a material sedimentario de este mismo periodo, lo que indica la naturaleza volcánica del territorio.

Hidrológicamente, el municipio se encuentra en la cuenca del río Grande de Amacuzac y drena sus aguas en tres subcuencas: 4.26 km² del territorio, en la del río Ixtapan; 184.29 km²,

en la del río Apatlaco; 18.12 km² en la del río Yautepec Los datos anteriores dan cuenta de la importancia de la cuenca del río Apatlaco en el territorio cuernavacense.

En territorio cuernavacense asociado a la cuenca del Apatlaco, resaltan por su abasto de agua potable el río Del Pollo, los manantiales de Chapultepec —donde nace el Apatlaco— y el Túnel, que ha sido fuente vital de abastecimiento de agua potable principalmente en la parte norte del área urbana, desde 1932. El río Apatlaco, al sur del municipio, que funge parcialmente como límite entre la delegación Lázaro Cárdenas y el municipio morelense de Jiutepec, recibe las aguas de las barrancas del centro y poniente del municipio de Cuernavaca.

Una característica física esencial del municipio —y que es parte del objeto de estudio de esta tesis— es la presencia abundante de barrancas en dirección norte a sur, las cuales cobran importancia no solo en cuestión de servicios ambientales, sino como directrices de la forma en que se ha urbanizado el municipio; sus características y la problemática de su contaminación con aguas residuales —como mi objeto de estudio— se abordan en los capítulos siguientes.

Existen en el municipio cinco climas distintos, aunque dos son preponderantes: templado subhúmedo con lluvias en verano de mayor humedad, en la zona norte, y semicálido subhúmedo con lluvias en verano de humedad media, en el sur. La temperatura media anual en el municipio es de 21.1 °C, la precipitación media anual oscila entre los 800 y 1500 mm (H. Ayuntamiento de Cuernavaca 2006).

2.3 Zonificación primaria del uso de suelo y tenencia de la tierra

La zonificación primaria del uso de suelo presenta la distribución mostrada en la tabla 2.1 y la figura 2.3

Tabla 2.1 Distribución del uso del suelo según el PDUCCPC 2006⁴

Uso	Superficie (ha)	Superficie (km ²)	Porcentaje (%)
Mancha urbana	9,086.17	90.86	43.79
Forestal	5,092.71	50.93	24.55
Agrícola de riego y de Temporal	2,338.05	23.38	11.27
Zonas sin uso	2,593.25	25.93	12.50
Zonas erosionadas	1,637.41	16.37	7.89
Total	20,747.59	207.47	100.00

Fuente: H. Ayuntamiento de Cuernavaca (2006)

⁴ Según la fuente, esta distribución corresponde al año 2004.

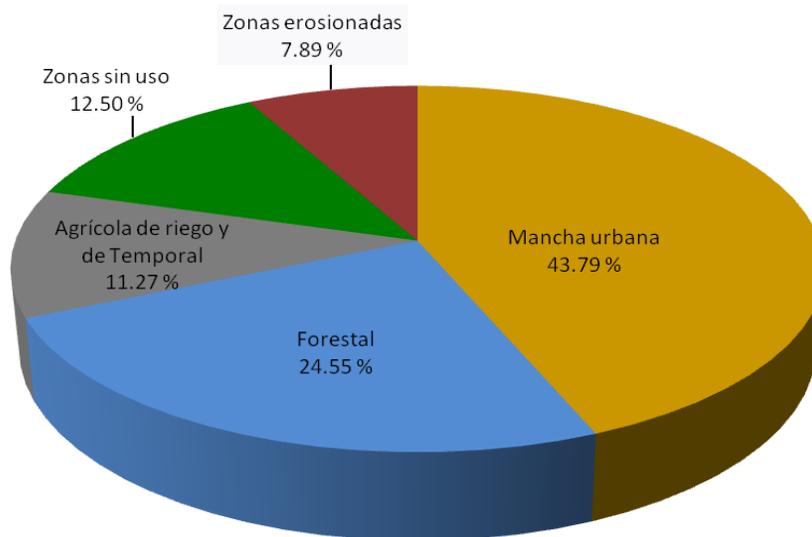


Figura 2.4 Porcentajes de la distribución de uso de suelo

Según el H. Ayuntamiento de Cuernavaca (2006), en el municipio de Cuernavaca existen tres tipos de tenencia de la tierra:

Ejidal, que se compone de ejidos que abarcan 12,254.72 hectáreas (122.547 Km²), 59.07% del total del territorio municipal: San Antón, Tetela del Monte, Buenavista del Monte, Chapultepec, Acapantzingo y Chipitlán.

Comunal, que corresponde a las tierras que fueron dotadas a las comunidades y ocupan 5,731.87 hectáreas (57.32 Km²), 27.63 % de la superficie del municipio: Santa María, Tlaltenango, Chamilpa, Ocotepec y Ahuatepec.

Propiedad privada, donde se ubica la pequeña propiedad, los predios urbanos, de propiedad privada, los predios de propiedad federal (del dominio privado de la Federación) y los predios de propiedad estatal y municipal. Comprende una superficie aproximada de 2,761.00 hectáreas (27.61 Km²), que representan 13.31% de la superficie municipal total.

Es importante notar que como la mayor parte de la tenencia de la tierra del municipio es de tipo social, el crecimiento urbano ha ocurrido en tierras con este tipo de tenencia como se

describe más adelante en este mismo capítulo en el apartado correspondiente al proceso de urbanización de Cuernavaca.

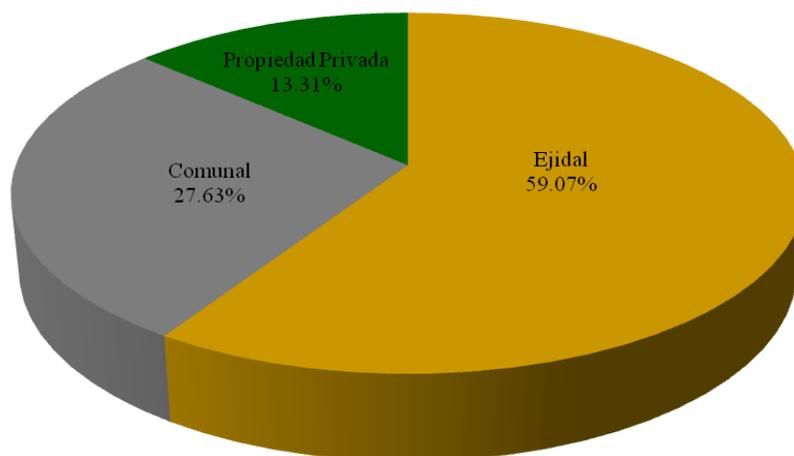


Figura 2.5 Porcentajes de la tenencia de la tierra

2.4 Población y vivienda

En esta sección se presenta información histórica sobre la población y la vivienda del Municipio en relación con los respectivos datos estatales y nacionales; para fácil lectura de la misma se incluye tanto en forma tabular como gráfica. Se trata de información estrechamente relacionada con el objeto de estudio que nos ocupa, particularmente con la generación de aguas residuales y la consecuente demanda de servicios de alcantarillado.

Tabla 2.2 Población en el ámbito nacional, estatal y municipal⁵

Año	Periodo	República Mexicana		Estado de Morelos		Municipio de Cuernavaca	
		Habitantes	Tasa	Habitantes	Tasa	Habitantes	Tasa
1950	-	25,791,017	-	272,842	-	54,928	-
1960	1950-1960	34,923,129	3.1	386,264	3.5	85,620	4.5
1970	1960-1970	48,225,238	3.3	616,119	4.8	160,804	6.5

⁵ Las tasas de crecimiento de población para el municipio de Cuernavaca, son cálculos propios mediante la misma ecuación que utiliza INEGI:

$$Tasa\ de\ crecimiento\ media\ anual = \left[\left(\frac{Num\ al\ final\ del\ periodo}{Num\ al\ inicio\ del\ periodo} \right)^{1/Num\ de\ años\ del\ periodo} - 1 \right] \times 100$$

1980	1970-1980	66,846,833	3.3	947,089	4.4	232,355	3.7
1990	1980-1990	81,249,645	2.0	1,195,059	2.4	281,294	1.9
1995	1990-1995	91,158,290	2.3	1,442,662	3.8	316,782	2.4
2000	1995-2000	97,483,412	1.4	1,555,296	1.5	338,706	1.3
2005	2000-2005	103,263,388	1.2	1,612,899	0.7	349,102	0.6

Fuente: Elaboración propia a partir de datos publicados por INEGI en su sitio web: www.inegi.gob.mx

Tabla 2.3 Vivienda en el ámbito nacional, estatal y municipal

Año	Periodo	República Mexicana		Estado de Morelos		Municipio de Cuernavaca	
		millones de viviendas	tasa	viviendas	tasa	viviendas	tasa
1950	-	5.3	-	ND	-	ND	-
1960	1950-1960	6.4	1.9	ND	ND	ND	ND
1970	1960-1970	8.3	2.6	ND	ND	ND	ND
1980	1970-1980	12.1	3.8	175,397	ND	47,641	ND
1990	1980-1990	16.2	3.0	244,958	3.4	62,423	2.7
1995	1990-1995	19.4	3.7	321,277	5.6	76,722	4.2
2000	1995-2000	21.5	2.9	354,035	2.0	82,657	1.5
2005	2000-2005	24.1	2.0	386,419	1.8	86,581	0.9

ND: No disponible.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos publicados por INEGI en su sitio web: www.inegi.gob.mx

Nota: Las viviendas descritas aquí excluyen a las viviendas sin información de ocupantes⁶

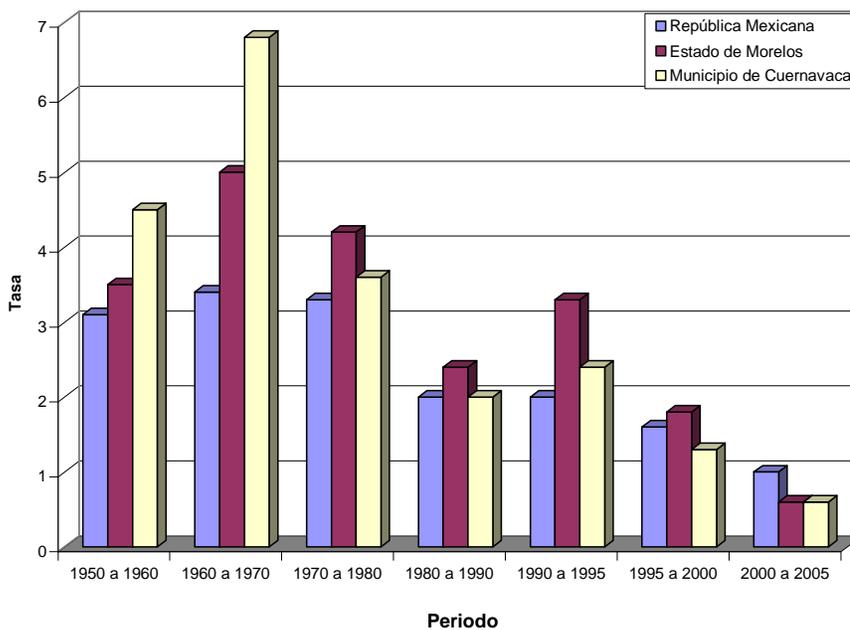


Fig 2.6 Comportamiento de las tasas de crecimiento poblacional nacional, estatal y municipal

⁶ INEGI define en el glosario de su sitio web el término *viviendas sin información de ocupantes* como «Viviendas particulares habitadas que durante el levantamiento del Censo 2005 no se encontró a un informante adecuado o sus residentes se negaron a proporcionar la información sobre las características de la vivienda y de sus ocupantes»

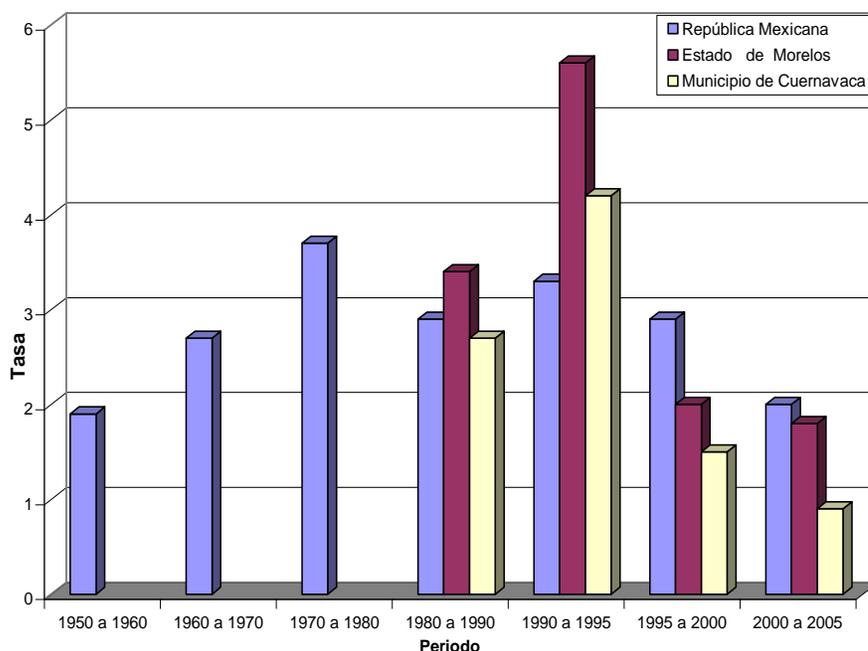


Fig 2.7 Comportamiento de las tasas de crecimiento de vivienda nacional, estatal y municipal.

A partir de una revisión de la información sobre población y vivienda del Municipio, se puede concluir lo siguiente:

- La población municipal creció a un ritmo mayor que la estatal y nacional hasta 1970. Es en la década de los sesentas donde se presenta el mayor crecimiento poblacional: para 1970 se duplicó el número de habitantes respecto a 1960.
- En la etapa de 1970 a 1980, en el municipio disminuyó de manera sensible la tasa de crecimiento poblacional respecto a la década anterior, y a partir de ese periodo, la población municipal ha crecido a menor ritmo que la estatal.
- La tasa de crecimiento de vivienda ha sido mayor a la de población a nivel municipal, según los datos disponibles desde 1980, presentándose la mayor tasa de crecimiento de vivienda en el municipio en el periodo 1990 – 1995, siendo casi el doble que la tasa de crecimiento de habitantes en este mismo periodo. Se deduce que el crecimiento en el número de viviendas no es consecuencia absoluta del incremento de población.
- A partir de 1995 la tasa de crecimiento de vivienda en el municipio ha disminuido, y ha sido menor que las tasas nacional y de vivienda

Vivienda y turismo residencial

Cuernavaca es una ciudad eminentemente turística y existen en ella viviendas que son utilizadas exclusivamente para fines lúdicos y de descanso en momentos específicos del año, las denominadas residencias secundarias o *segundas residencias*. INEGI nombra a este tipo de residencia como *vivienda de uso temporal* y la define en el glosario de su sitio web como:

Casa independiente, departamento en edificio o casa en vecindad que está disponible para ser habitada pero que al momento del levantamiento no tenía residentes habituales y sólo era utilizada en ciertas épocas o días del año: con fines vacacionales, de descanso o trabajo, entre otros.
(INEGI 2007)

La información correspondiente a este concepto se ha comenzado a publicar a partir del Censo de Población y Vivienda 2005 y no hay registros para los Censos y Conteos anteriores⁷. El número de *viviendas de uso temporal* para ese año es de 10,678 las cuales no se incluyen en el número de viviendas del municipio en la tabla 2.2. Lo que indica que aproximadamente por cada ocho viviendas con información de ocupantes, es decir, viviendas habitadas de manera regular, existe una vivienda de uso temporal.

Uso de suelo urbano y tipo de vivienda

De manera general, el uso de suelo urbano se distribuye en habitacional, comercial, industrial y mixto. El uso habitacional corresponde a 63.66 % del área urbanizada del municipio, que se compone de la siguiente manera:

- 17.03% es de tipo residencial
- 15.89% es de tipo medio
- 25.62% es de tipo popular
- 5.11% corresponde a interés social de alta densidad
- 0.01% corresponde a condiciones precarias

⁷ Esta afirmación fue realizada por un asesor de INEGI con el cual me entrevisté, la cual corroboré al no encontrar dicha información en el sitio web para los Censos y Conteos anteriores.

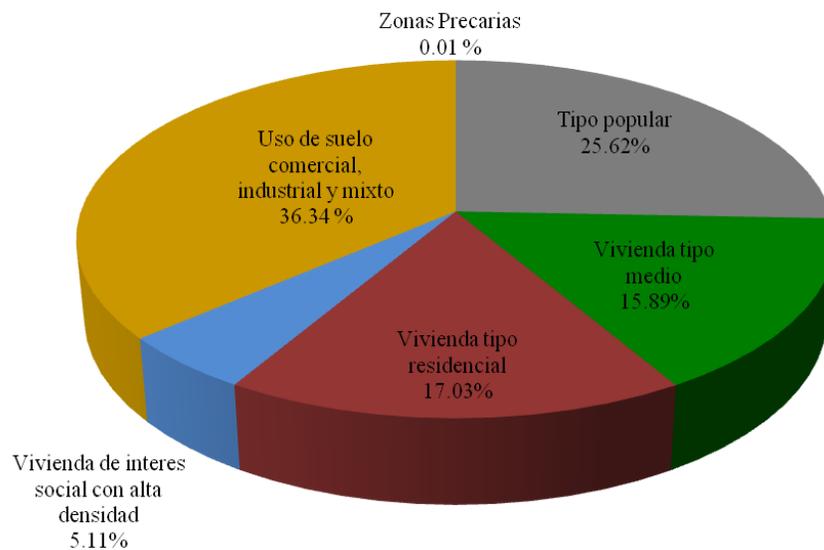


Fig 2.8 Distribución de la vivienda en suelo urbano

Respecto al estado en que se encuentran las viviendas, el PDUCCP 2006 estima que:

Más del 70% del total de viviendas del municipio se encuentran en buen estado y están construidas con materiales duraderos, el 16.52% presentan deficiencias en cuanto a su construcción, el 6.56% está en malas condiciones y únicamente el 4.02% corresponde a viviendas precarias. (H. Ayuntamiento de Cuernavaca 2006)

La distribución de la densidad de población, es la siguiente:

Tabla 2.4 Densidad de población en el suelo de uso habitacional

Densidad de población (hab/Ha)	Porcentaje del suelo de uso habitacional (%)
0 - 50	26.75
51 - 100	24.96
101 - 200	40.25
201 - 416	8.04
417 - 600	
Total = 100.00	

Fuente: H. Ayuntamiento de Cuernavaca (2006)

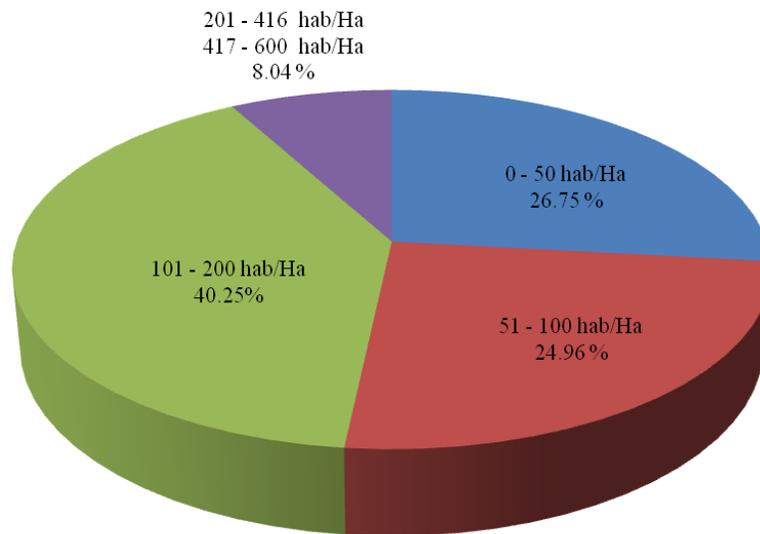


Fig 2.9 Distribución de la densidad de población en el uso de suelo habitacional

Servicios básicos en la vivienda

Las viviendas particulares del municipio de Cuernavaca, según el conteo de población y vivienda del año 2005, tienen proporcionados los siguientes servicios:

Tabla 2.5 Servicios en la vivienda

Servicio	Viviendas totales	Viviendas con el servicio	% de viviendas totales con el servicio
Energía eléctrica	86,581	85,611	98.9
Agua de la red pública	86,581	82,369	95.1
Drenaje ⁸	86,581	85,201	98.4

Fuente: Cuaderno Estadístico Municipal de Cuernavaca 2006 Sección 4 Vivienda. (INEGI 2007)

Notas:

- El concepto «Agua de la red pública» sustituye al de «agua entubada» utilizada en el Censo 2000
- INEGI denomina como drenaje al desalojo de aguas residuales «a la red pública, fosa séptica, con desagüe a río, lago y mar;...»

La dotación de energía eléctrica estuvo a cargo de la extinta Luz y Fuerza del Centro hasta 2009, en la actualidad se encuentra bajo jurisdicción de la Comisión Federal de

⁸ INEGI denomina como drenaje al desalojo de aguas residuales «a la red pública, fosa séptica, con desagüe a río, lago y mar;...»

Electricidad y es proporcionada por medio de dos subestaciones ubicadas en el municipio; las viviendas con carencia de este servicio se encuentran en asentamientos irregulares.

En cuanto a drenaje se refiere, es muy importante avanzar al lector que la expresión *contar con drenaje*, asociada a las estadísticas del INEGI, no es sinónimo de *contar con alcantarillado*: del 98.4% de viviendas que cuentan con drenaje, es decir con algún método para drenar sus aguas residuales reportado por el INEGI, una proporción importante de viviendas descargan esas aguas residuales directamente a cauces y barrancas, contaminándolas. La problemática relativa al sistema de alcantarillado municipal de Cuernavaca se aborda en detalle en el capítulo V del presente documento

El servicio municipal de recolección doméstica de desechos sólidos, fue concesionado en mayo de 2007 a la empresa Promotora Ambiental S.A. de C.V. (PASA), que recolecta los desechos en las colonias de la Ciudad en horarios establecidos.

2.5 Comportamiento histórico del área urbana

La ciudad de Cuernavaca tuvo su origen sobre los restos de la antigua Cuauhnáhuac, capital tlahuica conquistada por los aztecas y posteriormente tomada por Hernán Cortes, quien:

[...] describió la manera donde se sitúa la ciudad como un valle «cercado por tantos cerros y barrancas que algunas había de diez estados de honduras y no podía entrar ninguna gente de caballo, salvo por dos partes...» (Rueda 2006)

Durante la época colonial, la alcaldía mayor de Cuernavaca ejerció funciones de centro político del marquesado del valle de Oaxaca y se impulsó el cultivo de la caña de azúcar⁹ y la fabricación de alcohol; posteriormente la alcaldía se integró al Estado de México. El 17 de abril de 1869, se fundó el Estado de Morelos por decreto del presidente Benito Juárez y el 16 de noviembre de ese mismo año Cuernavaca fue declarada su capital. A finales del siglo XIX la ciudad comenzó a transformarse con la llegada del ferrocarril, la construcción de infraestructura con nuevos sistemas constructivos y la llegada de nuevas industrias.

El proceso de urbanización, descrito por la relación de las áreas urbana y no urbana del municipio de Cuernavaca se incluye en la tabla siguiente:

⁹ Tres ingenios azucareros en el siglo XVI, el de Tlaltenango, el de Axomulco y el de Amanalco, impulsaron la economía de la región.

Tabla 2.6 Comportamiento de las áreas urbana y no urbana en el Municipio

Año	Área urbana		Territorio municipal	Área no urbana		Territorio municipal
	(ha)	(km ²)	(%)	(ha)	(km ²)	(%)
1940	324.20	3.24	1.56	20,424.00	204.24	98.44
1950	746.20	7.46	3.60	20,002.00	200.02	96.40
1960	1,320.70	13.21	6.37	19,427.00	194.27	93.63
1970	2,626.40	26.26	12.66	18,122.00	181.22	87.34
1980	4,169.40	41.69	20.10	16,579.00	165.79	79.90
1990	5,625.00	56.25	27.11	15,123.00	151.23	72.89
1995	7,490.00	74.90	36.10	13,258.00	132.58	63.90
2000	8,739.30	87.39	42.12	12,009.00	120.09	57.88
2005	9,354.21	93.54	45.09	11,394.00	113.94	54.91

Fuente: Elaboración propia a partir del PDUCCP 2006 (H. Ayuntamiento de Cuernavaca 2006)

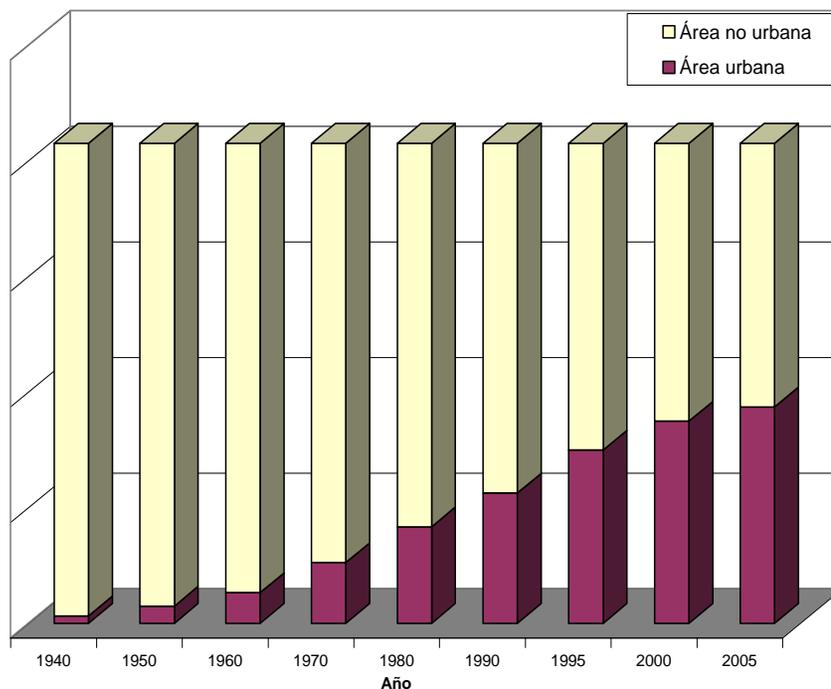


Fig 2.10 Comportamiento histórico del área urbana y no urbana

Un análisis de la tabla 2.6 y la figura 2.10 indica que la expansión de la mancha urbana presentó un crecimiento constante entre 1960 y 1990 de 1435 km² por década en promedio; este crecimiento se aceleró en la década de 1990 a 2000 en 3,114 km², más del doble que en las tres décadas anteriores, para luego disminuir a únicamente 615 km² en el periodo 2000 a

2005. En este freno a la expansión de la mancha urbana, indudablemente han participado las barrancas, que han fungido como barreras naturales. La afirmación anterior se sustenta observando las figuras siguientes donde se puede apreciar la forma en que ha crecido el área urbana. En las figuras 2.11, 2.12, 2.13, 2.14, 2.15, 2.16 y 2.17 se muestran imágenes de elaboración propia con base en las reconstrucciones cartográficas que ha realizado el INEGI (2000) y la traza urbana más reciente, contenida en el PDUCCPC 2006.

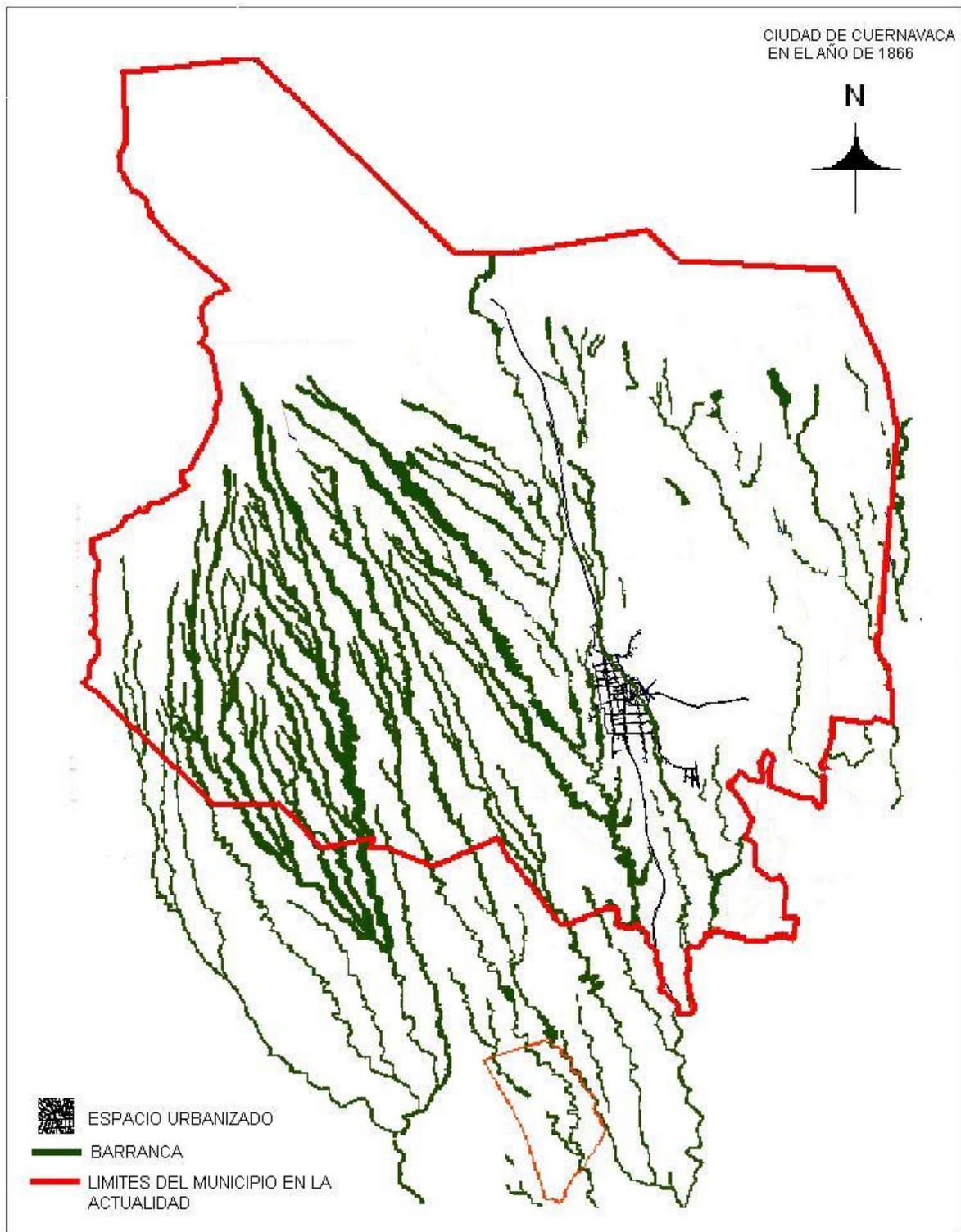


Fig 2.11 Ciudad de Cuernavaca en 1866

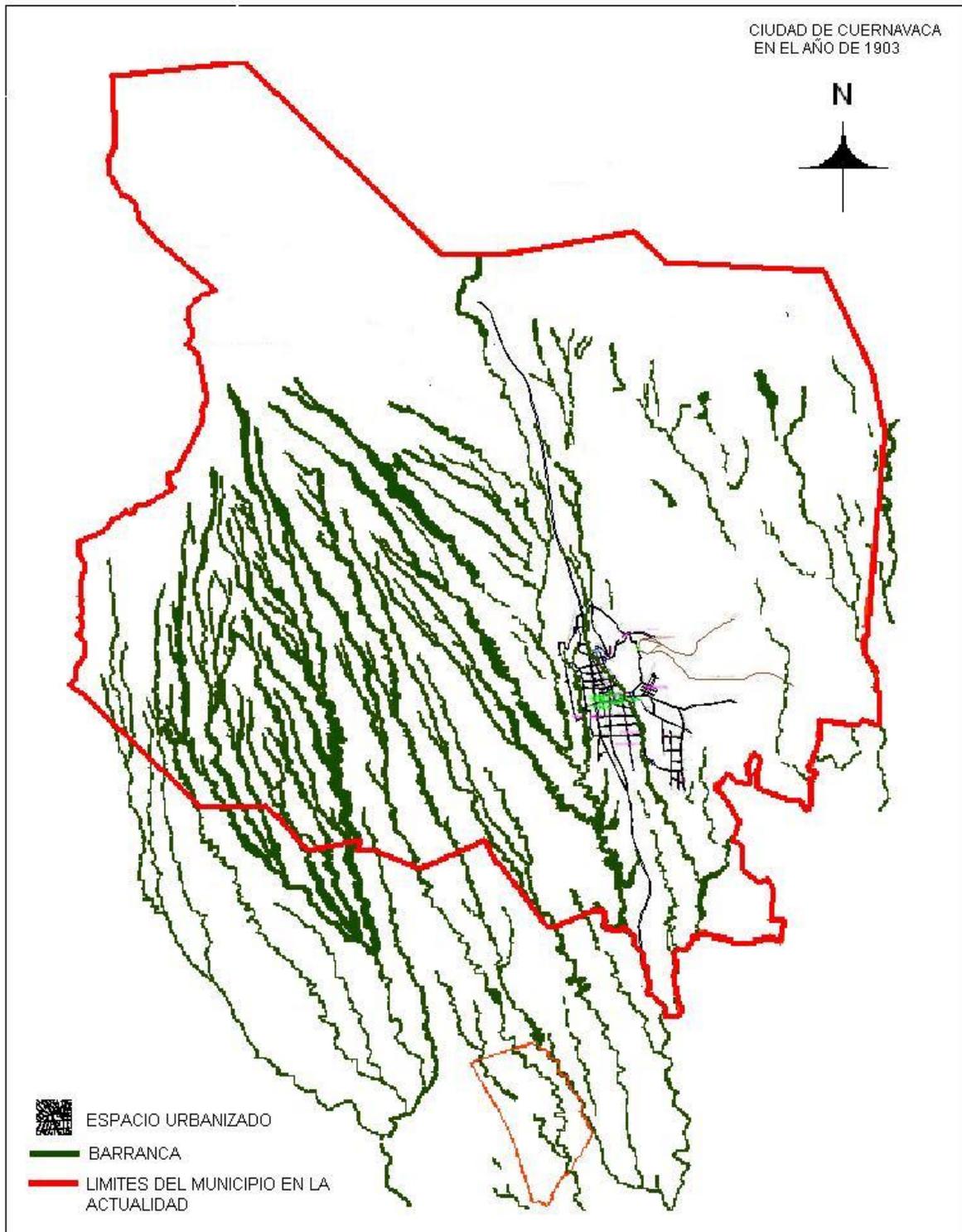


Fig 2.12 Ciudad de Cuernavaca en 1903

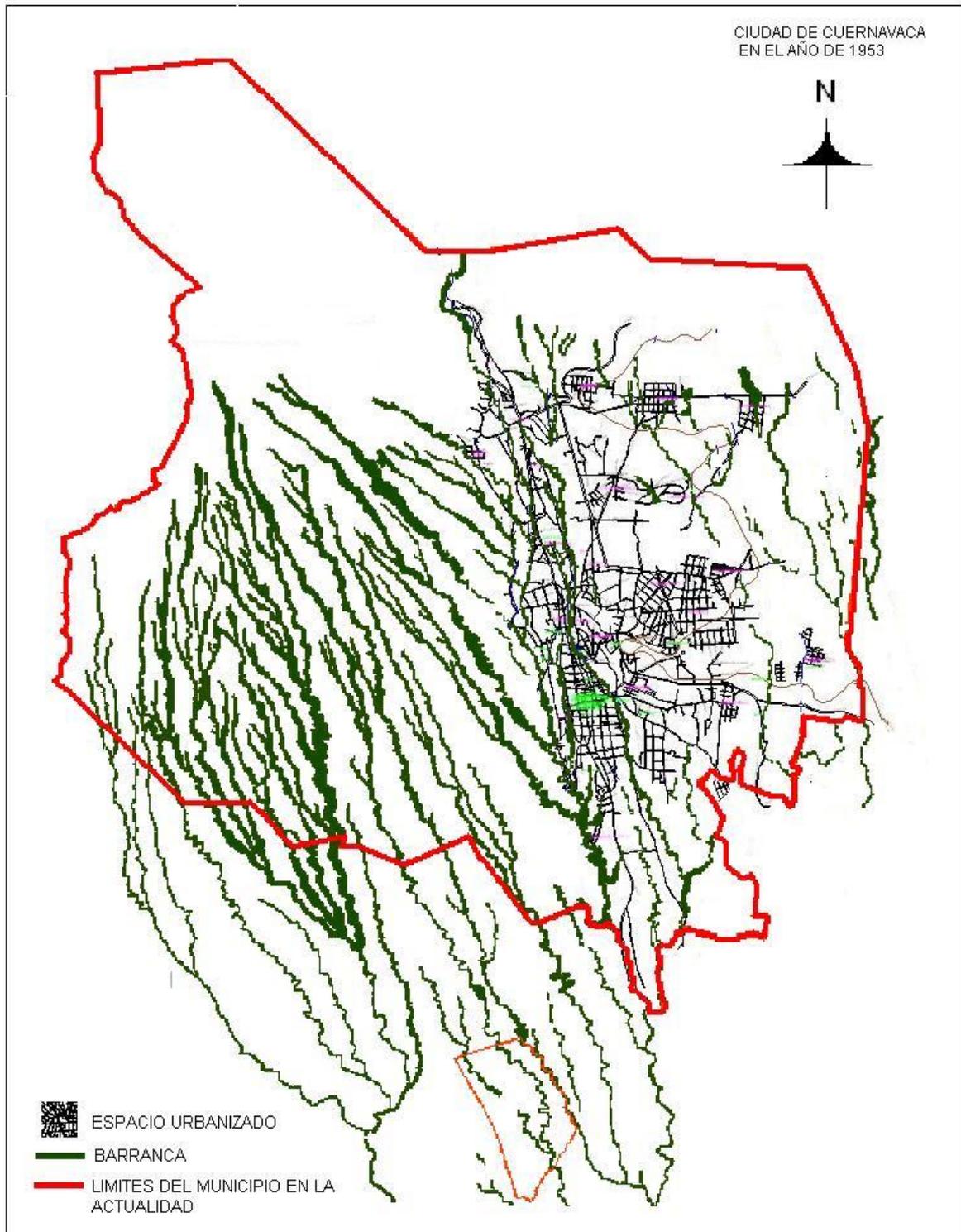


Fig 2.13 Ciudad de Cuernavaca en 1953

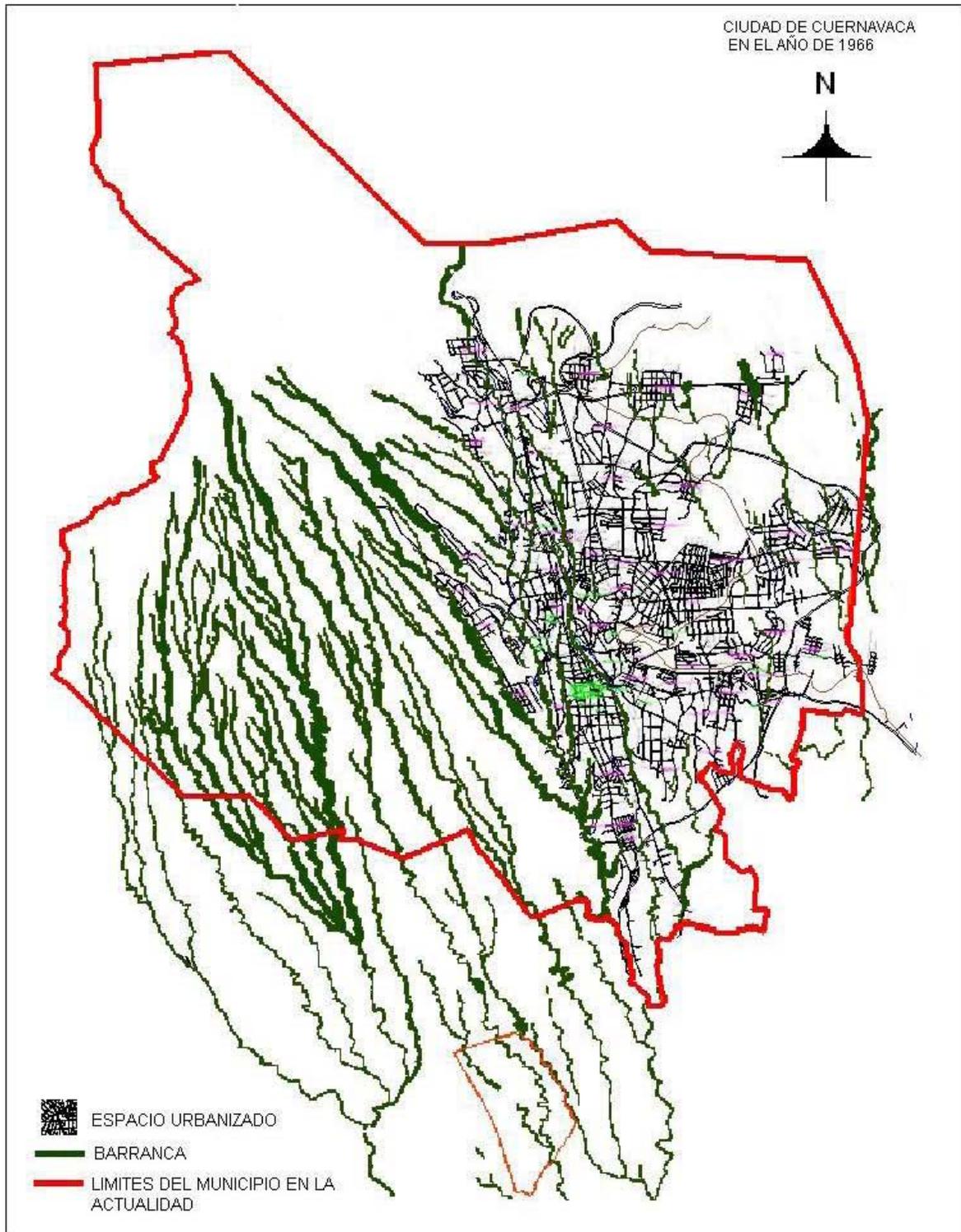


Fig 2.14 Ciudad de Cuernavaca en 1966

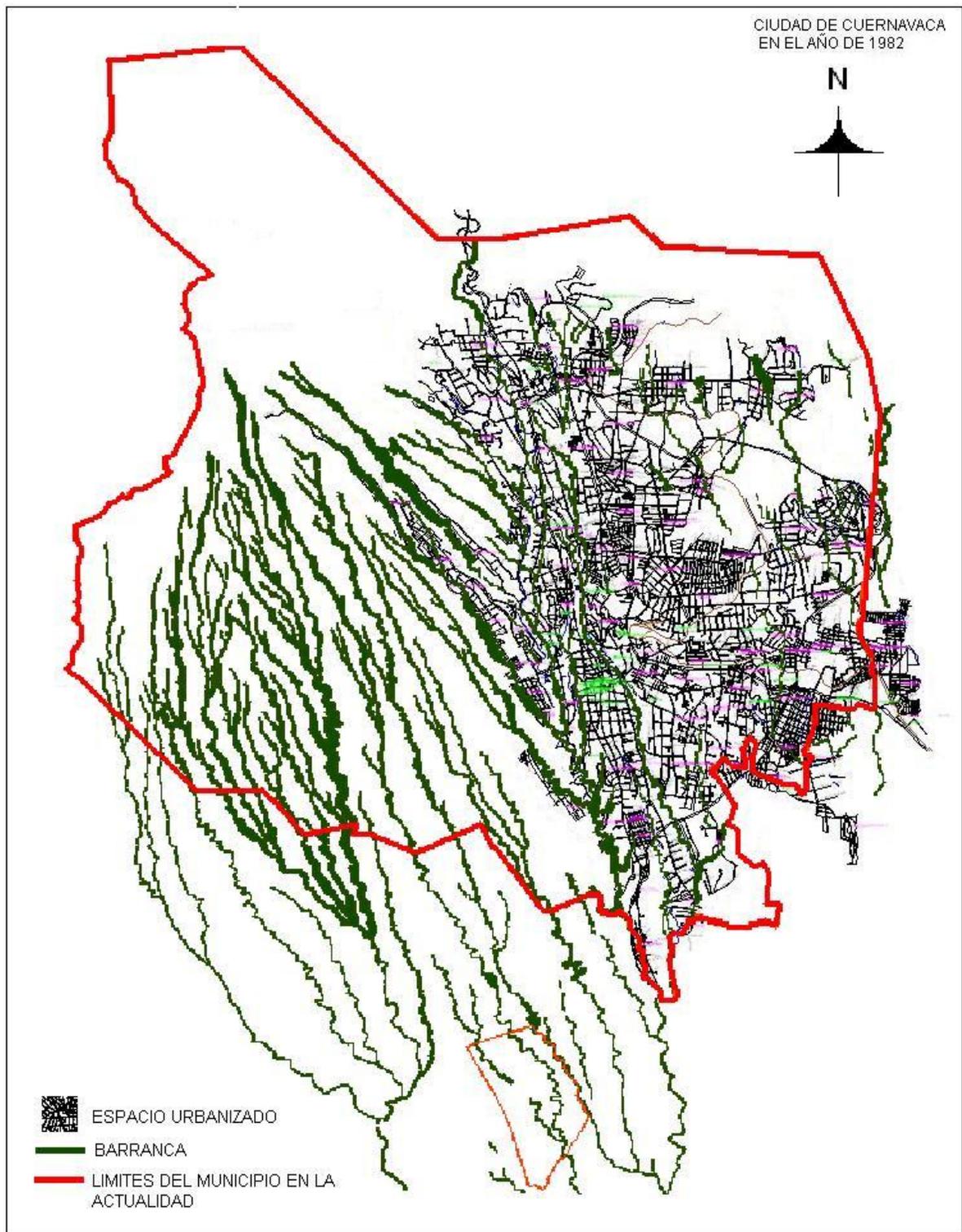


Fig 2.15 Ciudad de Cuernavaca en 1982

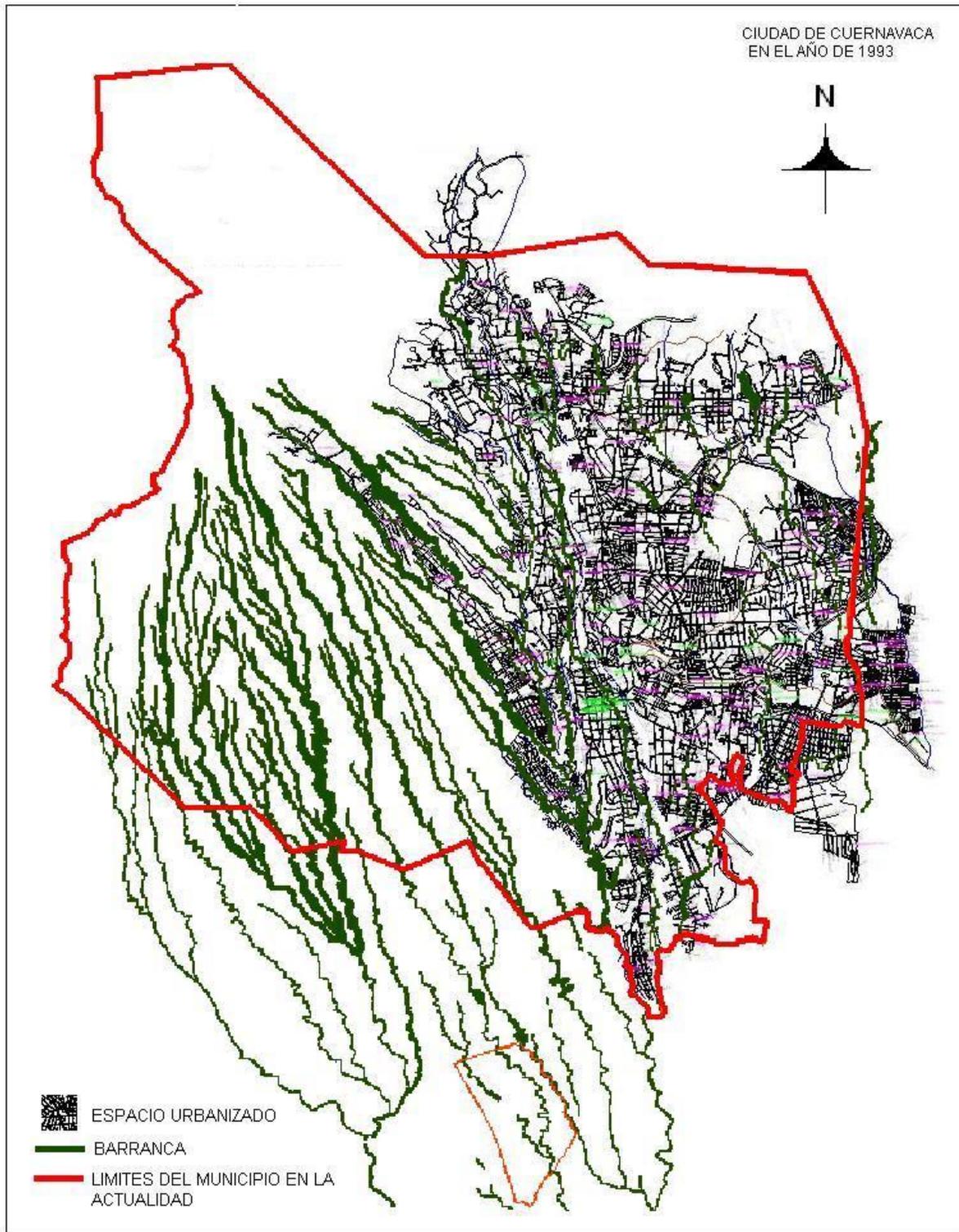


Fig 2.16 Ciudad de Cuernavaca 1993

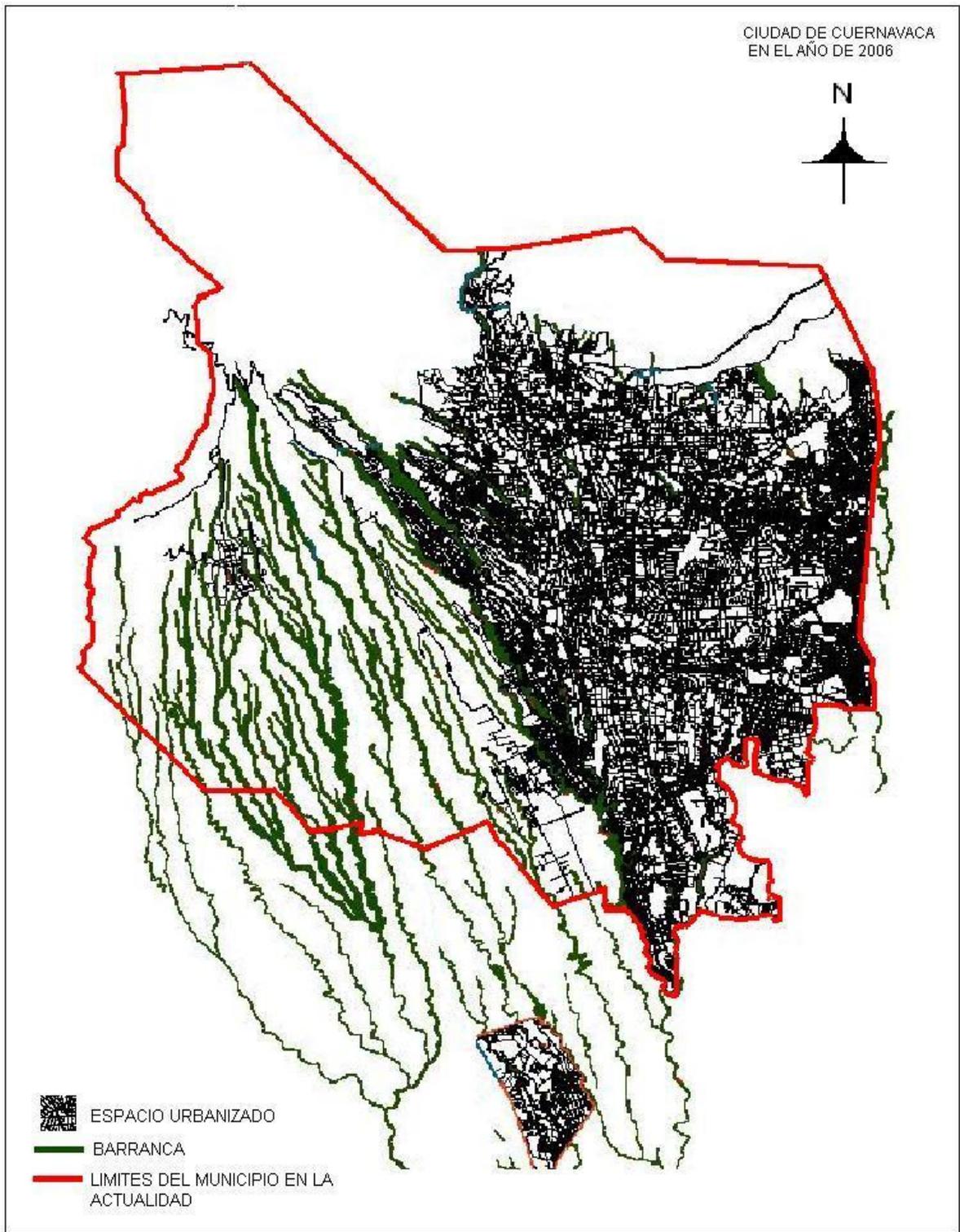


Fig 2.17 Ciudad de Cuernavaca 2006

2.6 Proceso de urbanización del municipio de Cuernavaca

Como se señaló anteriormente, el territorio cuernavacense es preponderantemente ejidal y comunal; según las leyes de la República¹⁰ las tierras ejidales y comunales, hasta 1992, no se podían transferir, ni vender, ni comprar; aunque sí se podían ceder, si se contaba con la aprobación en cada caso de la respectiva asamblea y el presidente, como un mecanismo de herencia de suelo de padres a hijos. En relación con esta circunstancia, José Pacheco indica que:

Estas condiciones singulares no encajan con la lógica capitalista de conformación de ciudades y ha inducido sobremanera al debate a centrarse en el conocimiento de los modos de apropiación (por agentes inmobiliarios privados, profesionales y no profesionales) de ese tipo de terrenos o suelos, para ser incorporados al uso urbano. (Pacheco 2007)

Acorde a lo dicho por este autor, Enrique Díaz-Mora (2011) señala que, siendo esta característica del suelo social un importante *obstáculo* al capital, en 1992 bajo la presidencia de Carlos Salinas de Gortari, se modificó el artículo 27 constitucional, para permitir —entre otros cambios— la transformación de tierras de propiedad social en propiedad privada, lo que en Cuernavaca y en muchas otras localidades del país, ha constituido una acción facilitadora por parte de los gobiernos para la reapropiación territorial por parte del capital. Es así como el proceso de urbanización se ha dado sobre suelo social transformado a privado. Según José Pacheco (2007), el proceso de expansión de la mancha urbana sobre suelos agrícolas transformados a privados no fue consecuencia directa del incremento de población, sino de mecanismos de mercado de suelo urbano y actividades de agentes inmobiliarios especializados, que: «respondieron a la demanda de vivienda en segunda residencia y a una muy temprana idea de especulación inmobiliaria a futuro»

La urbanización de Cuernavaca ha respondido en gran parte a intereses económicos de fuertes grupos políticos y económicos; en la base del proceso se cuentan diversas expropiaciones gubernamentales y venta de lotes a particulares, y despojos directos, lo que ha dado origen a una de las dos vertientes que tiene la urbanización en Cuernavaca: la de los Fraccionamientos Residenciales, dirigidos a las clases sociales medias-altas y altas, con dotación suficiente de servicios. Aunque como será visto en los capítulos V y VI de este

¹⁰ Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y la Ley Federal de la Reforma Agraria.

documento, el servicio de alcantarillado —con una aparente amplia cobertura— en realidad es insuficiente e ineficiente.

El incremento de colonias populares o proletarias, que en parte obedeció a las tendencias de inmigración campo-ciudad —características de América Latina— también es causa de la desaparición de estos suelos de carácter social. Esta segunda vertiente de la urbanización del Municipio no ha tenido correspondencia con la actualización y modernización de la infraestructura urbana, lo que ha propiciado una problemática compleja. La autoridad señala:

La incorporación de suelo ejidal y comunal al uso urbano, generó la aparición de numerosos asentamientos irregulares, no sólo desde el punto de vista jurídico sino también en su estructura urbana. (H. Ayuntamiento de Cuernavaca 2006)

A fin de ilustrar lo anterior, presento en la figura 2.18 una imagen del estado de la tenencia de la tierra y proceso de urbanización en Cuernavaca, elaborada por José Pacheco (2002) y adaptada para este trabajo de investigación, donde se observan las áreas correspondiente a la propiedad privada y las tierras ejidales y comunales en el año de 1977, y también se muestra la incorporación de suelo social a la propiedad privada en un lapso de 20 años (de 1977 a 1997). Esta imagen explica claramente de manera cualitativa el proceso de la expansión del suelo urbano, y la manera en que ha crecido la ciudad de Cuernavaca.

Como ocurre a lo largo y ancho del territorio nacional, lo anterior ha generado una compleja problemática que la Comisión para la Regularización de la Tenencia de la Tierra (CORETT) ha abordado en Cuernavaca. Sobre las formas que adquiere el proceso de urbanización de tierras ejidales y comunales, el Ayuntamiento señala también lo siguiente:

Como una alternativa para adquirir terreno a menor costo y con facilidades de pago, se continúan fraccionando las tierras ejidales y comunales de Ocotepc y Ahuatepec por terceras personas quienes compran la tierra en breña a los comuneros para luego lotificarla y sacarle mayor provecho. (H. Ayuntamiento de Cuernavaca, 2006)

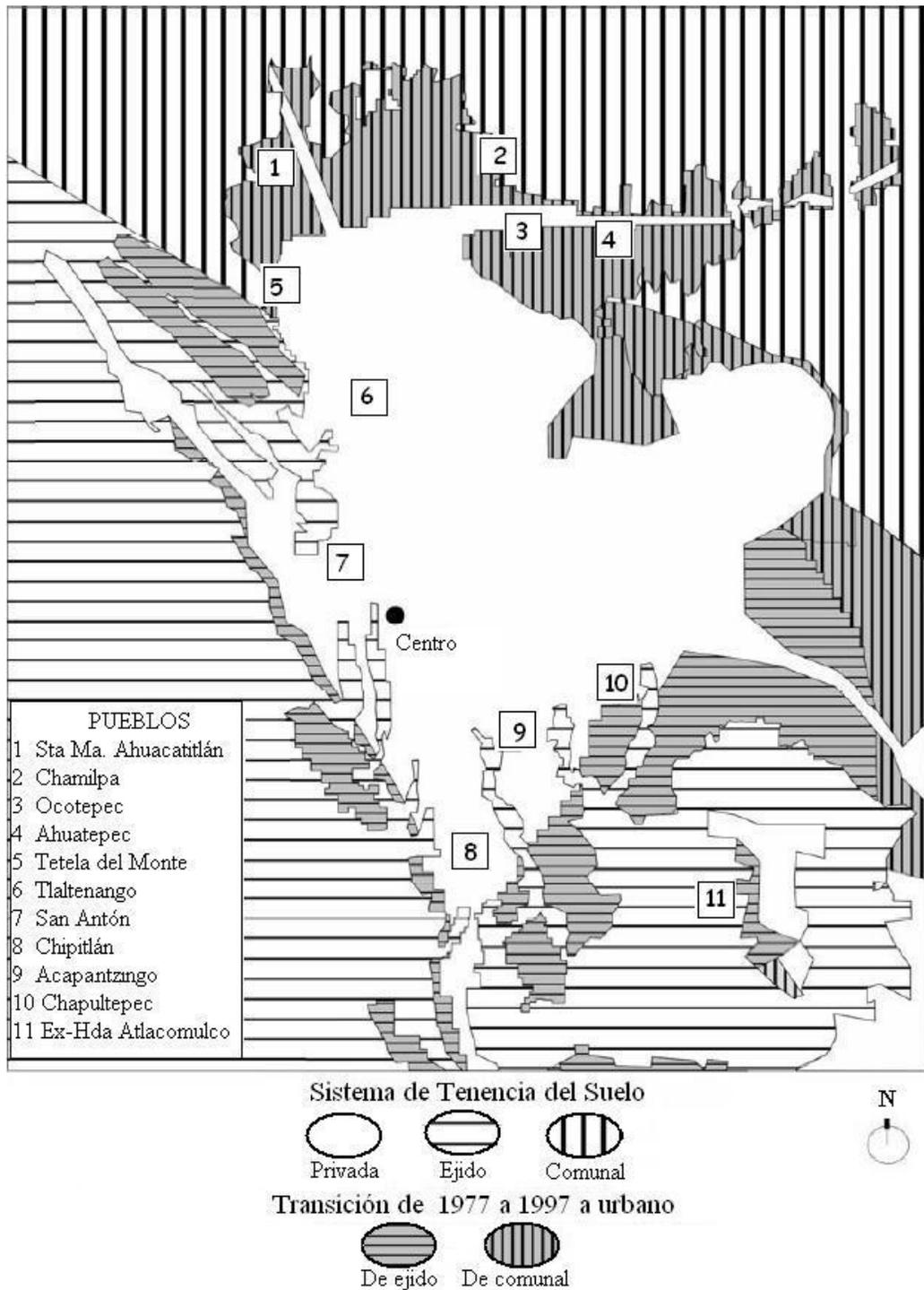


Figura 2.18 Tenencia del Suelo en Cuernavaca en 1997

Fuente: Imagen modificada a partir de Pacheco (2007)

2.7 Problemática urbana

Como una consecuencia directa de la manera en que ha sido urbanizado el territorio cuernavacense, enseguida enuncio de manera sintética los problemas urbanos que adolece el municipio de Cuernavaca.

- Asentamientos irregulares ubicados en zonas federales, y áreas ejidales y comunales; dentro de los que destacan los asentamientos humanos en barrancas.¹¹
- La cobertura de la red municipal de alcantarillado es limitada e ineficiente, lo que da origen a descargas de aguas residuales crudas a cauces y barrancas, tanto de las viviendas de manera directa como de las *redes mismas*, con su consecuente contaminación y destrucción.
- La contaminación por residuos sólidos, su procesamiento y disposición, en detrimento del suelo, agua, aire y entorno natural.
- La ausencia de alcantarillado pluvial o combinado en gran parte de la estructura vial de la ciudad, que aunado a la contaminación de residuos sólidos, provocan inundaciones y arrastre de sólidos y basura a cauces y barrancas.
- Deficiencias en el abasto de agua potable en época de estiaje y contaminación de mantos freáticos.
- Vialidades insuficientes en dirección oriente - poniente, debido a la presencia de barrancas en dirección norte a sur que fungen como bordes naturales que generan congestión vial.
- Equipamiento insuficiente en cuestiones de educación —en específico en *educación ambiental*— y salubridad, orientada a la preservación de los espacios naturales como cauces y barrancas.

De los cuales, se aborda en este trabajo de investigación el correspondiente a los sistemas de alcantarillado y descarga de aguas residuales a cauces y barrancas como objeto de estudio.

¹¹ Asentamientos que no necesariamente son de viviendas en condiciones precarias.

Capítulo 3. Sistemas de alcantarillado: ingeniería y tecnología.

Una ciudad no puede subsistir sin el abastecimiento de agua potable. El suministro resulta una necesidad fundamental para sus habitantes, pero una vez utilizada ésta, la ciudad genera aguas residuales. En este capítulo se presentan las principales características de las aguas residuales, así como la tecnología básica necesaria para coleccionar, transportar, tratar, verter y reutilizar esas aguas; tecnología que debe contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes y generar el menor impacto posible al ambiente. También se abordan técnicas alternativas para el desalojo de residuos líquidos así como técnicas que no utilizan agua como vehículo para el desalojo de excretas.

3.1 Aguas residuales: definición y características

Es necesario abordar en primera instancia una caracterización del concepto de aguas residuales para entender su naturaleza, composición e impacto al medio ambiente. El término *aguas residuales* se define como:

Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas (NOM-001- SEMARNAT -1996)

Las aguas pluviales, superficiales y en ocasiones las de origen subterráneo, se pueden incorporar también a esta composición variada.

El agua —a diferencia del aire— tiene una composición precisa (H₂O) y por lo tanto, es fácil identificar los compuestos ajenos a ella. Como resultado de sus diversos usos descritos en

la definición anterior, el agua residual contiene una serie de contaminantes, los cuales son generadores de impactos negativos al medio ambiente; la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA 2011) define como *contaminante* a:

Toda materia o energía en cualesquiera de sus estados físicos y formas, que al incorporarse o actuar en la atmósfera, agua, suelo, flora, fauna o cualquier elemento natural, altere o modifique su composición y condición natural.

Para la caracterización de las aguas residuales, es necesario introducir el concepto *calidad del agua*, el cual se refiere «al conjunto de características físicas, químicas y biológicas, clasificadas en relación con características modelo determinadas» (Jiménez 2001); las características modelo a cumplir al ser vertidas, para la República Mexicana, se encuentran en la Normas Oficiales Mexicanas (NOM)¹.

Las características físicas, químicas y biológicas de a las aguas residuales se describen a continuación:

Características físicas

Sólidos

El contenido total de sólidos, engloba en este término a la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal² y la materia disuelta.

Se define el contenido de sólidos totales a la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación entre 103 y 105°C. Los sólidos sedimentables se definen como aquellos que sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica (Cono de Imhoff) en el transcurso de un periodo de 60 minutos.

Los sólidos totales pueden ser o no filtrables; la fracción filtrable de los sólidos corresponde a los sólidos disueltos totales. La fracción no filtrable de los sólidos corresponde a los sólidos suspendidos totales. Ambas categorías de sólidos pueden ser divididas en función de su volatilidad a 550 ± 50 °C, a esta temperatura, la fracción orgánica se oxidará y

¹ Véase: *Vertido de efluentes* en el subcapítulo 3.3 «Tratamiento de aguas residuales», donde se indican las NOM a cumplir en función del sitio de vertido o reutilización de las aguas residuales.

² La materia coloidal «Tiene un diámetro equivalente entre 0.001 y 1µm y se caracteriza por tener una sedimentación muy lenta» (Jiménez 2001). Un µm equivale a una milésima parte de un milímetro, es decir, a una millonésima parte de un metro (10^{-6} m)

dispersará en forma de gas, dejando a la parte inorgánica en forma de cenizas. Los *sólidos filtrables* que se volatilizan se denominan sólidos disueltos volátiles y los que permanecen en forma de ceniza son los sólidos disueltos fijos. Los *sólidos no filtrables* que se volatilizan se denominan sólidos suspendidos volátiles y los que permanecen en forma de ceniza son los sólidos suspendidos fijos.

Olor

Los olores en las aguas residuales son causados por los gases liberados por la descomposición de la materia orgánica, formando metano (CH_4), sulfuro de hidrógeno (H_2S), amoníaco (NH_3) y dióxido de carbono (CO_2), principalmente. La problemática de los olores se considera de vital importancia, tanto para el diseño de redes de alcantarillado, la ubicación de las plantas de tratamiento y la correcta evacuación de las aguas residuales, debido a lo desagradables que son; surtiendo así efecto negativo en la población como lo son náuseas, reducción de apetito y en general una disminución de la calidad de vida. En un sistema de alcantarillado debe haber una adecuada ventilación para que no se acumulen dichos gases, pues resultan venenosos y altamente explosivos.

Temperatura

En el agua residual, es una medida de la cantidad de calor contenida en ella, siendo ésta un poco mayor, por lo general, de la correspondiente al agua de abastecimiento. La temperatura influye sobre la tasa de crecimiento microbiológico, reacciones químicas y solubilidad de los contaminantes. Interviene también en la solubilidad del oxígeno en el agua, la cual es inversamente proporcional a la temperatura.

Color

El agua residual reciente tiene un color grisáceo y mientras transcurre el tiempo y su proximidad a *condiciones anaerobias*³, el color cambia a gris oscuro hasta llegar a negro. El color indica de esta manera la edad del agua residual.

Turbiedad

³ Las condiciones anaerobias en el agua residual indican la ausencia de oxígeno disuelto en ella, lo cual favorece la existencia de bacterias anaerobias que generan olores desagradables.

Es una medida de la transmisión de luz en el agua, una característica empleada para indicar la calidad de la misma y en el caso de agua residual, se da en relación con la materia que tiene tanto en suspensión como en estado coloidal.

Características químicas.

Materia orgánica

Cerca del 75% de los sólidos suspendidos (no filtrables) y 40% de los sólidos disueltos (filtrables) de un agua residual promedio son de naturaleza orgánica. La materia orgánica presente en las aguas residuales es de origen animal, vegetal y de compuestos orgánicos sintéticos de manufactura humana. Los compuestos orgánicos están formados normalmente por combinaciones de carbono, hidrógeno, nitrógeno y oxígeno, es posible la presencia de azufre, fósforo o hierro. Los principales grupos de materia orgánica que se encuentran en el agua residual son las proteínas, carbohidratos, grasas y aceites.

Para medir el contenido orgánico, son utilizados diversos parámetros indirectos: La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_{5-20})⁴ es la medida de la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para degradar la materia orgánica en el agua en 5 días a 20°C. La DBO nos da una idea de la biodegradabilidad de la materia orgánica, se mide en $mg\ O_2/l$ (miligramos de oxígeno por litro). La Demanda Química de Oxígeno (DQO) es la medida de la concentración de las sustancias que en agua pueden ser atacadas por un oxidante fuerte, tal como el dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) a altas temperaturas (350°C). La DQO no siempre guarda relación con la DBO aunque por lo general, es mayor. El Carbono Orgánico Total (COT) indica el contenido total de carbono (C) en su forma orgánica.

pH

La concentración de iones hidruro H^+ es un parámetro de calidad de gran importancia tanto para el agua de abastecimiento como las aguas residuales, pues está muy estrechamente relacionada con la cuantía en que se disocian las moléculas de agua (en iones hidruro H^+ e hidroxilo OH^-). La determinación del pH es una característica determinante en el momento de la elección del tratamiento biológico a utilizar. El valor de pH es el cologaritmo de la concentración de los iones hidrogeno, la escala de valores varía entre 0 y 14; si los valores se

⁴ A la DBO_{5-20} se le refiere simplemente como DBO

encuentran por debajo de 7 la solución es ácida, si su valor es 7 se dice que es neutra y si rebasa este valor entonces es alcalina.

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

Alcalinidad

Es la concentración de iones hidroxilo (OH^-) que hay en solución. La alcalinidad expresa la capacidad que tiene un agua de mantener su pH a pesar de recibir una solución ácida o alcalina, midiendo la concentración de iones hidroxilo, bicarbonatos y carbonatos. La alcalinidad se determina mediante la titulación con un ácido y el resultado se expresa en $\text{mg CaCO}_3 / \text{l}$ (miligramos de carbonato de calcio por litro).

Nitrógeno

El nitrógeno es en la mayoría de los casos —como el fósforo en otros— el principal elemento que sirve como nutriente a ciertos microorganismos, pues es básico para la síntesis de proteínas y es necesario conocer su cantidad para valorar la posibilidad de un tratamiento mediante procesos biológicos en las aguas residuales. Puede presentarse en diferentes estados de oxidación: nitrógeno orgánico N^{3-} (-3 a -1), nitrógeno amoniacal, en forma de amonio NH_4^+ ($+3$), nitritos NO_2^- ($+3$), y nitratos NO_3^- ($+5$) presentes como producto del metabolismo bacteriano.

Metales pesados.

Los metales en aguas residuales indican una contaminación industrial, son tóxicos, y están catalogados muchos de estos como contaminantes prioritarios, destacan entre éstos, el níquel (Ni), el manganeso (Mn), el mercurio (Hg), el plomo (Pb), el cadmio (Cd), el zinc (Zn) y el hierro (Fe).

Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto es necesario para la respiración de los *microorganismos aerobios*⁵, así como para otras formas de vida, siendo así un parámetro importante para evaluar la calidad del agua. En aguas residuales la ausencia de oxígeno genera olores desagradables debido a la descomposición anaerobia de la materia orgánica, entonces, para evitar la formación de dichos olores, es deseable y conveniente disponer de cantidades de oxígeno disuelto suficientes

⁵ Los microorganismos aerobios son aquellos que necesitan oxígeno para poder sobrevivir.

Características biológicas

La degradación de la materia orgánica contenida en las aguas residuales, es el resultado de la actividad que desarrollan los microorganismos que la utilizan como alimento. También es importante considerarlos desde el punto de vista de la salud pública, pues muchos de ellos son organismos *patógenos*⁶

Una clasificación de microorganismos conveniente es la que realiza la Dra. Jiménez Cisneros (2001) en tres apartados:

- De acuerdo a los requerimientos de oxígeno:

Aerobios: necesitan la presencia de oxígeno libre para vivir.

Facultativos: subsisten preferentemente en un ambiente con oxígeno, pero pueden vivir sin él.

Anóxicos: en ausencia de oxígeno disuelto, emplean el oxígeno oxígeno combinado, como el dióxido de azufre (SO₂) o los óxidos de nitrógeno (NO_x).

Anaerobios: Sólo pueden vivir en ausencia de oxígeno.

- De acuerdo con la temperatura de desarrollo óptimo:

Sicrofílicos: viven en 0 °C.

Mesofílicos: los más comunes viven entre 15 y 40 °C.

Termofílicos: se desarrollan entre 50 y 70 °C.

- Según sea el tipo de microorganismos:

Algas: organismos microscópicos que requieren de la luz para realizar funciones vitales.

Bacterias: Microorganismos unicelulares, con o sin núcleo definidos o no por una membrana, todos carentes de membrana nuclear. Las hay aerobias y anaerobias, dependiendo de su demanda de oxígeno. Sus formas pueden ser alargadas (bacilos), esféricas (cocos) o espirales (espirilos), se reproducen por bipartición (división celular sencilla) o por esporas; las hay no patógenas, oportunistas o patógenas. Emplean el alimento en forma soluble. El papel que desempeñan las bacterias en el proceso de descomposición y estabilización de la materia orgánica, tanto en el marco natural como en las plantas de tratamiento, son de gran importancia; aunque también cobran importancia dentro del marco de la salubridad, pues

⁶ Patógeno: «que origina y desarrolla una enfermedad» (RAE 2007)

algunas son causantes de problemas gastrointestinales, cólera, tifoidea y salmonelosis, entre otras.

Hongos: son pluricelulares, obtienen sus nutrientes de la materia orgánica en descomposición y junto con las bacterias son responsables de la descomposición de carbono en la biosfera.

Protozoarios: también llamados protozoos, son organismos unicelulares más complejos que las bacterias, algunos de ellos son patógenos como por ejemplo las amebas.

Virus: Son los microorganismos más pequeños que existen, compuestos de proteínas y ácidos nucleicos formados por un cordón de material genético —ácido desoxirribonucleico (ADN) o ácido ribonucleico (RNA)— únicamente se pueden reproducir en el núcleo de células vivas específicas, utilizando el metabolismo de las mismas. Son parasitarios y por razones de salud pública, son muy importantes en el tratamiento de las aguas residuales.

Los microorganismos patógenos que se encuentran en las aguas residuales pueden proceder de desechos humanos que estén infectados y para identificar su presencia, se emplean organismos indicadores; de ellos, los más utilizados son los coliformes y los estreptococos fecales⁷. Los coliformes pueden ser fecales, e indican una contaminación por excretas de animales de sangre caliente, incluyendo a los humanos (heces) y los no fecales; la suma de ambas se conoce como coliformes totales. Esta división es útil pues la presencia de coliformes no siempre es sinónima de contaminación con residuos humanos. El grupo de los estreptococos fecales se utiliza para determinar las fuentes de contaminación fecal reciente.

Constitución típica de las aguas residuales domésticas

Existen ciertos constituyentes contaminantes típicos en el agua residual doméstica, aunque pueden variar —en existencia y grado de concentración— en función de la hora del día, el día de la semana, del mes del año y de diversas condiciones climatológicas; pero en general, los contaminantes que se presentan típicamente en el agua residual doméstica —no necesariamente suficientes para una caracterización completa— se presentan en la tabla 3.1.

⁷ López Ruiz (2003) considera organismo indicador a los estreptococos fecales, mientras que Metcalf & Eddy (1995) argumenta su impedimento como tal.

Tabla 3.1 Composición típica del agua residual doméstica

Contaminantes	Concentración		
	Baja	Media	Fuerte
Sólidos totales	350	720	1,200
Sólidos disueltos totales	250	500	850
Sólidos disueltos fijos	145	300	525
Sólidos disueltos volátiles	105	200	325
Sólidos suspendidos totales	100	220	350
Sólidos suspendidos fijos	20	55	75
Sólidos suspendidos volátiles	80	165	275
Sólidos sedimentables en ml/l	5	10	20
DBO ₅₋₂₀	110	220	400
DQO	250	500	1000
Carbono orgánico total	80	160	290
Nitrógeno total	20	40	85
Nitrógeno orgánico	8	15	35
Amoniacaco libre	12	25	50
Nitritos	0	0	0
Nitratos	0	0	0
Fósforo total	4	8	15
Fósforo orgánico	1	3	5
Fósforo inorgánico	3	5	10
Alcalinidad (como CaCO ₃)	50	100	200
Grasa	50	100	150
Coliformes totales en NMP/100ml	10 ⁶ -10 ⁷	10 ⁷ -10 ⁸	10 ⁷ -10 ⁹
Coliformes fecales en NMP/100ml	10 ³ -10 ⁵	10 ⁴ -10 ⁶	10 ⁵ -10 ⁸

Fuente: Tabla modificada a partir de la tabla de Metcalf & Eddy (1995)

El agua residual puede ser fresca, séptica, o estabilizada. Se considera fresca cuando es recién contaminada; aún contiene oxígeno disuelto y combinado; es de color gris y con muchos sólidos suspendidos. Es séptica cuando no contiene oxígeno disuelto, por ende hay actividad microbiana anaerobia, su color es negro y el olor es completamente desagradable debido a la presencia de sulfuro de hidrógeno ó Ácido sulfhídrico (H₂S). El agua es

estabilizada cuando nuevamente contiene oxígeno disuelto, su olor es ligero o nulo y tiene apariencia translúcida.

El conocimiento de la composición de las aguas residuales, es la directriz en la elección del tipo de tratamiento requerido específico para cada comunidad, población, municipio o ciudad bajo saneamiento; por ello, considerando el concepto de calidad del agua, se deberá cumplir con las características modelo contenidas en la normatividad vigente.

Las aguas residuales contienen de manera usual enormes contenidos de microorganismos patógenos causantes de una diversa gama de enfermedades, así como materia orgánica que al descomponerse provoca grandes emisiones de gases con olores pestilentes, y en el caso de las aguas de origen industrial, desechos que contienen compuestos tóxicos. Debido a esto, el desalojo de las aguas residuales se vuelve una necesidad fundamental para el ser humano; necesidad que debe ser resuelta mediante los sistemas de alcantarillado para el mejoramiento de las condiciones de vida de la población y el cuidado de la salud colectiva, adaptando el ambiente físico mediante la infraestructura necesaria. Pero la visión antropocéntrica de la función de los sistemas de alcantarillado no es una justificación suficiente, puesto que las aguas residuales son un factor para la contaminación y destrucción del entorno natural, haciendo que dichos sistemas resulten de gran importancia para su conservación.

3.2 Alcantarillado

Definición, tipos y características

Alcantarillado es el *sistema* de conductos subterráneos denominados alcantarillas, accesorios y obras complementarias —incluyendo plantas de tratamiento— destinados a la colección y transporte de aguas residuales, de lluvia o la combinación de ambas para conducir las, tratarlas y verterlas a un punto de disposición final⁸, o para ser reutilizadas.

A partir de esta definición, los sistemas de alcantarillado pueden clasificarse —de acuerdo a su propósito— de tres maneras: alcantarillado sanitario, que recauda a las aguas residuales de origen doméstico, comercial e industrial; alcantarillado pluvial, para permitir la

⁸ En muchas ocasiones las alcantarillas conducen el agua directamente al punto de descarga sin el tratamiento previo.

captación y el rápido desalojo de aguas de lluvia y el combinado, destinado para aguas residuales en mezcla con aguas de lluvia.

Para el diseño de los sistemas de alcantarillado sanitario, es necesario considerar el tipo de uso de suelo de la zona a servir —zona habitacional, industrial o comercial— y determinar el número de habitantes y su proyección su crecimiento durante un periodo de diseño; su dotación de agua potable, y estimar su consecuente aportación de aguas residuales. Con estos datos hidráulicamente se deben determinar los gastos de diseño para el dimensionamiento de las tuberías, las pendientes y velocidades mínimas y máximas que permitan un funcionamiento adecuado. La definición del trazado de la red deberá tomar en cuenta las menores longitudes posibles al sitio de tratamiento y vertido acorde a la topografía y configuración urbana del lugar.

En el diseño de los sistemas de alcantarillado pluvial, debe ser definido el trazo y ser recabada información pluvial de las estaciones climatológicas dentro y cerca de la zona a drenar, para poder determinar la tormenta o lluvia de diseño empleando las curvas de intensidad – duración – periodo de retorno a partir de análisis estadísticos de frecuencias, o a partir de isoyetas de intensidad de lluvia emitidas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Posteriormente se determinan los gastos de diseño para el dimensionamiento de las tuberías y estructuras complementarias mediante modelos de lluvia-escurrimiento, siendo uno de los más utilizados el Método Racional Americano, en el cual se relacionan como variables a la intensidad de lluvia asociada a una superficie de cuenca vertiente tributaria y a un coeficiente de escurrimiento.

Los sistemas de alcantarillado combinados captan y transportan tanto aguas residuales como pluviales, por lo que en apariencia son más económicos, pero debido a los altos volúmenes de agua que implican ser manejados en plantas de tratamiento, resulta conveniente diseñar y construir sistemas separados, pues esto permite la utilización de plantas de tratamiento de dimensiones y costos menores y un aprovechamiento adecuado de las aguas pluviales captadas, las cuales pueden ser reutilizadas con un tratamiento ligero o inclusive sin tratamiento.

Existen diferentes tipos de conductos en un sistema típico de alcantarillado para una ciudad, los cuales poseen funciones diferentes:

Albañales: Se utilizan en los sistemas de alcantarillado sanitario, captan las aguas residuales generadas en un predio y las canalizan hacia una atarjea, por lo general sus dimensiones son de 0.20 m de diámetro.

Atarjeas: Reciben las aguas residuales proveniente de los albañales o las aguas pluviales de las coladeras y rejillas para ser conducidas hacia un colector, sus dimensiones en general son de 0.30, 0.38 y 0.45 m de diámetro.

Colectores: Son alcantarillas de un tamaño mayor que transportan el agua residual de las atarjeas u otros colectores hacia interceptores o emisores, sus dimensiones son de 0.61, 0.76, 0.91, 1.07, 1.22, 1.52, 2.13 y 3.05 m de diámetro

Interceptores: Son colectores utilizados para interceptar y recoger el agua residual de uno o varios colectores.

Emisor: Es el conducto que transporta los volúmenes de agua captado por todo el sistema de tuberías que constituye a la red de alcantarillado, hasta la planta de tratamiento. Las dimensiones de los emisores son los mismos que para los colectores

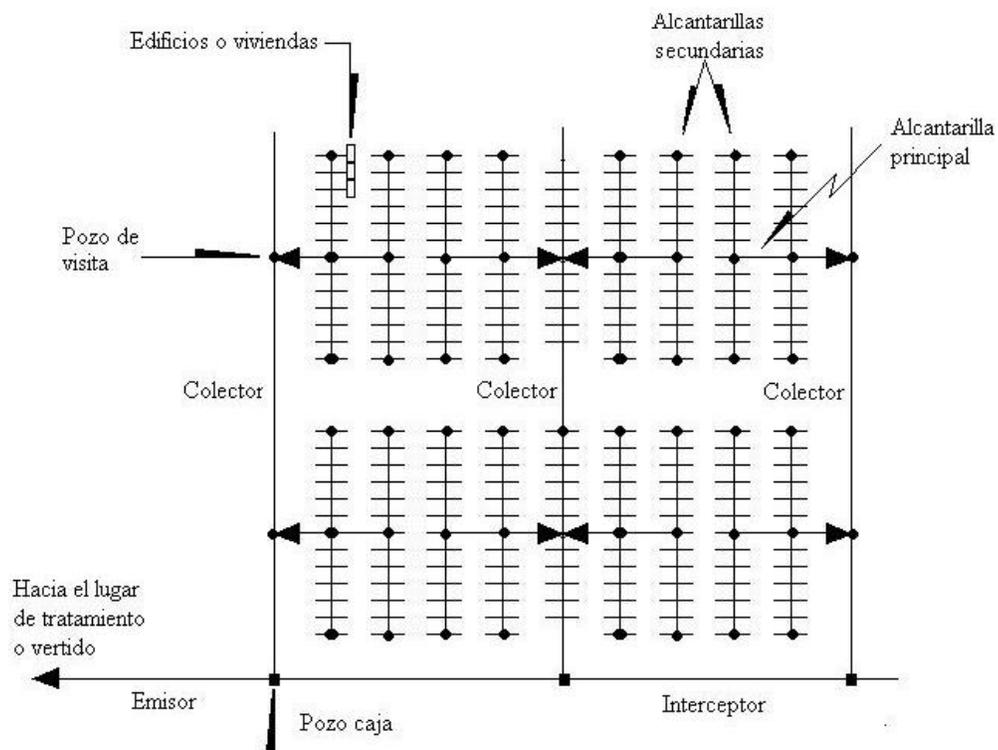


Fig 3.1 Representación esquemática de los diversos tipos de alcantarillas

La circulación en los sistemas de alcantarillado es por gravedad, aunque también pueden trabajar a presión los colectores, interceptores y emisores en los sistemas pluviales o combinados, debido a los gastos de origen pluvial que pueden llegar a presentarse.

Las redes de atarjeas se trazan de manera usual de tres maneras:

En bayoneta: La configuración de este trazo presenta atarjeas en zigzag por las calles, sin confluir en los pozos de visita las medias cañas correspondientes, manteniendo sus gastos por separado.

En peine: Este trazo se configura por atarjeas perpendiculares a otra atarjea de mayor diámetro, o a un colector, el cual recibe las aguas recolectadas.

Combinado: Como su nombre lo indica, este trazo tiene las características de los dos anteriores.

Algunos de los trazados que pueden realizarse para colectores, interceptores o emisores, son los siguientes:

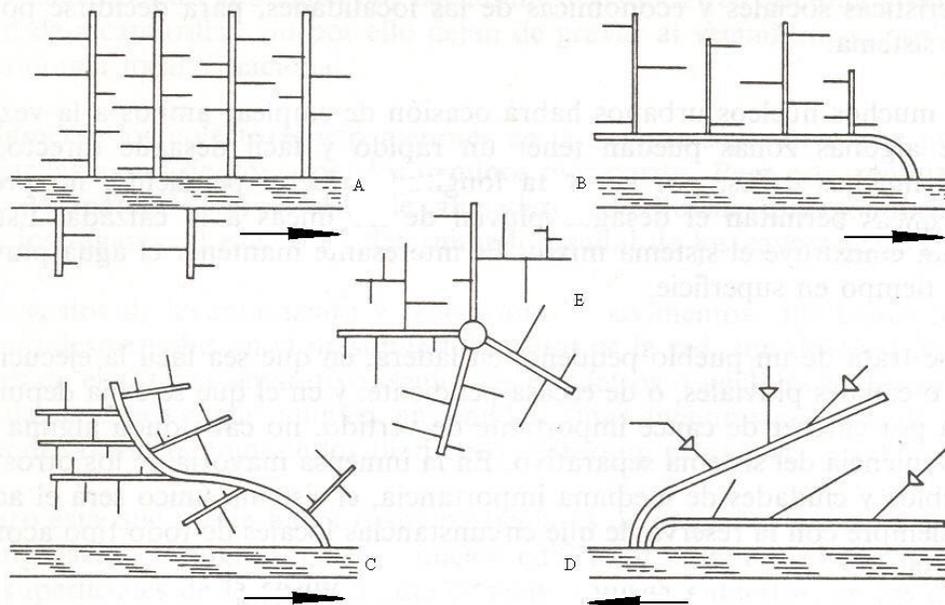


Fig
3

.2 Trazados posibles de evacuación por gravedad

- A. Canalización transversal, donde se evacua directamente al cuerpo receptor de manera perpendicular, sin previo tratamiento, bajo el argumento que debido a que el cuerpo receptor deben ser ríos de gran caudal, se presenta una dilución de las aguas residuales.

Debido a los altos niveles de contaminación en los cuerpos de agua, en la actualidad este trazado debe estar fuera de aplicación.

- B. Canalización transversal con emisor, donde puede instalarse algún sistema de tratamiento después de recolectada el agua y antes de su disposición al cuerpo receptor. El emisor es paralelo y con una pendiente similar al río hasta el punto de vertido.
- C. Canalización longitudinal o por zonas, mediante colectores paralelos al cauce y un emisor con que permita el tratamiento y descarga en un punto
- D. Canalización en abanico, realizado a base de colectores ramificados hacia diferentes zonas, y reunidos en un lugar para el vertido; al igual que la canalización transversal, no es aplicable en la actualidad si no hay tratamiento previo.
- E. Canalización radial, donde se sanea en varias zonas con canalizaciones independientes, cuyas aguas se reúnen después en algún punto donde se localice un cárcamo de rebombeo, o una planta de tratamiento.

Dependiendo de la población, de sus diversas necesidades, el terreno y su configuración urbana, así como el factor económico, es posible adoptar soluciones específicas en los trazados de acuerdo a condiciones concretas, que no correspondan con los esquemas mostrados, o que sean una combinación de ellos.

Los conductos de los sistemas de alcantarillado están conformados por tubos acoplados con un sistema de unión, dichos tubos pueden ser fabricados por diversos materiales, como lo son el concreto simple, el concreto armado, el fibrocemento, el cloruro de polivinilo (PVC) y el polietileno de alta densidad (PEAD); cada material presenta ventajas y desventajas que deben considerarse al momento de proyectar un sistema de alcantarillado.

Las alcantarillas de concreto simple y armado presentan beneficios económicos al no presentar altos costos de adquisición y mantenimiento, son durables, con juntas herméticas espiga campana con anillos de hule y tienen una amplia variedad en diámetros, siendo de concreto simple de 0.10 y hasta 0.61 m, y de concreto armado desde 0.30 m hasta 3.05 m y con cuatro grados de resistencia del concreto, son especialmente resistentes a las cargas externas, Como desventajas presentan un grado de fragilidad al momento de su colocación, son hidráulicamente menos eficientes que los tubos de otros materiales debido a la rugosidad interna que presentan, y son susceptibles a la corrosión. En el caso de emisores a presión, son recomendables los tubos de concreto pretensado, aunque representa un costo elevado.

La tubería de fibrocemento tiene un menor peso que las tuberías de concreto, lo que se traduce en procedimientos de transporte y colocación más sencillos. Su capacidad de conducción hidráulica es mayor que la de los tubos de concreto debido a un bajo coeficiente de fricción, su sistema de junteo a base de anillos de hule y coples proporciona hermeticidad, presentan resistencia a los sulfatos. Su desventaja es un costo de adquisición alto y fragilidad durante su transporte e instalación.

La tubería de cloruro de polivinilo $[(\text{CH}_2\text{-CHCl})_n]$ (PVC) se presenta en dos tipos de serie: la métrica y la inglesa, cada uno tiene tres clasificaciones de tipos de tubería acorde a la relación de diámetro exterior y espesor de la pared; también se encuentran en el mercado tuberías de PVC de pared estructurada. Su constitución es ligera, resistente a la corrosión, por lo que no necesitan protección anticorrosiva. Hidráulicamente es altamente eficiente debido a las paredes poco rugosas e impermeable por las características propias del material; es flexible, por lo que puede adaptarse ante movimientos diferenciales del terreno. Para la unión de tuberías existen dos posibilidades, mediante cementante o espiga campana con anillo elastomérico. Entre sus desventajas se encuentra su baja resistencia al intemperismo, que incide directamente en la calidad de sus características mecánicas, son frágiles en su manejo y son susceptibles al ataque de roedores. En el mercado hay disponibilidad de tamaños de hasta 0.91m de diámetro.

Los conductos de Polietileno de Alta Densidad (PEAD) se clasifican de acuerdo a su RD, que indica la relación diámetro con el espesor de la pared, y es indicador de su resistencia, la unión de los tubos es mediante termofusión. Tiene múltiples ventajas como una elevada resistencia a la corrosión, alta flexibilidad que permite la adaptación de la tubería ante movimientos del terreno o cargas externas, son herméticas, impermeables y ligeras por las propiedades intrínsecas del polietileno, son durables e impiden el desarrollo biológico en su superficie. Su instalación es rápida y su sistema de unión evita el uso de piezas especiales, aunque es necesaria mano de obra especializada en el procedimiento de unión, denominado termofusión, pues si esta es inadecuada puede presentar filtraciones a corto plazo. Su principal desventaja radica en el costo al ser elevado respecto a otros materiales.

Tomando en cuenta las ventajas de cada material, es posible determinar las cualidades exigibles a las alcantarillas, que en resumen, deben ser:

- Un funcionamiento hidráulico eficiente, es decir, que el agua residual circule dentro de un rango de velocidades que no permitan la sedimentación al ser demasiado bajas o

dañen al sistema al ser demasiado altas; el fabricante de cada tipo de tubería establece este rango. También es indispensable que la tubería posea la capacidad hidráulica para transportar el volumen de aguas requerido.

- Resistencia a los movimientos del terreno y a las cargas exteriores.
- Estanquidad, es decir, la característica de no permitir el paso de agua a través de los tubos, accesorios y conexiones.
- Resistencia a la corrosión exterior y al ataque de agentes en el agua residual, como por ejemplo, los ácidos.
- Durabilidad para cumplir con el periodo de diseño del sistema de alcantarillado

Debe garantizarse que nunca esté en contacto la red de alcantarillado con la de abastecimiento de agua potable estando siempre ésta última en un plano superior a la de saneamiento. La distancia de seguridad entre ambas siempre será de un metro, geométricamente como la distancia mínima entre dos rectas en el sentido vertical; para el sentido horizontal, en la práctica constructiva se utiliza la distancia mínima de uno y medio a dos veces el diámetro de la tubería de mayor diámetro, como distancia entre paños de los tubos.

Instalaciones complementarias en los sistemas de alcantarillado

Los sistemas de alcantarillado deben estar provistos con instalaciones complementarias, las cuales tienen como finalidad asegurar que la red de alcantarillado funcione de acuerdo con lo establecido en el proyecto y de modo tal que puedan mantenerse en óptimas condiciones, se presenta de manera general algunas de ellas, tanto para sistemas sanitarios como para pluviales y combinados:

Descarga domiciliaria

La conexión en los sistemas de alcantarillado sanitarios o combinados entre albañales y atarjeas debe ser hermética, y se realiza básicamente mediante un codo y una pieza especial que permite dicha adaptación; esta conexión varía dependiendo el tipo de material de las atarjeas.

En las tuberías de concreto, la pieza especial de conexión denominada *slant* tiene en un extremo campana que se une a la espiga de un codo de 45°, en el otro extremo el *slant* tiene un corte a 45° también; en la atarjea se realiza una perforación con un tamaño igual al diámetro

exterior del slant, para ser unidos por medio de un cementante. En las tuberías de fibrocemento el procedimiento es similar, para unir el slant con la atarjea se utiliza pasta epóxica. En las tuberías de PVC la pieza de unión entre albañal y atarjea se denomina *silleta* con un extremo en campana para unir por medio de un anillo de hule al extremo en espiga del codo de 45°, y el otro extremo con un apoyo para unir a la atarjea por medio de un cementante o con abrazaderas, en este último caso es necesario incluir un anillo de hule para garantizar la hermeticidad; también es posible el uso de otras piezas especiales como Tees o Yees en lugar de la silleta. En las tuberías de PEAD se utiliza una pieza denominada *bota de inserción* fabricada de neopreno que se coloca en la atarjea previamente perforada; la bota se une con una pieza llamada casquillo el cual se conecta a un codo o directamente al albañal.

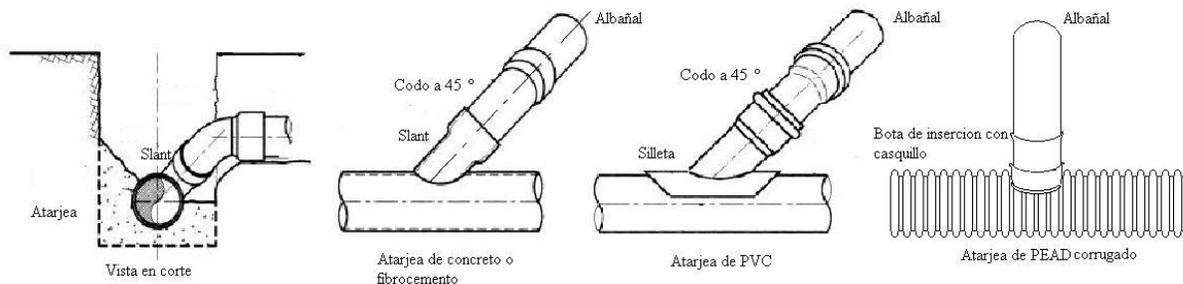


Fig 3.3 Descargas domiciliarias en función del material de la atarjea

Coladeras pluviales

Son estructuras —en los sistemas pluviales y combinados— que recolectan el agua que escurre sobre la superficie del terreno, para conducir las a las atarjeas. Están constituidas por un desarenador donde quedan depositadas las partículas sedimentables, y una rejilla que permite la entrada del agua evitando el paso de objetos de mayor tamaño como ramas, piedras y basura. Existen coladeras pluviales de piso, de banqueta, las que contienen ambas se denominan combinadas, longitudinales y transversales. La elección del tipo de estructura de captación en los sistemas de alcantarillado depende de las condiciones pluviales y topográficas de sitio a drenar.

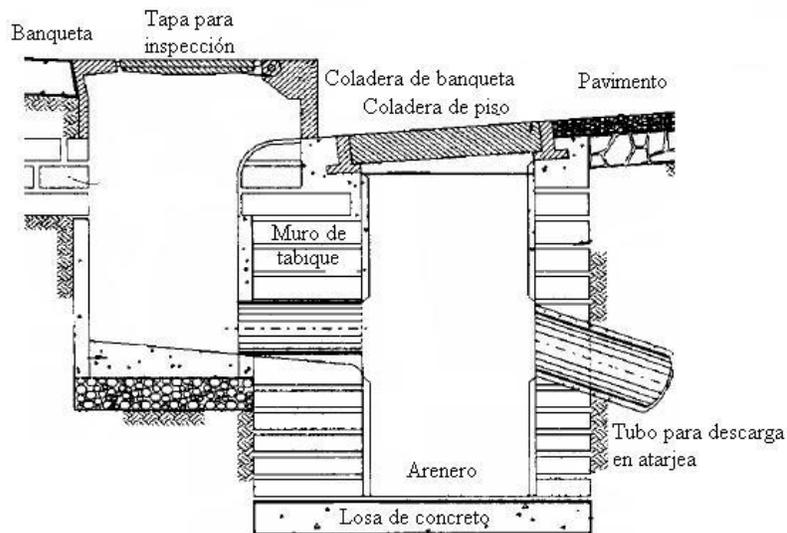


Fig 3.4 Estructura de coladera de piso y banquetta vista en corte transversal

Pozos de visita.

Los pozos de visita son estructuras de que permiten el acceso a las alcantarillas para su inspección, limpieza y ventilación; así como para realizar los cambios de dirección, pendiente y diámetro necesario en su trazado, o como punto de intersección de dos alcantarillas. Su forma es troncocónica en la parte superior y cilíndrica en su parte inferior, en la base tiene un canal comúnmente denominado media caña, que encauzan las aguas entre las alcantarillas adyacentes al pozo. En la parte superior tiene un diámetro interior de 0.60 m, el cual es suficiente para permitir su acceso, en la base su diámetro interior varía entre 1.20 y 2.10 m, el cual se encuentra en función del diámetro de la alcantarilla donde se encuentra colocado el pozo. Su altura está determinada por la profundidad de las alcantarillas acorde a las necesidades de funcionamiento del sistema.

Estas estructuras son generalmente de tabique rojo recocido y concreto cuando son construidas *in situ*, y polímero reforzado con fibra de vidrio o concreto polimérico cuando son prefabricadas; estas últimas tienen la ventaja de garantizar al 100% la hermeticidad. Para el descenso del personal operador, es necesario que estén provistas de peldaños de fierro fundido o acero en la pared. Para su acceso tienen un brocal a nivel de la calle donde descansa la tapa del pozo, ambas piezas pueden ser de concreto, fierro fundido o polietileno de alta densidad en los pozos de tabique o concreto; los accesorios como peldaños, brocales y tapas en los pozos prefabricados regularmente son del mismo material con el que están fabricados dichos pozos.

Para fines de su inspección y limpieza no deberán quedar muy alejados uno del otro; en la práctica se toma como distancia máxima 60 m entre cada pozo en el caso de atarjeas y 80 m en el caso de colectores, aunque CNA admite distancias mayores: 125m de separación en el caso de atarjeas y de 150m hasta 175m en el caso de colectores. En su caso, es el Sistema Operador quien fija la distancia máxima entre pozos, el cual está en función de la operación del sistema y de las características de su equipo de limpieza.

En los pozos de visita las alcantarillas de llegada y salida pueden coincidir en sus niveles de arrastre o plantilla⁹, pero cuando las condiciones topográficas o de proyecto lo hagan necesario, puede haber una diferencia de estos niveles, presentándose una caída; si ésta es mayor a 0.50m, es necesario el uso de pozos de visita con caída incorporada, el cual tiene una pantalla que sirve como deflector del caudal de caída, disipando su energía.

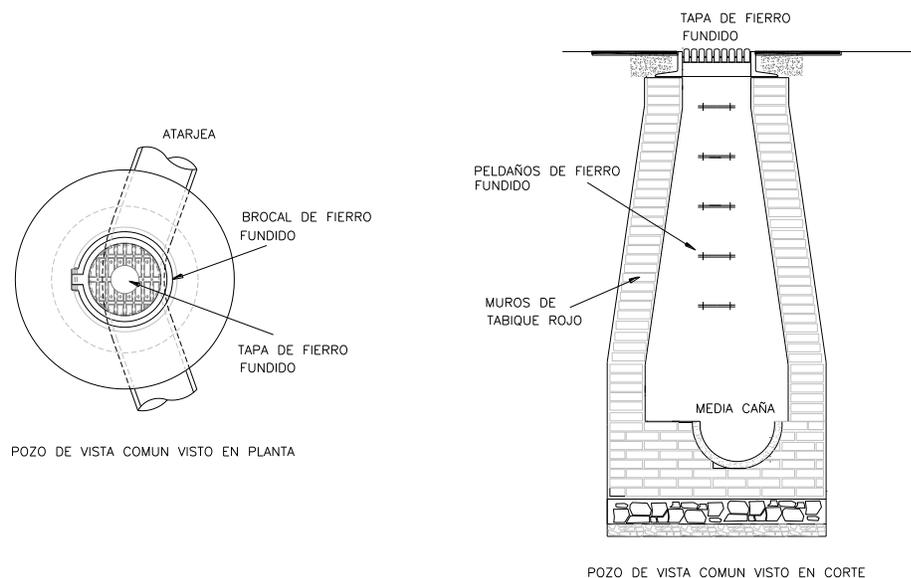


Fig 3.5 Pozo de registro de tabique rojo construido in situ.

Cajas

La función estas estructuras son principalmente para permitir el acceso, inspección, mantenimiento y ventilación del sistema de drenaje en colectores; así como el cambio de dirección, pendiente y diámetro; también permiten el entronque de atarjeas y colectores. Se

⁹ El nivel de arrastre o plantilla corresponde al nivel más bajo de la superficie interior de la alcantarilla.

componen esencialmente de una caja de concreto reforzado con chimeneas troncocónicas de tabique rojo recocido que inician en la losa tapa y terminan en el brocal y tapa a nivel de calle.

Las cajas ubicadas en los colectores que permiten en el entronque de atarjeas o colectores de hasta 0.76m de diámetro son denominadas *pozos caja*, y son de sección rectangular. Las cajas que permiten el entronque con colectores de más de 0.76m se denominan *cajas de conexión*, y son de sección poligonal. Las cajas que permiten la deflexión de colectores de más de 1.22m son conocidas como *cajas de deflexión*, y son de geometría poligonal. La deflexión en colectores con diámetro menor a 1.22m es posible realizarlos con pozos de visita.

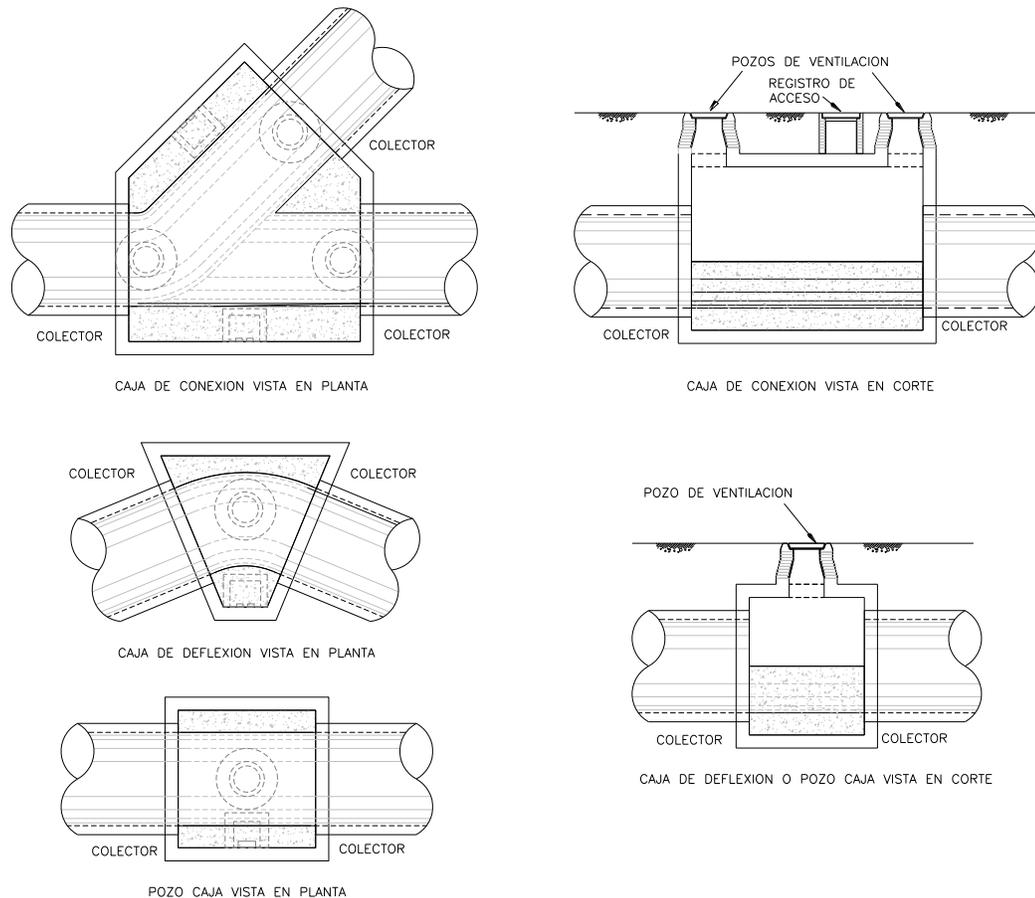


Fig 3.6 Estructuras de drenaje para colectores

Sifones invertidos

Los sifones invertidos son usados para pasar bajo construcciones como túneles y conducciones u obstáculos mediante una desviación vertical. Esta alcantarilla deprimida estará siempre trabajando a presión, es decir, a tubo lleno; por ello es necesario mantenerlos limpios para evitar obstrucciones. Por la naturaleza de los esfuerzos en las paredes, los cuales trabajan a presión, es recomendable tubos de acero o concreto.

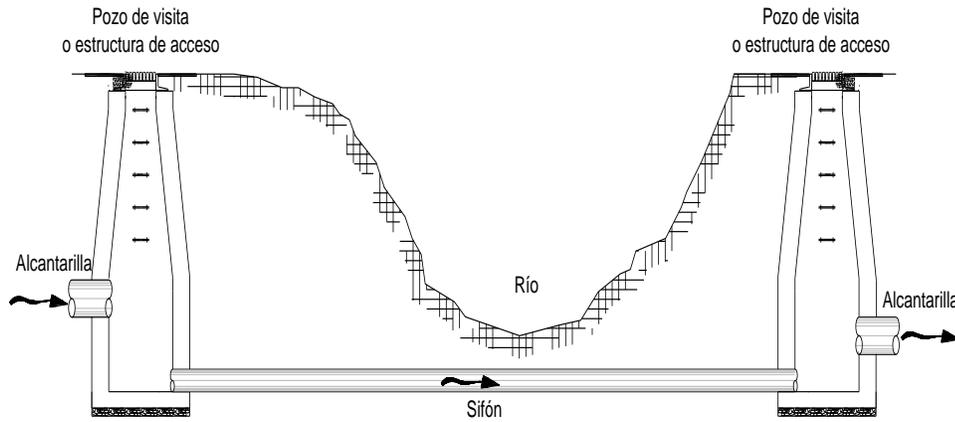


Fig. 3.7 Sifón invertido

Cruces elevados

En lugares donde la topografía es accidentada, y cuando el diseño y las necesidades del sistema de alcantarillado requieren atravesar dichos accidentes topográficos —como lo son las barrancas— de poca anchura, es posible la implementación de cruces elevados. Su factibilidad la dictará un correcto análisis de funcionamiento hidráulico y de ventajas económicas en su construcción y operación. Acorde a las condiciones topográficas, de clima y de funcionamiento y operación del cruce, se diseña la opción más conveniente en dimensionamiento, posición, tipo y número de apoyos, de claros, de material de la tubería y su recubrimiento requeridos para disminuir el daño por intemperismo.

3.3 Tratamiento de las aguas residuales

Propósito del tratamiento

Después de coleccionar el agua residual proveniente de una red de alcantarillado, esta debe ser tratada antes de su disposición final o de su reuso; dicho tratamiento se proporciona en instalaciones diseñadas para tal fin, denominadas comúnmente como *plantas de tratamiento de aguas residuales*.

El *propósito* del tratamiento es fundamentalmente la remoción de contaminantes que permitan que el agua tratada cumpla con objetivos específicos en beneficio del ser humano y su hábitat; como lo es la protección a la salud pública, la reducción en el uso de agua de abastecimiento mediante el reuso del agua tratada y evitar la contaminación de los ecosistemas donde ocurre la disposición final.

La transformación en la calidad del agua residual se hace mediante un proceso o mediante la combinación de varios de ellos; cada proceso remueve determinados contaminantes en un cierto porcentaje. Debe considerarse que la eficiencia de los procesos esta sujeto a múltiples factores, como la calidad del agua cruda a tratar, las condiciones ambientales, la variación del caudal y el correcto diseño de las instalaciones donde se efectuará el tratamiento; este subcapítulo no tiene como fin presentarse como un tratado de diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales, más bien en describir los métodos de tratamiento que requiere el agua residual para cumplir los requisitos que la normatividad .

Los métodos de tratamiento en los que predomina la acción de fuerzas físicas, se conocen como operaciones físicas unitarias; los métodos de tratamiento en los cuales la eliminación o conversión de los contaminantes se consigue a través de la adición de productos químicos o mediante reacciones químicas, se conocen como procesos químicos unitarios; los procesos de tratamiento en los que la eliminación de los contaminantes se lleva a cabo gracias a la actividad biológica, se conocen como procesos biológicos unitarios.

El conjunto de métodos de tratamiento, está clasificado en los siguientes grupos de tratamiento: el pretratamiento, el tratamiento primario, el tratamiento secundario, el tratamiento avanzado o terciario y la desinfección. Existen también procesos de tratamiento a los lodos o fangos; se define como lodos en este contexto a todos los residuos sólidos, semisólidos y contaminantes separados del agua residual mediante los diversos procesos de tratamiento.

Pretratamiento

Consiste en la eliminación de los constituyentes cuya presencia en el agua residual a tratar pudiera perjudicar al funcionamiento de los diferentes procesos o al sistema de bombeo que llegase a utilizar la planta de tratamiento, cuando el agua no llega por gravedad.

En el pre-tratamiento se efectúan operaciones físicas unitarias, se mencionan continuación las más comunes:

Desbaste

Es la primera operación unitaria que tiene lugar en las plantas de tratamiento de aguas residuales, pues remueve sólidos gruesos, como troncos o ramas, fragmentos grandes de cualquier elemento (madera, plástico, metal); basura sólida en general. La operación se efectúa con rejas, rejillas —de limpieza manual o mecánica—, con tamices —que se utilizan también en procesos subsecuentes— y desmenuzadores.

Desarenación

Se utilizan desarenadores para separar —por sedimentación Tipo I— materiales más pesados que la materia orgánica, como lo es la grava, la arena y cenizas; pues dichos materiales dañan a las conducciones posteriores o pueden ocasionar obstrucciones.

En la sedimentación tipo I, las partículas decantan como unidades separadas —partículas *discretas*¹⁰— y el proceso puede analizarse mediante las leyes clásicas de Newton y Stokes.

Dichos desarenadores se ubican inmediatamente después de las rejas, evitando así la interferencia de los sólidos de mayor tamaño. Hay cuatro tipos de desarenadores, los de flujo horizontal, los desarenadores aerados, los tanques de sección cuadrada y los tipos vórtice.

Flotación

Se emplea la flotación como una operación unitaria para separar partículas sólidas o líquidas de una fase líquida. En el tratamiento de aguas residuales, la flotación se emplea principalmente para separar grasas y aceites de las aguas residuales y espesar los lodos del proceso de lodos activados.

Hay tres sistemas de flotación: por aire disuelto, donde el aire se disuelve con el agua residual a presión, continuando con su liberación hasta alcanzar la presión atmosférica; por

¹⁰ Una cantidad discreta es la que consta de unidades o partes separadas unas de otras. (RAE)

aireación, donde se introducen burbujas de aire directamente en el agua residual por medio de difusores sumergidos; y la flotación por vacío, donde se satura de aire al agua a presión atmosférica, seguido de la aplicación de vacío. Estos sistemas mejoran en la eficiencia con la aplicación de aditivos químicos.

Igualación

Esta operación amortigua las variaciones diarias de flujo, y la variación de las concentraciones de DBO, sólidos suspendidos y pH a lo largo del día. Los tanques de igualación se instalan después del pretratamiento, y es necesario mantener mezclados los sólidos en suspensión para conservar una condición aerobia. Es posible que se diseñen cárcamos de bombeo de agua residual como tanques de igualación.

Precloración

La aplicación de cloro en los primeros pasos de la planta, tiene la finalidad de controlar malos olores, la corrosión, prevenir la septicidad y la remoción de grasas.

Preaereación

Su uso no se ha extendido (López Ruiz 2003) pero se ha considerado que es beneficioso antes del tratamiento primario, sus objetivos son el control de olores, separación de grasas, prevención de septicidad y mantenimiento de condiciones aerobias en el tanque de igualación, entre otros.

Tratamiento Primario

El tratamiento primario es utilizado para remover por gravedad sólidos sedimentables previamente a otros tratamientos, mediante una sedimentación tipo II.

La sedimentación consiste en la separación —por medio de la gravedad— de las partículas suspendidas cuyo *peso específico*¹¹ es mayor que el del agua.

La sedimentación tipo II es una sedimentación de partículas flocculantes en una suspensión diluida. En soluciones relativamente diluidas, las partículas no se comportan como

¹¹ De acuerdo con la RAE (2007), *peso específico* es la fuerza con que la tierra atrae a un cuerpo por unidad de volumen.

partículas discretas sino que tienden a agregarse unas a otras durante el proceso de sedimentación, es decir, flocculan, por lo cual sedimentan a mayor velocidad y aumentando de tamaño; este proceso de floculación no es posible de modelarse matemáticamente, por lo que el diseño de los tanques sedimentadores se determina mediante ensayos y pruebas de laboratorio.

Los tanques de sedimentación primaria pueden proporcionar el principal grado de tratamiento del agua residual, o se pueden emplear como paso previo al tratamiento posterior. Pueden ser tanques rectangulares, circulares y contar con dispositivos mecánicos; en una planta de tratamiento es recomendable que por lo menos existan dos tanques para no interrumpir el tratamiento en caso de que alguno este sujeto a limpieza o reparación, las limitaciones de espacio son un factor que influye en el número recomendado de tanques.

Tanques rectangulares de sedimentación primaria

En los tanques rectangulares el influente es distribuido a la entrada de la unidad por medio de baffles verticales para lograr una mejor distribución a lo ancho de la unidad que permita un flujo horizontal. Se incorporan sistemas de rastras —también llamadas rascadores— sujetadas por cadenas guiadas por ruedas dentadas, que recolectan a los sólidos que sedimentan. Las partículas flotantes en el tanque, pueden ser conducidas con las rastras o manualmente en la superficie hacia un colector de natas o espumas, el lodo colectado por las rastras se deposita en las tolvas de recolección de lodos.

Los canales de entrada del agua a tratar se deben situar transversalmente a los tanques en las zonas de entrada y de forma similar, los canales de recogida del efluente en la zona de salida.

Los sedimentadores rectangulares presentan ventajas en el aprovechamiento del espacio disponible para una planta de tratamiento respecto a los de geometría circular.

Tanques circulares de sedimentación primaria

En este tipo de tanques, el sistema de flujo es radial, es decir, del centro a la periferia o viceversa; esto se logra introduciendo por el centro o por la periferia del tanque el agua residual a tratar y aunque ambas formas han presentado resultados similares, el más comúnmente utilizado es la introducción del agua por el centro.

En este sistema, el agua cruda entra al tanque mediante una tubería central hasta pasar por una campana deflectora circular diseñada para distribuir el flujo de manera uniforme en todas direcciones. Hay un puente que gira lentamente y posee dos o cuatro brazos con rascadores en el fondo; pero también los tiene superficiales para coleccionar natas y espumas. En los tanques con un diámetro menor a 9 m de diámetro, el puente con su equipo de extracción esta soportado por medio de vigas en las paredes laterales; los tanques de diámetro mayor a los 10.5 m utilizan un pilar central que soporta al puente. El agua tratada se recolecta en vertedores perimetrales y después es canalizada a la tubería de salida del efluente. La plantilla del tanque tiene una pendiente para que pueda arrastrarse el lodo hacia una zona central del tanque y este pueda ser extraído mediante bombeo.

Tratamiento secundario

El tratamiento secundario consiste en una serie de procesos biológicos o químicos a los que son sometidos los efluentes del tratamiento primario, pues estos contienen materia orgánica biodegradable¹² en forma de sólidos suspendidos finos, sedimentables, coloides y solubles. Este nivel de tratamiento agrupa en sí procesos unitarios capaces de eliminar los sólidos que aún contienen los efluentes primarios y los hay fisicoquímicos y biológicos. En general, son más costosos los procesos fisicoquímicos que los biológicos, y han sido adaptados para aguas residuales industriales de características agresivas a los procesos biológicos, como un tratamiento previo al secundario y otras veces, como un tratamiento llamado primario avanzado. En este documento se muestran los procesos biológicos más comunes en el tratamiento secundario.

¹² La RAE (2007) define biodegradable como « dicho de un compuesto químico: que puede ser degradado por acción biológica.»

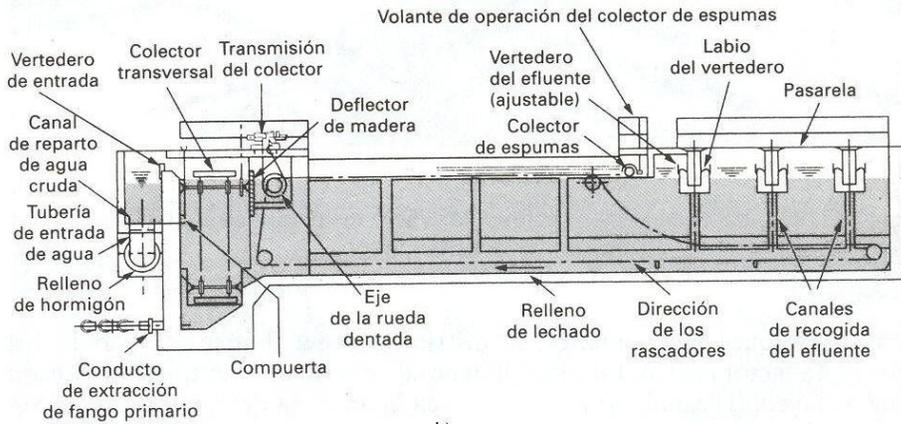
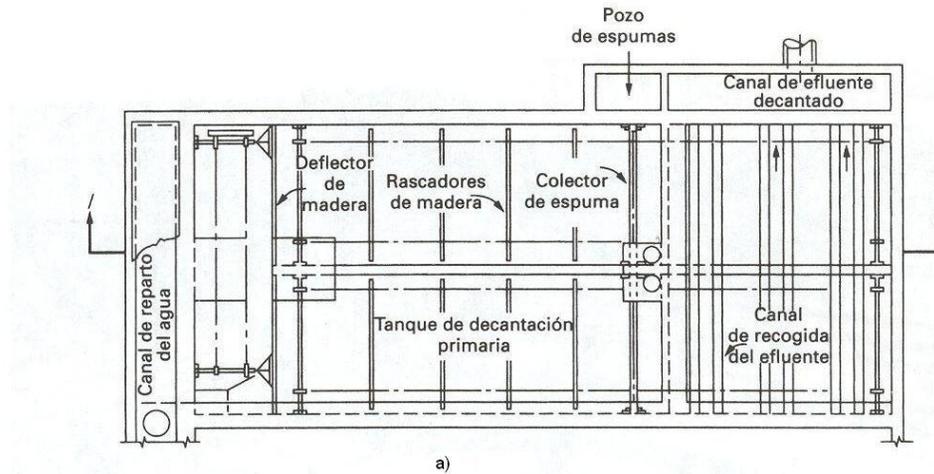


Fig 3.8 Tanque rectangular de sedimentación primaria a) planta b) sección

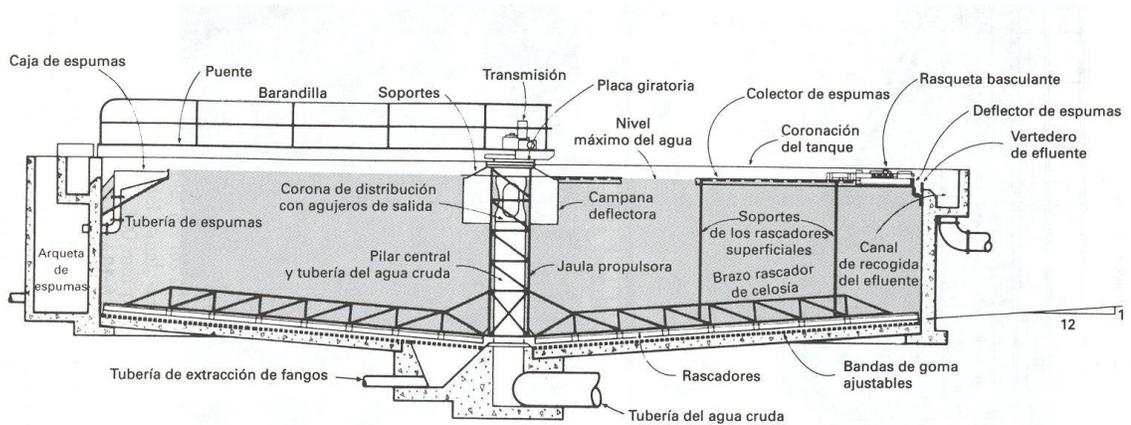


Fig 3.9 Tanque circular de sedimentación primaria de alimentación central

Fuente de las figuras 3.8 y 3.9: Metcalf&Eddy (1995)

Proceso de lodos activados

En este proceso, el tratamiento de las aguas residuales se realiza con microorganismos en suspensión —bacterias—, quienes son responsables de la descomposición de la materia orgánica. Tanto en su forma convencional como en alguna de sus muchas variantes, este proceso ha tenido un uso muy amplio; se utiliza tanto para el tratamiento secundario como para tratamiento completo de las aguas sin sedimentación primaria.

El nombre de este proceso proviene de la producción de una masa activada de microorganismos capaz de estabilizar un residuo por vía aerobia.

En los desechos líquidos se encuentra el cultivo de microorganismos que son en su mayoría bacterias en suspensión, en un tanque aireador —necesario para mantener un ambiente aerobio— denominado reactor; comúnmente se suelen utilizar reactores de flujo pistón o de mezcla completa, aunque esto depende de múltiples factores como las necesidades de transferencia de oxígeno al agua residual, la naturaleza de esta, las condiciones ambientales donde ocurrirá el proceso y el costo del mismo. Al contenido del reactor se le conoce como licor mezclado. Es en el reactor donde las bacterias metabolizan y flocculan biológicamente los compuestos orgánicos; al cabo de un periodo determinado de tiempo —denominado tiempo de retención—, el licor mezclado es conducido a un tanque de sedimentación, donde se lleva a

cabo una separación de microorganismos en forma de flóculos, que salen por la parte superior del tanque. Una parte de las células sedimentadas se recircula para mantener en el reactor la concentración deseada de sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado, es decir, microorganismos en el reactor; otra parte es desechada como lodo, purgándose del sistema. Esquemáticamente se muestra en la figura 3.10.

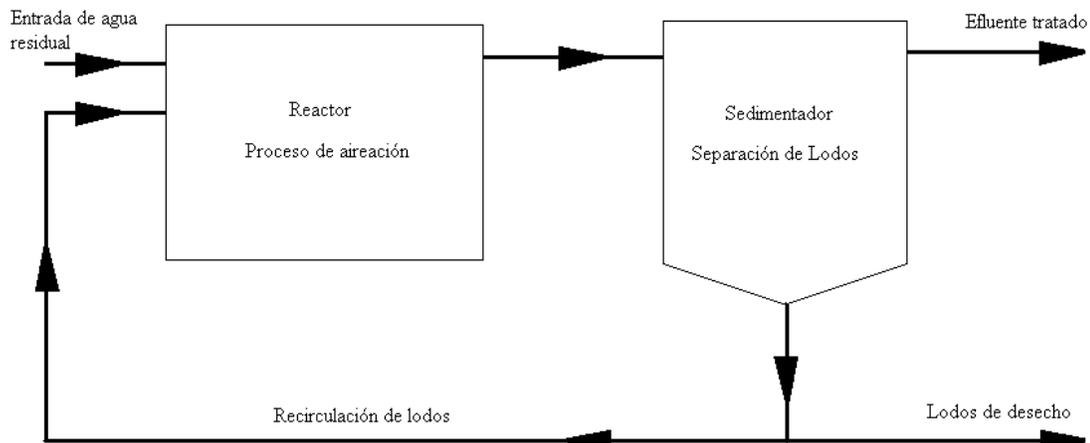


Fig.3.10 Esquemática del proceso de lodos activados convencionales

Este proceso cuenta con algunas modificaciones, como son la aireación graduada, la aireación escalonada, la aireación modificada, la aireación prolongada, entre otras; enunciar de todas ellas en detalle se considera fuera de los alcances de esta tesis

Filtros percoladores

También llamados filtros biológicos, filtros rociadores o biofiltros, constituyen un sistema de medio fijo formado por un lecho de medio filtrante sobre el que se distribuye constantemente agua residual. Se provee una superficie en la cual hay una población de microorganismos — denominada *biopelícula*— adherida a ella y expuesta al agua residual y al aire para la degradación de la materia orgánica. El medio filtrante puede estar formado por piedras o medios sintéticos; los filtros de piedra pueden ser circulares y los de material plástico pueden tener diversas formas: circulares o cuadrados.

Durante el proceso, el agua residual es alimentada en la parte superior del filtro por medio de brazos giratorios provistos de difusores para la distribución uniforme en el medio

filtrante. La materia orgánica contenida en el agua residual rociada es adsorbida¹³ en la biopelícula en cuyas capas externas —0.1 a 0.2 mm— se degrada bajo la acción de los microorganismos aerobios. Cuando los microorganismos crecen, aumenta el espesor de la biopelícula, y el oxígeno se consume antes de que pueda penetrar en todo su espesor, creándose así un ambiente anaerobio en la proximidad del medio filtrante. Cuando la biopelícula pierde su capacidad de adherirse a la superficie del medio, es arrastrada por el agua iniciándose el crecimiento de una nueva capa biológica; este desprendimiento y crecimiento de una nueva biopelícula ocurre de manera periódica y continua. Los filtros incluyen un sistema de drenaje inferior para recoger el líquido tratado y los sólidos biológicos desprendidos del medio filtrante. Cabe aclarar que la parte inferior del filtro no es cerrada permitiendo así la circulación de aire.

Es necesario conducir el efluente del filtro biológico a un tanque sedimentador secundario para colectar los sólidos biológicos desprendidos. Es común reciclar una parte del líquido recogido (como se muestra en la figura 3.11) o del efluente del tanque sedimentador secundario para diluir la concentración de agua residual y mantener la humedad de la película biológica.

Los filtros biológicos se clasifican en función de la carga hidráulica —volumen total de líquido por unidad de área del filtro y por unidad de tiempo ($\text{m}^3/\text{m}^2\text{día}$)— y la carga orgánica —kilogramos de DBO por día por unidad de volumen del medio filtrante ($\text{kg}/\text{m}^3/\text{día}$)—. Hay de baja, media, alta y muy alta tasa, los dos primeros con filtros de roca y los dos últimos con filtros sintéticos, para cargas hidráulicas más grandes. No hay que confundir el término filtro con la operación de filtración física a través de la porosidad del medio, pues en realidad el proceso se realiza por la difusión y degradación de la materia orgánica por los microorganismos.

Discos biológicos

¹³ «El proceso de adsorción consiste, en términos generales, en la captación de sustancias solubles presentes en la interfase de una solución. Esta interfase puede hallarse entre un líquido y un gas, un sólido, o entre dos líquidos diferentes.» (Metcalf & Eddy 1996:358)

Este proceso consiste en una serie de discos de polietileno situados sobre un eje o flecha horizontal y que se encuentran a una distancia muy corta entre sí. Los discos están parcialmente sumergidos en el agua residual girando lentamente, de 1 a 2 rpm.

Los microorganismos presentes en el agua residual se adhieren a las superficies de los discos, hasta formar una película biológica que se va acumulando y alimentando de la materia orgánica presente en el agua residual y que está en contacto con la atmósfera para la adsorción de oxígeno. La rotación de los discos mantiene el proceso descrito en condiciones aerobias, pero a su vez, funciona como mecanismo de desprendimiento de exceso de sólidos en la biopelícula. Dichos sólidos, junto con el agua residual tratada, se transportan —de manera similar a los biofiltros— a un tanque sedimentador secundario. (Figura 3.12)

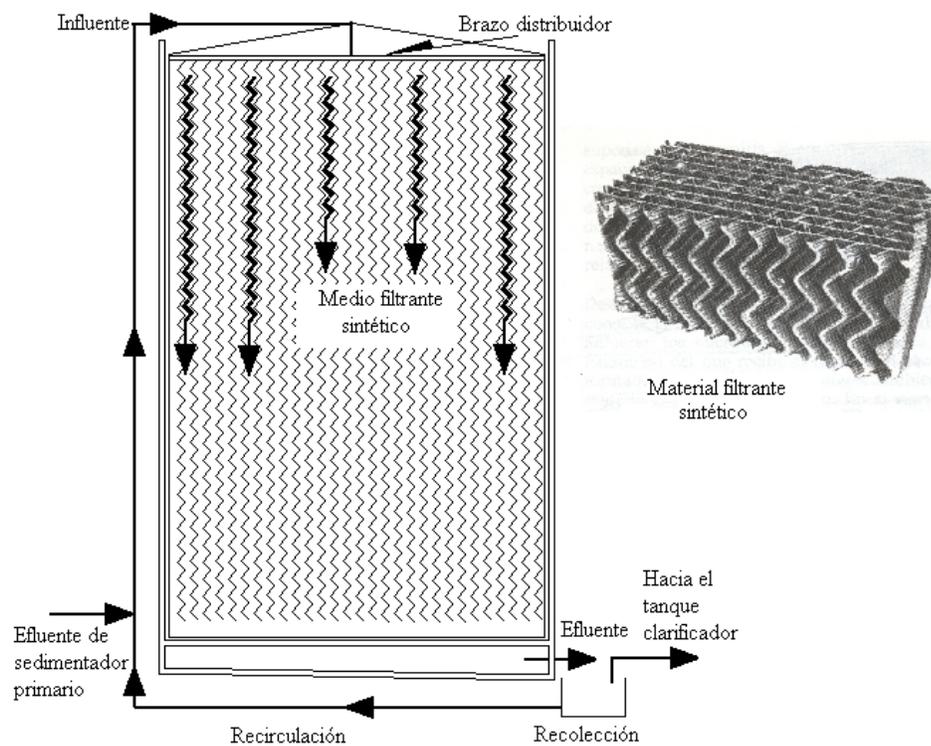


Fig 3.11 Esquemización del proceso de filtros percoladores

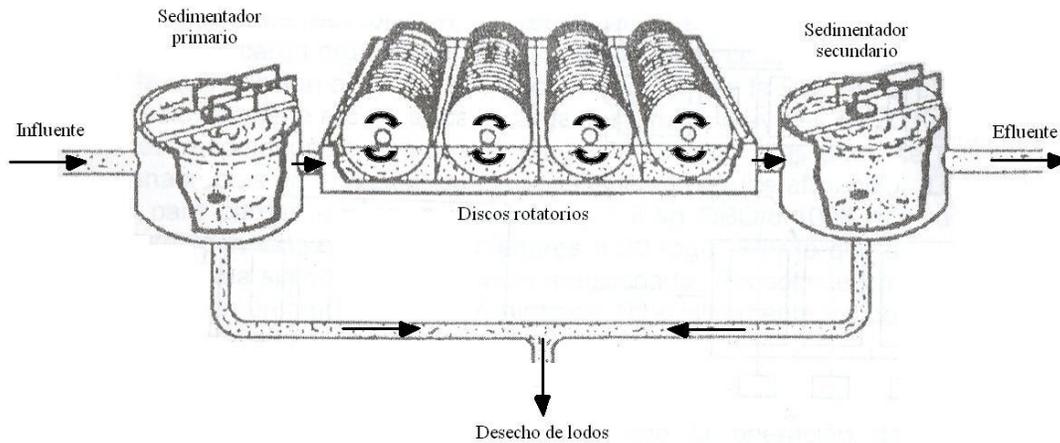


Fig
3.12

Esquematzación del proceso de discos biológicos

Fuente de las figuras 3.11 y3.12: Metcalf&Eddy(1995)

Lagunas aireadas

Una laguna aireada es un depósito en el que el agua residual se trata en la modalidad de flujo continuo cuya principal función es la conversión de la materia orgánica, se suele aportar oxígeno con aireadores superficiales o sistemas de difusión de aire para mantener condiciones aerobias. El efluente de una laguna aireada contiene aproximadamente un tercio de la DBO del afluente en forma de células, que deberán decantarse en un tanque de sedimentación; si existiese recirculación a la laguna, el proceso es muy similar al de lodos activados.

Sedimentación secundaria

En este proceso ocurre la sedimentación tipo III y tipo IV. La tipo III es donde las partículas de concentración intermedia que se encuentran muy cercanas unas de otras, provocan que las fuerzas interpartículas interfieran en la sedimentación de las partículas vecinas, quedándose en posición fija una de otra sedimentando a velocidad constante, en masa. La tipo IV corresponde a partículas que están a tan alta concentración que se tocan unas a otras, y la sedimentación puede ocurrir solo por compresión de la masa. Los tanques de sedimentación secundaria — también denominados como *tanques clarificadores*— son similares en forma y diseño a los tanques sedimentadores primarios, pero teniendo sus particularidades específicas.

Desinfección del agua residual

La desinfección consiste en la destrucción selectiva de microorganismos que causan enfermedades, su diferencia con la esterilización es que en esta ocurre la destrucción de la totalidad de los organismos. Es importante resaltar que los desinfectantes deben ser seguros en su aplicación y manejo, y que su concentración en las aguas pueda ser cuantificable y medible. La desinfección se puede dividir en natural y artificial. Los agentes artificiales más comunes son los químicos, como el yodo (I), cloro (Cl), bromo (Br), ozono (O₃) o peróxido de hidrógeno (H₂O₂); los físicos, como el calor y la luz; los mecánicos, como la microfiltración y la radiación.

El cloro es el desinfectante universalmente utilizado, siendo sus compuestos más utilizados en plantas de tratamiento el cloro gas (Cl₂), el hipoclorito de sodio (NaOCl), el hipoclorito de calcio Ca(OCl)₂ y el Peróxido de cloro (ClO₂).

Cuando el cloro gas entra en contacto con el agua, ocurren dos reacciones; la hidrólisis, donde se genera el ácido hipocloroso (HClO HOCl), y la ionización de este generando el ion hipoclorito ClO⁻OCl⁻. El ácido hipocloroso y el ión hipoclorito en el agua, es lo que constituye el cloro libre disponible o cloro libre residual, la distribución de estas dos especies es muy importante por su eficiencia como bactericida. La dosis de cloro a aplicar en la desinfección dependerá del origen de las aguas a tratar

La mezcla efectiva de solución de cloro con el agua residual, el tiempo de contacto y el cloro residual son los principales factores involucrados para acabar con las bacterias patógenas. Dicha mezcla se efectúa en tanques de cloración rectangulares. Cuando termina su labor de desinfección y previo a la descarga a los cuerpos receptores, es necesaria la remoción del cloro residual. Los *decoloradores* más usados son el anhídrido sulfuroso (SO₂), el carbón activado, sulfito de sodio (Na₂SO₃) y metabisulfito de sodio (Na₂S₂O₅).

Vertido de efluentes

Una vez tratadas, las aguas residuales se pueden reutilizar o reintroducir en el ciclo ecológico por su evacuación al medio ambiente. Los más comunes son el vertido y dilución en aguas del medio ambiente —ríos, estuarios, lagos, embalses y el mar— o aplicación al terreno, en la que el agua residual percola en el terreno y recarga los acuíferos subyacentes. Las aguas tratadas a

disponer deben cumplir en la República Mexicana con los parámetros establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas NOM-001- SEMARNAT -1996 para su vertido en aguas y bienes nacionales, NOM-002- SEMARNAT -1996, cuando se reincorpora en sistemas de alcantarillado urbano y NOM-003- SEMARNAT -1997, cuando se disponga reusar el agua tratada para usos públicos¹⁴.

3.4 Tecnologías alternas a los sistemas de alcantarillado sanitario

Fosas sépticas

En zonas no conectadas a una red de alcantarillado, las aguas residuales de residencias individuales y otras instalaciones comunitarias se suelen tratar mediante sistemas de tratamiento y evacuación ubicados en las proximidades de las fuentes de generación. El más comúnmente empleado es el de la fosa séptica. En este sistema, debe haber un conjunto de componentes para un efectivo tratamiento, que se describen enseguida.

Trampa de grasa: es un pequeño tanque que puede recibir aguas con formación de residuos grasos y jabones y pueden ser construidos con ladrillo o concreto. En ellos ocurre una separación física, pues las partículas de grasa son más ligeras que la del agua, lo que provoca que floten en la superficie, donde pueden ser recolectadas.

Tanque séptico: es el elemento diseñado para recibir las descargas de aguas residuales domiciliarias que al proporcionar un tiempo de permanencia adecuado —tiempo de retención— es capaz de separar parcialmente los sólidos suspendidos, digerir —mediante procesos biológicos anaerobios— una fracción de la materia orgánica presente y retener temporalmente los lodos, natas y espumas generados. Su origen se remonta a 1860 gracias investigaciones desarrolladas por Jean-Louis Mouras en Vesoul, Francia.

En la actualidad existen tanques sépticos prefabricados de diversos materiales como el concreto, el fibrocemento, resina reforzada con fibra de vidrio y polietileno de alta densidad sujetos a la Norma Oficial Mexicana NOM-006-CNA-1997 «Fosas sépticas prefabricadas. Especificaciones y métodos de prueba» donde se establecen a detalle —como su nombre lo indica— las especificaciones que deben cumplir, los métodos de prueba a los que son sometidos e información sobre su instalación, mantenimiento y el tratamiento del efluente del tanque séptico, así como una serie de recomendaciones para las instalaciones complementarias.

¹⁴ Véase Anexo B

En realidad, el tanque séptico funciona como un digestor anaerobio¹⁵, aunque no es en su totalidad, pues en su interior se pueden presentar zonas anóxicas. Para distribuir el efluente del tanque séptico de manera eficiente al campo de oxidación, es necesaria la instalación de una caja de distribución previamente

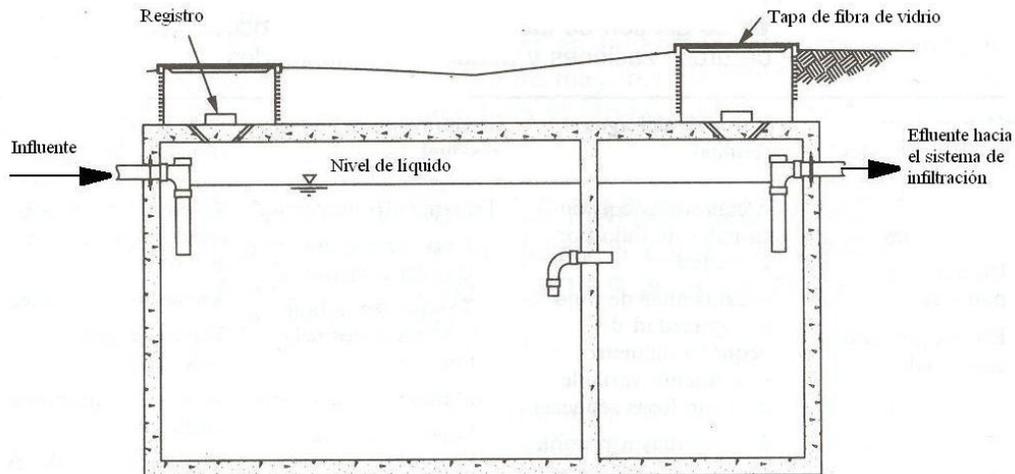


Fig. 3.13 Tanque séptico convencional de dos compartimentos (sección)

Fuente: Metcalf&Eddy

Campo de oxidación: consiste en una serie de zanjas estrechas, con ancho entre 0.25 m y 0.45 m (0.50 m según la norma mencionada anteriormente) una profundidad variable entre 0.5 y 1.0 m —debiendo procurar una distancia mínima de 1.20 m entre el fondo de la zanja y el nivel freático— y rellenas normalmente de grava con una granulometría variable entre los 20 y 50 mm. La distancia entre los ejes de las zanjas deberá estar ser entre 1.50 y 2.0 m y su pendiente del 25%. El efluente del tanque séptico llega por medio de una tubería perforada de 100 mm de diámetro. El medio poroso —grava— mantiene la estructura de la zanja, proporciona un tratamiento parcial al efluente y lo distribuye a las áreas de infiltración del terreno. El líquido se infiltra a las superficies laterales de las zanjas hacia el terreno (Figura 3.14). En este proceso hay una serie de mecanismos físicos, biológicos y químicos que dan un tratamiento final al efluente. La factibilidad de los campos de oxidación está en función de pruebas de infiltración del suelo descritas en la norma para fosas sépticas mencionada hasta un

¹⁵ Un digestor anaerobio convencional consiste en un tanque cerrado sin agitación ni calentamiento, en donde el desecho a tratar se estratifica en zonas definidas (López Ruiz 2003:61), y donde los procesos biológicos ocurren en la ausencia de oxígeno.

valor admisible máximo de 25 min/cm, es decir, 25 minutos que tarda el agua en descender infiltrándose un centímetro durante la prueba. Cuando la anchura de las zanjas de infiltración es superior a 0.90 - 1.20 m, este tipo de unidades suele recibir el nombre de *lechos de infiltración*.

Pozo de absorción

Es un sistema vertical de infiltración al subsuelo de las aguas provenientes del tanque séptico, como alternativa cuando no hay disponibilidad de terreno para campos de infiltración. Para usar los pozos de absorción, es preciso disponer de grandes profundidades de suelo y estar a gran distancia de las aguas subterráneas.

Las características mínimas que describe la norma es de un diámetro interior mínimo de 1.0 m, paredes de mampostería de tabique sin juntear en el sentido vertical con una distancia de 0.05 m, relleno de roca porosa o tezontle desde el nivel de desplante hasta 0.20 m antes de la conexión del influente y contar con una tapa o registro de inspección de concreto a nivel del terreno (figura 3.15). En muchas zonas del país no es recomendable su uso pues existe un riesgo de potencial contaminación de las aguas subterráneas.

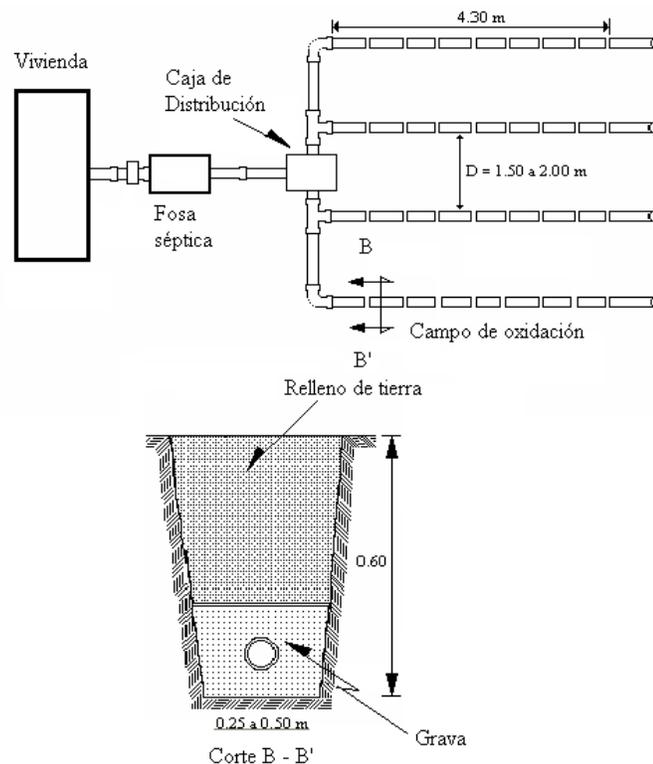


Fig 3.14 Campo de absorción en el sistema de fosa séptica

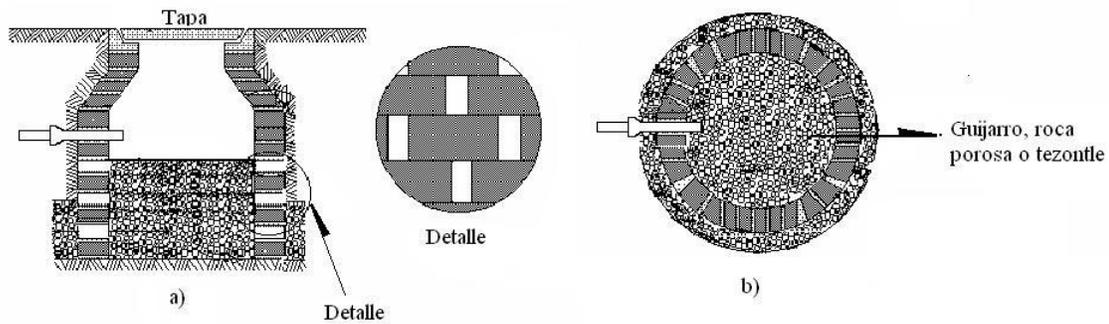


Fig 3.15 Pozo de absorción a) sección b) planta

Fuente: NOM-006 CNA 1997

En lugares en los que ya no es posible emplear sistemas de absorción sobre el terreno, es posible utilizar las fosas sépticas para separar los sólidos, y recolectar los efluentes para su posterior tratamiento. El sistema de fosa séptica se ha empleado para dar servicio a residencias individuales y otras instalaciones comunitarias, también es posible la utilización de fosas sépticas de grandes dimensiones y subdividida en compartimientos, generalmente tres; o utilizar, tanques *Imhoff*.

El tanque *Imhoff* consiste en un tanque de dos pisos, en el que la sedimentación se produce en el compartimiento superior y la digestión de los sólidos en el compartimiento inferior, asimismo posee un sistema de ventilación para los gases generados. Dicho sistema se muestra en la figura 3.16.

Baños secos

El sistema de saneamiento mencionado en este capítulo se basa en el agua como vehículo de transporte de desechos, con un serio inconveniente: el alto consumo de agua potable. Como alternativa al desalojo de excretas humanas, se han desarrollado los llamados baños secos, y que hay que diferenciarlos claramente de las letrinas comunes, donde las excretas se depositan directamente en un hoyo en el suelo.

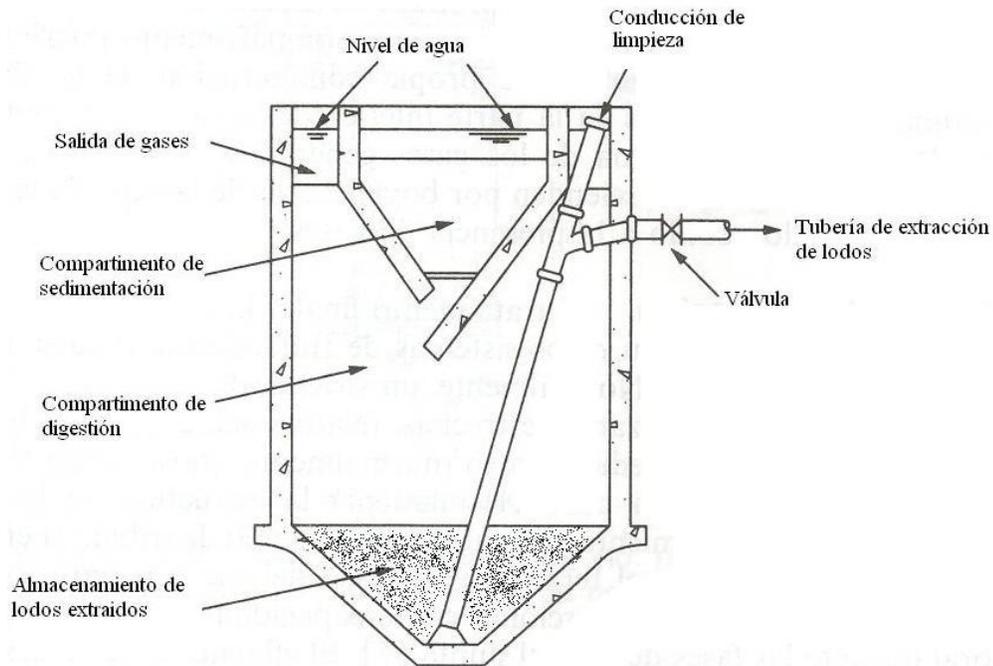


Fig.3.16 Tanque Imhoff convencional para pequeñas comunidades (sección)
Fuente: López Ruiz (2003)

Los baños secos o *dry toilets* son sistemas que tratan el detritus¹⁶ humano cuando fermentan y los deshidratan para producir un producto final utilizable y valioso para el suelo; sus tres características fundamentales consisten en que funcionan sin agua, no están conectadas a red alguna de alcantarillado y no contaminan el suelo o mantos acuíferos. Existen variedades en diseño, modelo y marca, los hay prefabricados y contruidos *in situ*.

En el baño seco la materia orgánica generada fermenta en un contenedor y el producto final obtenido es utilizable para abono. Para los baños prefabricados, hay contenedores con detector de temperatura, control electrónico y de tipo carrusel, donde al llenarse un contenedor, se utiliza otro vacío. En este último modelo, cuando todos los contenedores se hayan llenado, es muy probable que el contenido del primero ya pueda ser utilizado como abono, pues es necesario un año para compostar la materia orgánica a partir de cuando ya no se añaden más excretas. La orina debe recolectarse en un recipiente por separado, la cual posteriormente podrá ser usada como fertilizante. Hay asientos especiales que permiten dicha separación.

¹⁶ Detritus: «resultado de la descomposición de una masa sólida en partículas» (RAE 2007)

Existen también diseños que pueden construirse *in situ*, con materiales de construcción comunes como ladrillo, mortero, madera y tubería de polipropileno. La fermentación de la materia orgánica ocurre mediante procesos aerobios y necesita ventilación mediante una chimenea totalmente horizontal, con una malla al final para evitar la introducción de insectos.

Después de cada uso del baño seco, es necesario agregar un material que absorba la humedad de la materia orgánica, como lo puede ser el aserrín, paja fina, cenizas, hojas secas o cal, que también contribuye a evitar malos olores. Es así como es posible la obtención de composta de buena calidad y se evita la contaminación del suelo y aguas en zonas sin alcantarillado.

El desarrollo de estas tecnologías debe ser objeto de investigación que permitan su utilización como una alternativa viable a los tradicionales sistemas de alcantarillado sanitario tratados brevemente en este capítulo; la ingeniería civil no debe ser indiferente a dicho desarrollo, participando activamente en propuestas mediante la aplicación de conocimientos propios de la disciplina, así como la participación trans e interdisciplinaria. La difusión y conocimiento de estas tecnologías debe ser traducido en su utilización, el cual requiere por parte de la población una consciencia del deterioro gradual de su entorno.



Fig 3.17 Baño seco prefabricado



Fig 3.18 Compartimentos tipo carrusel

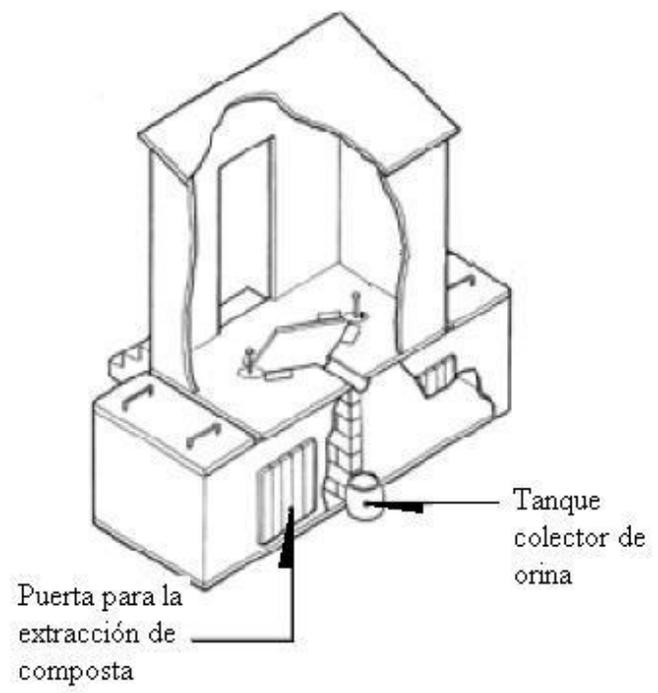


Fig 3.19 Baño seco construido in situ con dos compartimentos y separador de orina

Los sistemas de alcantarillado deben ser adecuadamente proyectados y construidos, así como eficientemente operados, para cumplir con sus funciones: recolección, transporte, tratamiento y vertido de las aguas residuales. La ineficiencia en alguna de ellas conduce a la falla de todo el sistema, con el consecuente impacto negativo al entorno, traducido en contaminación y destrucción del ambiente.

En este capítulo se abordó de manera introductoria a los sistemas de alcantarillado, con la pretensión de proporcionar un panorama general sobre esta tecnología, el conocimiento básico de su funcionamiento y su importancia dentro de la ciudad indudablemente debe ser del dominio de la población.

Capítulo 4. Las barrancas como elementos de valor urbano–ambiental de la ciudad de Cuernavaca

Las barrancas¹ son un potencial objeto de estudio de múltiples ámbitos del conocimiento de las denominadas ciencias naturales, como lo son las ciencias de la tierra —geología, geofísica, hidrología—; las ciencias biológicas — botánica, zoología, ecología—; así como de la química y bioquímica, que contribuyen a la construcción de su concepto, donde su valor ambiental debe ser reconocido. Cuando una ciudad se asienta en un territorio con estos elementos naturales, se establece entonces una relación entre el ser humano⁹⁶ —el *sapiens*— y las barrancas, haciendo de estas últimas, elementos de valor urbano. Es entonces necesario conocer esta relación como parte de mi objeto de estudio en la ciudad de Cuernavaca desde la perspectiva urbana del ingeniero civil transdisciplinario.

4.1 Las barrancas como elementos físicos

La idea general de una barranca se concibe como un «despeñadero, precipicio» una «quebra profunda producida en la tierra [...]» (RAE), pero una definición más completa es la que define el Colegio Nacional de Jurisprudencia Urbanística: «Abertura de la corteza terrestre con laderas de pendiente abrupta formada por escurrimientos permanentes o intermitentes o por procesos geológicos, en cuyas laderas puede o no existir vegetación» (Aguilar 1998); complementariamente, una barranca «llega a alcanzar algunos kilómetros, y en anchura y profundidad, algunas decenas de metros» (Pérez 2007).

¹ En los países americanos, especialmente en Mesoamérica, es usado el término *barranca* (Pérez 2007), aunque también es posible usar el término *barranco*. (RAE 2007)

A la fecha de elaboración de este documento, no existe una norma en el país que especifique la pendiente necesaria para diferenciar una ladera de la barranca del resto del terreno plano, por lo cual, haciendo uso del sentido común, se considera que el límite de una barranca queda establecido por un cambio de pendiente repentino en el terreno. Respecto a la profundidad que debe poseer una barranca para ser considerada como tal, no hay tampoco una reglamentación, aunque en el Distrito Federal, por ejemplo, para efectos de su Reglamento de la Ley Ambiental menciona en su artículo 31 que por barranca se entiende a:

La hendidura formada en el terreno por el flujo natural del agua o de las condiciones topográficas geológicas, cuya profundidad es mayor a cinco metros y a dos veces su anchura y su longitud es superior a cuarenta metros (RLADF 1997)

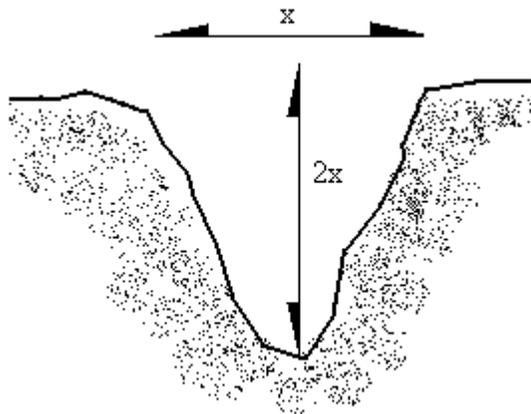


Fig 4.1 Medidas mínimas según el RLADF 1997

Con base en la definición anterior y la figura 4.1 se puede plantear una sencilla ecuación: $2x \geq 5$, que indica que el ancho (x) no deberá ser menor que 2.5 m. Si bien esto aplica para fines reglamentarios en el DF, nos proporciona una idea de las dimensiones mínimas de una barranca, las cuales se adoptan en este documento dentro de su conceptualización.

Las barrancas son elementos que se asocian en su origen con el vulcanismo, movimientos tectónicos y fallas geológicas que han generado fracturas en la corteza terrestre en interacción con escurrimientos de agua que a lo largo del tiempo formaron arroyos o ríos

que de forma perenne o intermitente han socavado y erosionado sus laderas, estableciendo su cauce². El cauce de una corriente, lo define la Ley de Aguas Nacionales como:

El canal natural o artificial que tiene la capacidad necesaria para que las aguas de la creciente máxima ordinaria escurran sin derramarse [...], en los orígenes de cualquier corriente, se considera como cauce propiamente definido, cuando el escurrimiento se concentre hacia una depresión topográfica y éste forme una cárcava o canal, como resultado de la acción del agua fluyendo sobre el terreno. (LAN 2008)

Esta Ley (LAN 2008) también indica que para fines de aplicación «dicha cárcava o cauce incipiente deberá ser de cuando menos 2.0 metros de ancho por 0.75 metros de profundidad.» Se hace énfasis en que las dimensiones mínimas proporcionadas, tanto de barrancas como de cauces, han sido determinadas para efectos reglamentarios en el territorio nacional, y no forman parte de su definición.

4.2 Origen y descripción de las barrancas de Cuernavaca.

Las barrancas del Estado de Morelos, tienen su origen en el período pleistoceno, que se caracterizó por una gran actividad volcánica en el norte de la entidad. Hubo en ese tiempo un gran cataclismo que sacudió esta parte de nuestro país hace más de cuarenta mil años, cuando se formó la cordillera del Ajusco con sus más de 200 cráteres. A esta zona se le conoce como la sierra del Chichinautzin donde los basaltos cuaternarios pleistocénicos, con el escurrimiento del agua de norte a sur a través de cientos de años y debido al declive —de noroeste a sureste— acentuado que caracteriza esta zona, se formaron las barrancas que actualmente tienen comunicación hidrológica con la cuenca del río Balsas. (Aguilar, S citado en Batllori, A 1999)

Las barrancas del municipio de Cuernavaca —así como la ciudad— se encuentran en el denominado *glacis de Buenavista*; formación geomórfica compuesta por rocas ígneas intrusivas, extrusivas y sedimentarias; esta forma del relieve tiene una superficie inclinada la cual está caracterizada por interfluvios y las barrancas, como se observa en la figura 4.2. La parte del glacis al pie de las montañas está cubierta por una vegetación arbórea, fuera de ella se encuentra totalmente desprovisto de la cubierta forestal, con excepción de los bosques de

² Pérez (2007) cita como ejemplos claros en territorio nacional al sistema de barrancas del Cobre, en Chihuahua, las barrancas del Distrito Federal y el sistema de barrancas de Cuernavaca.

galería que prosperan a los largo y en el fondo de las barrancas, favorecidos por la mayor humedad. (Ortíz 1977)

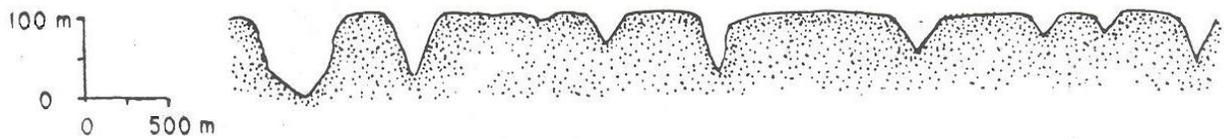


Fig 4.2 Corte transversal esquematizado de la formación del glacis: interfluvios y barrancas

Fuente: (Ortíz 1977)

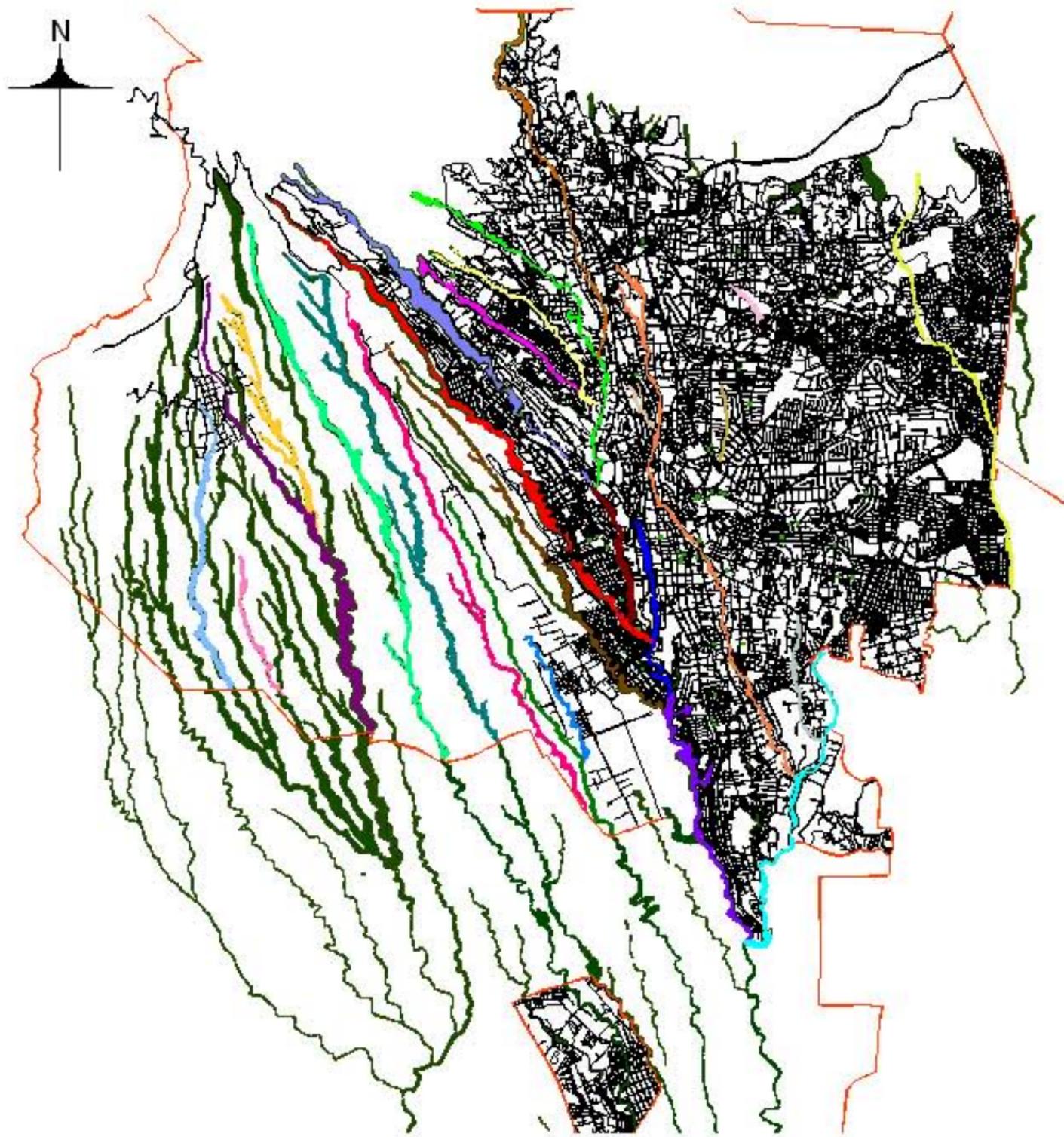
Las barrancas de Cuernavaca son el paso de ríos permanentes y temporales que escurren en dirección al sur y constituyen un sistema de barrancas, pues están interrelacionadas entre sí desde el punto de vista geológico, geomorfológico, hidrológico, climático y biológico (Pérez 2007) y cuya dinámica se encuentra asociada a la microcuenca del río Apatlaco. Cualquier afectación a una zona determinada de barrancas afecta a todo el sistema.

En la figura 4.3 se muestra este sistema de barrancas. Las que están resaltadas con colores son aquellas cuyo nombre aparece en el plano cartográfico contenido en el Programa de Desarrollo Urbano de Centro de Población de Cuernavaca. Se asume en este documento que ese nombre es oficial para la barranca indicada; las barrancas en tono verde son aquellas que no tienen un nombre asignado en el plano del PDUCPC. Respecto a su longitud, la investigación que ha dirigido el MI Enrique Díaz Mora en el Instituto de Ingeniería y Posgrado de Urbanismo de la Universidad Nacional Autónoma de México a través del grupo *Urbanismo Transdisciplinario* —en el cual he participado a lo largo de la elaboración de este trabajo de investigación— ha arrojado, con base en planos cartográficos del PDUCPC (H. Ayuntamiento de Cuernavaca 2006), los datos que se muestran en la tabla 4.1³:

³Las longitudes mostradas corresponden solamente a los segmentos de barranca que se encuentran dentro de los límites administrativos municipales que el PDUCPC determina en los planos cartográficos de Cuernavaca

Tabla 4.1 Longitud de las barrancas dentro de los límites municipales de Cuernavaca

Barranca	Ubicación delegacional	Longitud (m)
El Tejocote	M. Matamoros	5,458
El Alguacil	M. Matamoros	2,838
El Sabino	M. Matamoros	7,420
El Cebadal	M. Matamoros	7,251
La Colorada	M. Matamoros	14,344
Tilapeña	M. Matamoros	14,090
El Cerrito	M. Matamoros	10,822
Pilcaya - El Cerrado	M. Matamoros	6,662
Literero	M. Matamoros	2,573
Los Pitos	M. Matamoros	9,446
El Tecolote	Límite delegacional M. Matamoros y P.E Calles	13,382
Atzingo	Límite delegacional P.E Calles y E. Zapata	7,917
Tepeyehualco	Límite delegacional P.E Calles y B. Juárez	3,693
Chiflón de los Caldos	B. Juárez	3,543
Tzompantle	E. Zapata	3,878
Ahuatlán	E. Zapata	4,539
Tetela	E. Zapata	7,790
San Pedro	E. Zapata	7,860
Del Pollo	L. Cárdenas, límite municipal con Temixco	7,882
Jiquilpan	E. Zapata	1842
Del empleado	B. Juárez	662
Amanalco	E. Zapata, B. Juárez L. Cárdenas	12,727
Manantiales	L. Cárdenas	2,444
Arroyo Tlalpasco	E. Zapata	734
Puente Blanco	E. Zapata, A. Barona, M. Hidalgo, límite con Jiutepec	9,043
Río Apatlaco – Arroyo Chapultepec	L. Cárdenas, límite municipal con Jiutepec	6,328
Barrancas sin nombre	Todas las delegaciones	118,226
		Total 300,814



Barrancas del Municipio de Cuernavaca
con nombre oficial de izquierda a derecha

 El Tejocote	 El Tecolote	 Los Pitos
 El Alguacil	 Atzingo	 Jiquilpan
 El Sabino	 Tepeyehualco	 Del Empleado
 El Cebadal	 Chiflón de los Caldos	 Amanalco
 La Colorada	 Tzompantle	 Manantiales
 Tilapeña	 Ahuatlán	 Arroyo Tlalapasco
 El Cerrito	 Tetela	 Río Apatlaco - Chapultepec
 Pilcaya - El Cerrado	 San Pedro	 Puente Blanco
 Literero	 Del Pollo	 Sin nombre oficial

Fig 4.2 Barrancas de Cuernavaca

Fuente: Modificado a partir de H. Ayuntamiento de Cuernavaca (2006)

4.3 Las barrancas como elementos de valor ambiental y urbano en Cuernavaca

Las barrancas no deben considerarse sólo como una entidad de forma del relieve, sino como elementos de valor ambiental y también de valor urbano, pues son elementos naturales que interactúan con el ser humano y su ciudad, cuando ésta se sitúa en zona de barrancas.

Desde la perspectiva ambiental, las barrancas de Cuernavaca son un factor determinante en el clima de la ciudad (Batllori 1999; Estrada 1997), pues su presencia, aunado a las corrientes de agua de los ríos y a la vegetación provoca un clima agradable para la ciudad, ya que el sistema de barrancas promueve el paso de vientos templados provenientes del norte que al atravesar las barrancas genera un descenso en la temperatura creando un clima fresco (García R. et al 2007). Además las barrancas aportan una serie de *servicios ambientales* importantes para el entorno en donde se ubican. La Ley General de Vida Silvestre define el término «servicios ambientales» como:

Los beneficios de interés social que se derivan de la vida silvestre y su hábitat, tales como la regulación climática, la conservación de los ciclos hidrológicos, la fijación de nitrógeno, la formación de suelo, la captura de carbono, el control de la erosión, la polinización de plantas, el control biológico de plagas o la degradación de desechos orgánicos (LGVS 2010)

Particularmente, las barrancas de Cuernavaca proporcionan los siguientes servicios ambientales:

- Realizan la captación de agua de lluvia, actuando como un drenaje natural y que contribuye a la recarga del acuífero, el cual es fundamental para el abastecimiento de agua potable del área metropolitana de Cuernavaca.
- Regulan el régimen térmico de la ciudad por la conducción de los vientos, fungiendo el sistema de barrancas como un radiador que —más allá de un clima agradable para los habitantes— favorece la estabilidad climática de la zona.
- Captan las partículas suspendidas en el aire, favoreciendo su calidad y reduciendo su contaminación.
- Contribuyen a la conservación de la humedad y la producción de oxígeno debido a su vegetación.
- Fungen de hábitat de aproximadamente 651 especies de fauna (García R. et al 2007) propiciando la conservación de la biodiversidad.

- Tienen un alto potencial para ser establecidas en puntos específicos como zonas de recreo, esparcimiento, turismo y actividades de cultura ecológica.

A pesar de las funciones naturales benéficas que tienen las barrancas, en la ciudad de Cuernavaca se han desarrollado actividades urbanas que han afectado sus características en la medida que han sido determinantes en configuración de la traza de la ciudad, la manera en la que ésta se ha expandido y también en su funcionamiento, pues en gran medida han determinado la configuración vial de la ciudad, han sido utilizadas como drenaje de aguas residuales, y han fungido como espacios para asentamientos humanos regulares e irregulares. Lo anterior justifica la importancia que tienen las barrancas dentro del ámbito urbano, por lo que se propone desde la perspectiva urbanística, una clasificación útil de las barrancas:

- Barrancas no urbanizadas: Son aquellas que aún no reciben el impacto de la urbanización y el entorno natural no ha sido antropizado. Se observa que en el poniente del municipio las barrancas aún no están urbanizadas.
- Barrancas semiurbanizadas: Son aquellas que han recibido parcialmente el impacto de la urbanización —en segmentos bien definidos— conservando tramos en donde aún no llega dicho impacto, pero que eminentemente a corto plazo, serán urbanizadas en su totalidad⁴, es decir, están en una fase de transición.
- Barrancas urbanizadas: Aquellas barrancas que en su totalidad han recibido el impacto directo de la urbanización y las actividades antropogénicas como son la apropiación de sus laderas para construcción de inmuebles —viviendas, por lo general— la contaminación de sus cauces con aguas residuales municipales e industriales, su uso como sitios de disposición de residuos sólidos, o la desaparición de algunos segmentos para dar paso a espacios urbanos⁵.

De los análisis de los planos cartográficos del municipio, se determinó que la longitud total de las barrancas de Cuernavaca es de 300.8 km, así como datos urbanísticos importantes sobre estos elementos:

⁴ Esta aseveración se fundamenta al conocer los espacios de reserva urbana contemplados por la autoridad municipal y que se encuentran en el PDUCCP

⁵ «Muchas barrancas han desaparecido; con los modernos métodos de construcción han sido tapadas y al cambiar los cursos de agua pluvial han terminado por rellenarse» (Estrada 1997)

- Las barrancas no urbanizadas del municipio son las que se encuentran al poniente del municipio, recorriendo de oeste a este son todas aquellas hasta la barranca de Los Pitos, pero sin incluirla, la longitud de estas barrancas es de: 149.3 km, que representan el 49.6 % de la longitud total.
- Las barrancas semiurbanizadas son Los Pitos —pues esta urbanizada solo en el extremo sur antes de unirse a la barranca del Pollo— y la barranca Literero; la longitud total de barrancas semiurbanizadas es de 12 km, que son el 4 % del total.
- Considerando que las barrancas urbanizadas son las que se encuentran en el oriente del municipio a partir de la barranca del Tecolote y del Pollo, la longitud total de barrancas urbanizadas es de: 139.5 km, es decir el 46.4 % restante.
- Hay una densidad municipal de barrancas de 1.45 km/km², es decir, hay 1.45 km de longitud de barranca por cada km² de superficie del municipio.

El impacto que han tenido las barrancas que han sido urbanizadas ha sido en detrimento del ambiente, pues se ha alterado su entorno natural contribuyendo a un deterioro ambiental que no es exclusivo de la zona donde se ubica el asentamiento humano sino que es extensivo a la zona metropolitana de Cuernavaca y a la cuenca del río Apatlaco. Este deterioro tiene las siguientes facetas:

- La contaminación del cauce y laderas por aguas residuales y desechos sólidos repercute en los siguientes puntos:
 - La contaminación del acuífero por infiltración de aguas superficiales contaminadas.
 - La generación de enfermedades en los asentamientos circundantes y la proliferación de fauna nociva.
 - El escurrimiento aguas abajo funciona como un vehículo de contaminantes y desechos, transportándolos a las comunidades y poblaciones ubicados al sur, principalmente los que se encuentran en la cuenca del río Apatlaco.
 - La desaparición de la flora y fauna endémica barranqueña.
- La construcción de viviendas en las laderas de la barranca origina la reducción de la capa vegetal, hasta el punto de su desaparición, disminuyendo las funciones de provisión de oxígeno y estabilización del clima.

- El relleno de barrancas para dar paso a suelo urbano, las desaparece debilitando de los servicios ambientales brindados, y modifica el drenaje natural y funcionamiento hidrológico de la zona.

La anulación de los servicios ambientales proporcionados por las barrancas, derivado de su apropiación y destrucción, es un problema que debe ser solucionado desde una perspectiva multidisciplinaria, con un adecuado abordaje desde la perspectiva social, ambiental y tecnológica, que permita una interacción hombre–entorno natural que minimice los efectos negativos al medio ambiente, y que a su vez optimice los satisfactores de las necesidades propias de una ciudad.

Las barrancas deben ser consideradas apropiadamente al momento de concebir y hacer ciudad, más allá del paisajismo y del turismo ecológico, puesto que los beneficios ambientales mejoran la calidad de vida en los habitantes. En Cuernavaca las barrancas han sido vistas como espacios a intervenir en la búsqueda de suelo para habitar, como cloacas al aire libre y como tiraderos de basura por un segmento amplio de la población, por desarrolladores inmobiliarios y en complacencia con las autoridades a lo largo del siglo pasado, pues la visión que se les ha dado no ha considerado ese valor urbano-ambiental que hemos descrito en este capítulo. Las soluciones que se han implementado para resolver la demanda de los servicios e infraestructura de la ciudad y su utilización como suelo urbano ha propiciado su destrucción, por lo que es indispensable que recobren su valor ambiental y que les sea instaurado un valor urbano. Para lograr ambos objetivos es necesaria la participación del ingeniero civil como integrante de un grupo multidisciplinario que diseña, construye y satisface las necesidades de una ciudad. De los múltiples impactos negativos que la antropización del entorno ha generado en ellas y que se han descrito de manera general en párrafos anteriores, se hace énfasis en la relación problemática de los sistemas de alcantarillado de la ciudad y las barrancas, que hace de ellas cuerpos receptores y drenaje de las aguas residuales.

Capítulo 5 Caracterización de los sistemas de alcantarillado del municipio de Cuernavaca

5.1 Breve recuento de la gestión del agua en la República Mexicana

En México, a finales del siglo XIX se inició un proceso de gestión centralizada en el gobierno porfirista con una serie de decretos para que el gobierno federal tomara el control de distintos recursos, entre ellos el agua.

Posteriormente, la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos de 1917 decreta que la nación es la propietaria de los recursos naturales, confiriendo al gobierno federal poder sobre su regulación y uso, dejando poco a los gobiernos estatales o municipales. El Artículo 27 establece el principio del agua como bien público, y se crea en 1926 la Comisión Nacional de Irrigación, con un sistema de planeación centralizada sobre el recurso hídrico. En 1946 se crea la Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH) instaurándose la Ley de Aguas del Artículo 27 Constitucional, que trae consigo al modelo centralizado de gestión por cuencas, donde todos los proyectos y programas se hicieran centralizados por el gobierno federal con una planificación basada en las cuencas hidrográficas del país (Dávila 2006).

En 1948, la SRH creó la Dirección General de Agua Potable y Alcantarillado (DGAPA) que tenía como función *la construcción* de los sistemas de agua potable y saneamiento en todo el país. Esta dirección se encargó de las políticas de creación y construcción desde el gobierno de Miguel Alemán Valdés (1946 – 1952) hasta el de Luis Echeverría (1970 - 1976). Para *la supervisión* de la operación de estos sistemas, en 1971 la SRH creó la Dirección General de Operación de Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado (DGOSAPA) (Pineda 1998)

En 1976 se amplían las atribuciones de la SRH pasando a ser la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) que trajo consigo un mayor fortalecimiento del sector agrícola así como la transferencia de la operación de estos servicios a la recién

constituida Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (SAHOP) ya que estaba orientada en el desarrollo urbano y servicios. Debido al gran crecimiento urbano que sufrió México en las décadas de los sesentas y setentas del siglo XX, la centralización del control y operación de los sistemas de agua potable estaba siendo incompetente para atender el crecimiento y demanda de estos servicios, por lo que en 1980 la SAHOP transfirió *su operación* a los gobiernos de los estados, quienes algunos por su parte, transfirieron esta responsabilidad a los municipios, aunque la responsabilidad de la inversión se mantuvo bajo control federal.

En 1989, es creada una nueva instancia denominada Comisión Nacional del Agua, a la que a pesar de no tener rango de secretaría, es reconocida por la Ley de Aguas Nacionales de 1992 como la instancia oficial del gobierno en todo lo relacionado con el recurso hídrico. En los años noventas del Siglo XX, la asignación que tenían los municipios u otras instancias dependientes de los gobiernos locales, como Juntas, los Comités o Consejos de Agua para realizar el uso, aprovechamiento de las aguas nacionales —tanto en zonas urbanas como en rurales— fue transferida a los gobiernos estatales como parte de los programas APAZU (Agua potable, Alcantarillado y Saneamiento en Zonas Urbanas), PROSSAPYS¹ y el Programa de Agua Limpia. El Programa APAZU fue creado para:

Cubrir rezagos y atender demandas de servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento en localidades mayores a 2,500 habitantes, buscando que los recursos del gobierno federal destinados a este programa sirvieran también para mejorar la eficiencia física y financiera de los Organismos Operadores encargados del manejo de los sistemas. Este programa maneja más de la mitad de la totalidad de las inversiones en el país en agua potable alcantarillado y saneamiento, y se financia con recursos federales, estatales, municipales, créditos, y de los recursos aportados por Organismos Operadores que participan en el Programa (CNA 2007)

Posteriormente, con reformas a la Ley de Aguas Nacionales en 2004, se amplió la asignación de los derechos de uso del agua que tenían los municipios a los estados y al Distrito Federal, así como la autorización a las autoridades estatales y municipales para que dentro de los programas anteriormente mencionados se diera en concesión el servicio de agua potable y saneamiento a los *Organismos Operadores*, los cuales son:

¹ PROSSAPYS es un programa federal dirigido para municipios, comunidades y sistemas de administración de agua potable para la realización de proyectos y obras encaminadas al mejoramiento de servicios de agua potable y saneamiento a zonas urbanas menores de 2,500 habitantes

organismos descentralizados de la administración pública municipal o estatal, con personalidad jurídica y patrimonio propios y con funciones de autoridad administrativa, mediante el ejercicio de las atribuciones que le confiere la ley estatal en la materia; los recursos (económicos) que reciben del gobierno federal son principalmente a través del Programa de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento en Zonas Urbanas y se aplican a acciones para el mejoramiento de su eficiencia física; los recursos se ejercen con aportaciones financieras adicionales de los gobiernos estatales, municipales y de organismos operadores (CNA citado por Dávila, 2006)

Son los Organismos Operadores los responsables de proporcionar los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento en el nivel municipal y estatal. Para su consolidación, la CNA estableció un programa denominado *Programa para la Modernización de los Organismos Operadores de Agua* (Promagua), que:

Promueve la participación del sector privado para apoyar la consolidación de prestadores de servicios de localidades, preferentemente de más de 50 mil habitantes (50% de la población), mediante la aportación de recursos públicos y privados para incrementar eficiencias y ampliar coberturas. (CNA /CMIC 2004)

Lo que indica que «la “eficiencia” de los servicios de los sistemas de agua potable y saneamiento es directamente proporcional a la posibilidad de privatizarlos» (Dávila 2006). Este proceso de privatización requería de un enlace entre los diferentes gobiernos: federal, estatal y municipal así como los Organismos Operadores, para lo cual CNA creó en 2000 a las Comisiones Estatales de Agua (CEA) como organismos públicos descentralizados, en cada entidad federativa.

5.2 Comisión Estatal de Agua del Estado de Morelos y Organismo Operador del Municipio de Cuernavaca

La Comisión Estatal de Agua del Estado de Morelos (CEAMA) fue creada mediante decreto, el 29 de septiembre de 2000, con funciones de autoridad administrativa, mediante el ejercicio de las atribuciones otorgadas por la Ley Estatal de Agua Potable, la Ley del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente del Estado de Morelos y sus Reglamentos. En su Ley de Creación (LCCEAMA 2000) en el Artículo 2, son indicados su objeto y atribuciones:

La Comisión Estatal del Agua y Medio Ambiente, tendrá por objeto la coordinación entre los Municipios y el Estado, y entre éste y la Federación para la realización de las acciones relacionadas con la explotación, uso y aprovechamiento del agua; preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente, así como la prestación de los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, saneamiento y ambientales. (LCCEAMA 2000)

Dentro de dichas labores de coordinación, se destacan las orientadas a alcantarillado y saneamiento, mencionadas en los artículos 3 y 4 de su Ley de Creación. (LCCEAMA, 2000):

- Proponer las acciones relativas a la planeación y programación hidráulica, en el ámbito de su competencia, en coordinación con los organismos federales cuando así se requiera; así como con los ayuntamientos y organismos prestadores del servicio de agua potable;
- Ejecutar obras de infraestructura hidráulica, en los términos de los convenios que al efecto se celebren con la Federación
- Promover el establecimiento y difusión de normas en lo referente a la realización de obras y a la construcción, operación, administración, conservación y mantenimiento de los sistemas de captación, potabilización, conducción, almacenamiento y distribución de agua potable, alcantarillado y saneamiento;
- Promover la potabilización del agua y el tratamiento de las aguas residuales
- Conocer de todos los asuntos que en forma general o específica interesen al buen funcionamiento de los servicios públicos de agua potable ecología y medio ambiente, así como del reúso de las aguas residuales
- Promover la utilización de las aguas residuales para el riego de áreas agrícolas, previo cumplimiento de las normas oficiales mexicanas referidas a esta materia.
- Formular y conducir la política ecológica y de protección al ambiente del Estado de Morelos
- Proponer al Ejecutivo Estatal la expedición de disposiciones para preservar y restaurar el equilibrio ecológico y proteger el ambiente en la entidad.

La CEAMA obtiene sus recursos de aportaciones federales, estatales, municipales y también de los organismos operadores municipales; así como por ingreso debidos al cobro de prestación de servicios de agua potable y tratamiento de aguas residuales, así como servicios diversos que llegue a prestar a los usuarios. Su constitución consiste en una Junta de Gobierno, un Secretario Ejecutivo, Un Consejo Consultivo y el personal técnico y administrativo. (LCCEAMA, 2000).

En Cuernavaca, el Organismo Operador es el *Sistema de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Cuernavaca* SAPAC, en cuyo acuerdo de creación, artículo 1, se instituye:

Como organismo público descentralizado de la administración municipal, con personalidad jurídica y patrimonio propios y con funciones de autoridad administrativa, mediante el ejercicio de las atribuciones que establece la Ley Estatal de Agua Potable, teniendo por objeto prestar y administrar los servicios públicos de agua potable y saneamiento en el municipio. (SAPAC 1995).

Y su objeto, según el artículo 2 del mismo acuerdo es: «prestar y administrar los servicios públicos de agua potable y saneamiento en el municipio de Cuernavaca» (SAPAC 1995).

Dentro de sus obligaciones —con especial enfoque en el ámbito de alcantarillado y saneamiento— destaco las siguientes:

Según el artículo 3, párrafo I:

Planear y programar en el ámbito del municipio de Cuernavaca, así como estudiar, proyectar, presupuestar, construir, rehabilitar, ampliar, operar, administrar y mejorar tanto los sistemas de captación y conservación de agua, potabilización, conducción, almacenamiento y distribución de agua potable, como los sistemas de saneamiento, incluyendo el alcantarillado, tratamiento de aguas residuales, reuso de las mismas y manejo de lodos (SAPAC 1995).

Es su deber, según el párrafo II «proporcionar a los centros de población y asentamientos humanos de la jurisdicción del municipio de Cuernavaca, los servicios descritos en la sección anterior» (SAPAC 1995)

Del párrafo XI: «Realizar por sí o por terceros las obras de agua potable y alcantarillado de la jurisdicción del municipio de Cuernavaca y recibir las que se construyan en el mismo» (SAPAC 1995). En el párrafo XXI indica que es de su competencia «Otorgar los permisos de descarga de aguas residuales a los sistemas de drenaje o alcantarillado, en los términos de la Ley²» (SAPAC 1995). Para conocer su organización, se presenta la figura siguiente:

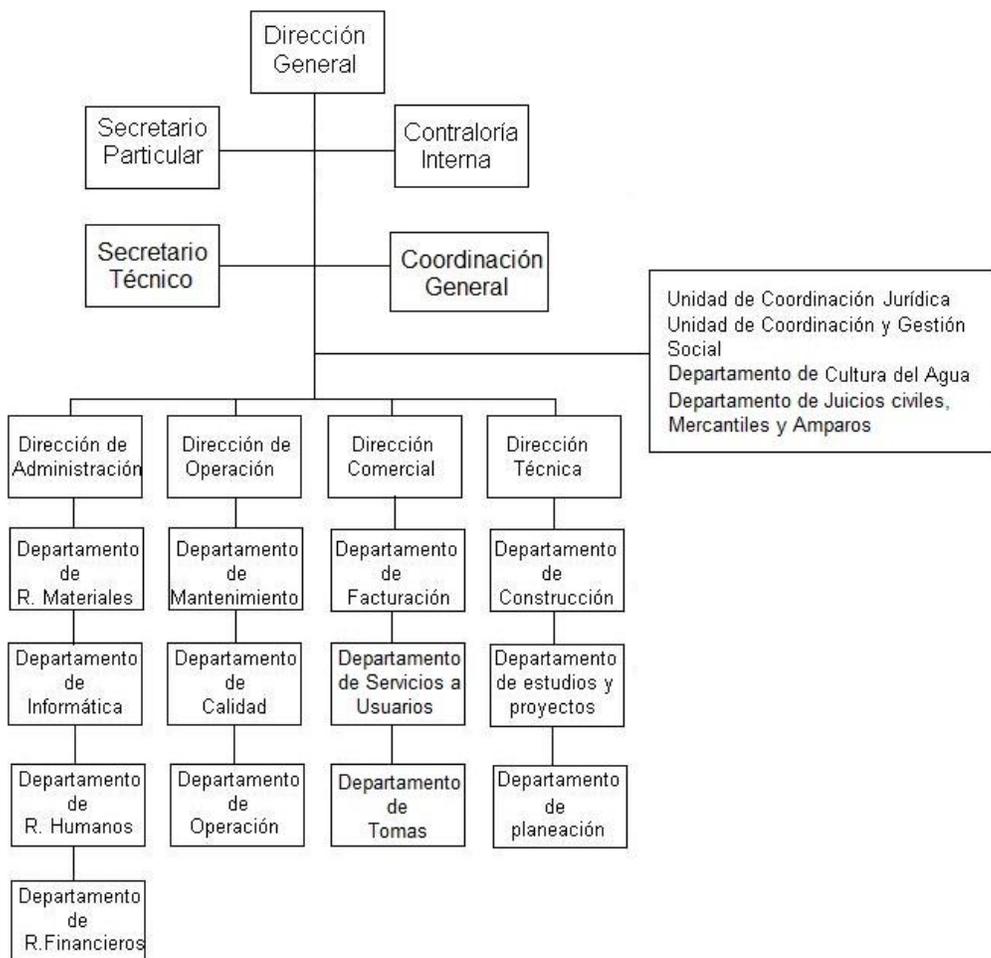


Fig 5.1 Organigrama del Sistema de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Cuernavaca (actualizado al 2010)

² Ley Estatal de Agua Potable, Ley de Aguas Nacionales y sus Reglamentos.

El SAPAC posee un reglamento interior, donde se encuentran establecidas las funciones, obligaciones y responsabilidades de cada una de las Direcciones, Secretarías, Unidades y Departamentos; la modificación que corresponde al organigrama de la figura 5.2 es la correspondiente a la reforma del 3 de febrero de 2010 del Reglamento Interior del Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de Cuernavaca (SAPAC 2009)

La constitución del patrimonio de SAPAC, se constituye según la figura 5.1



Fig 5.2 Constitución del patrimonio de SAPAC

5.3 Contextualización de la descarga de aguas residuales en Cuernavaca en el ámbito Estatal y Nacional

Una vez conocidos los alcances tanto del CEAMA como del SAPAC, resulta oportuno contextualizar el desalojo de las aguas residuales a nivel nacional, estatal y municipal, donde se muestran con datos de los conteos y censos del INEGI, el número de viviendas conectadas a la red pública, a fosas sépticas, tuberías con descarga a barrancas, a ríos o lagos o al mar, y aquellas que no tienen drenaje, así como las que no se tiene información alguna.

Tabla 5.1 Desalojo de aguas residuales en la República Mexicana

Año	Conectado a la red pública		Conectado a fosa séptica		Tubería directa a barranca o grieta		Tubería directa a río, lago o mar	
	(%)	Viviendas	(%)	Viviendas	(%)	Viviendas	(%)	Viviendas
1995	60.0	11,612,312	11.8	2,283,354	1.9	371,855	1.1	203,685
2000	63.5	13,666,180	11.4	2,460,620	1.9	401,393	1.3	272,741
2005	69.3	16,632,251	15.5	3,716,059	1.2	283,333	0.8	193,406

Año	No tiene drenaje		No especificado		Total	
	(%)	Viviendas	(%)	Viviendas	(%)	Viviendas
1995	25.1	4,856,172	0.2	34,094	100	19,361,472
2000	21.3	4,592,550	0.6	118,752	100	21,512,236
2005	12.0	2,883,591	1.2	297,717	100	24,006,357

Tabla 5.2 Desalojo de aguas residuales en el Estado de Morelos

Año	Conectado a la red pública		Conectado a fosa séptica		Tubería directa a barranca o grieta		Tubería directa a río o lago	
	(%)	Viviendas	(%)	Viviendas	(%)	Viviendas	(%)	Viviendas
1995	53.2	170,905	23.8	76,358	4.7	15,101	1.0	3,327
2000	54.4	192,576	24.1	85,367	5.4	19,233	1.0	3,702
2005	62.1	240,004	27.4	105,768	2.9	11,272	0.5	1,990

Año	No tiene drenaje		No especificado		Total	
	(%)	Viviendas	(%)	Viviendas	(%)	Viviendas
1995	17.1	55,034	0.2	552	100.0	321,277
2000	14.1	50,076	0.9	3,081	100.0	354,035
2005	6.0	23,314	1.1	4,071	100.0	386,419

Tabla 5.3 Desalojo de aguas residuales del municipio de Cuernavaca

Año	Conectado a la red pública		Conectado a fosa séptica		Tubería directa a barranca o grieta		Tubería directa a río o lago	
	(%)	Viviendas	(%)	Viviendas	(%)	Viviendas	(%)	Viviendas
1995	61.6	47,279	25.3	19,437	9.2	7,073	0.3	263
2000	58.2	48,122	28.3	23,355	9.8	8,101	0.2	205
2005	65.6	56,828	26.5	22,941	6.0	5,198	0.3	234

Año	No tiene drenaje		No especificado		Total	
	(%)	Viviendas	(%)	Viviendas	(%)	Viviendas
1995	3.1	2,343	0.4	327	100	76,722
2000	2.5	2,034	1.0	840	100	82,657
2005	0.8	718	0.8	662	100	86,581

La tabla 5.3 presenta las condiciones de desalojo de las aguas residuales en el municipio de Cuernavaca, en el periodo 1995-2005, año correspondiente a los últimos datos publicados por INEGI a la fecha de elaboración de este documento. En ella es posible observar que preponderantemente las aguas residuales en el municipio son desalojadas por medio del sistema de alcantarillado (red pública, como lo define INEGI) en un porcentaje mayor al del Estado de Morelos, pero menor al de la República Mexicana en los últimos diez años.

Para el año 2005, indica un crecimiento en el porcentaje de viviendas con el servicio de alcantarillado, un dato que resultaría alentador, pero en la realidad no garantiza la correcta disposición de dichos residuos ni previene la contaminación de cauces y barrancas. La validez de esta afirmación será sustentada en el subcapítulo siguiente y en el capítulo VI de este trabajo. Otro sector de la población del municipio realiza su desalojo por medio de fosas sépticas, los sectores restantes de la población descargan a barrancas y ríos de manera directa. El número de este tipo de descargas, según la información mostrada, ha venido a menos para

el 2005. Para una crítica objetiva a esta información, es necesario conocer como primer paso, al sistema de alcantarillado del municipio de Cuernavaca, su funcionamiento y cobertura.

5.4 Caracterización del alcantarillado del municipio de Cuernavaca

Refiriéndonos al término alcantarillado definido en el capítulo III, el punto de partida para caracterizar el alcantarillado de Cuernavaca es el Diagnóstico del Sistema de Alcantarillado y Propuestas de Infraestructura del Municipio de Cuernavaca: Informe Final, elaborado por Aranda Baltazar y Asociados Consultoría y Construcciones, S. A. de C. V. (ABACCSA) para SAPAC en el año 2001³. Es oportuno mencionar que bajo un análisis de los datos de este Diagnóstico, se encontraron algunas incongruencias, que se indican en este documento.

La red municipal de alcantarillado operada por SAPAC contaba para el año 2001 — cuando se elaboró el Diagnóstico— con 41.675 km de colectores y subcolectores y 172.16 km de redes secundarias. En Cuernavaca, debido a la irregularidad topográfica que se presenta debido a las barrancas descritas en el capítulo IV, presenta un alcantarillado con una característica particular: se encuentra severamente fragmentado y carente de continuidad, particularmente en la zona poniente de la ciudad. Esta particularidad hace que el alcantarillado secundario opere de manera sectorizada, es decir, colecta las aguas residuales de una zona en específico, y las dispone en un punto de descarga a un cuerpo receptor, que es alguna de las barrancas de la ciudad de manera directa y sin tratamiento alguno, fungiendo sólo como un intermediario entre los habitantes y las barrancas, donde continúan su curso hacia el sur del municipio y del Estado por su cauce natural, convirtiéndolas en auténticas cloacas al aire libre. Para ejemplificar lo anterior he seleccionado dos casos al poniente de la ciudad, en la delegación Plutarco Elías Calles.

En la figura 5.3, se puede apreciar una red de alcantarillas en la colonia Hacienda Tetela, en la Delegación Plutarco Elías Calles, al poniente de la ciudad, donde el agua es recolectada solo para su descarga en la barranca Atzingo (derecha) y en la barranca el Tecolote (izquierda).

Recorriendo las barranca el Tecolote en dirección Sur, se encuentran las colonias Altavista Barrancas, José López Portillo y Margarita Maza de Juárez, el plano de

³ En palabras de personal de SAPAC, es el último y único diagnóstico del alcantarillado de Cuernavaca realizado a la fecha de elaboración de esta tesis (2011).

alcantarillado municipal reporta la misma situación; redes secundarias aisladas que descargan las aguas recolectadas en esta barranca (izquierda) y la barranca Tepeyehualco (derecha) como se muestra en la figura 5.4.

Las atarjeas del sistema de alcantarillado municipal que conectan al alcantarillado primario, son aquellas que si tienen continuidad, pues por medio de los colectores y subcolectores, conducen el agua residual a la planta de tratamiento de Acapatzingo, al sur de la ciudad, para su vertimiento en el río Apatlaco. El sistema primario de alcantarillado existente y en operación para el año 2001 tienen las características que se muestran en las tablas del 5.4 al 5.17.

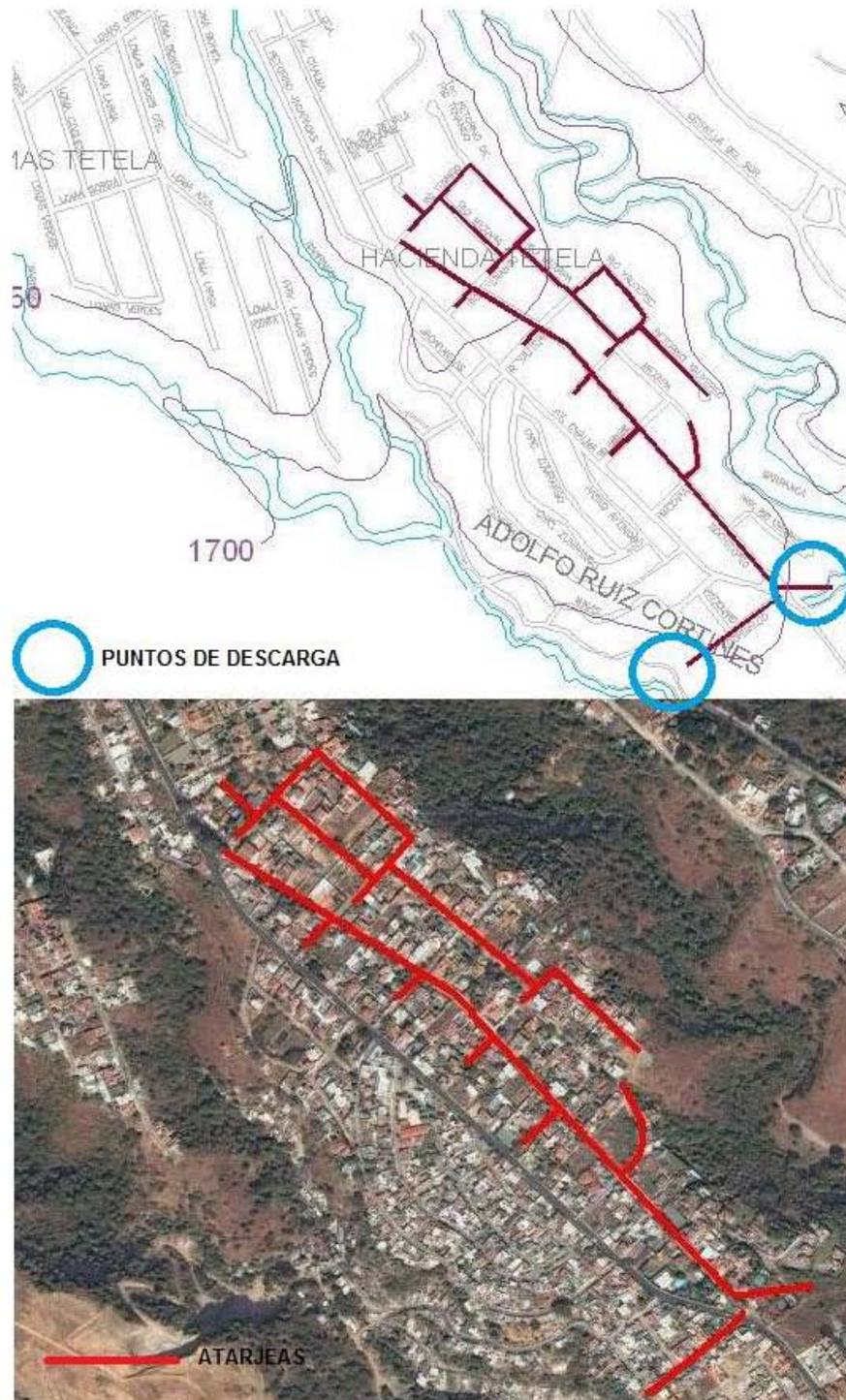


Figura 5.3 Alcantarillado secundario en la Colonia Hacienda Tetela

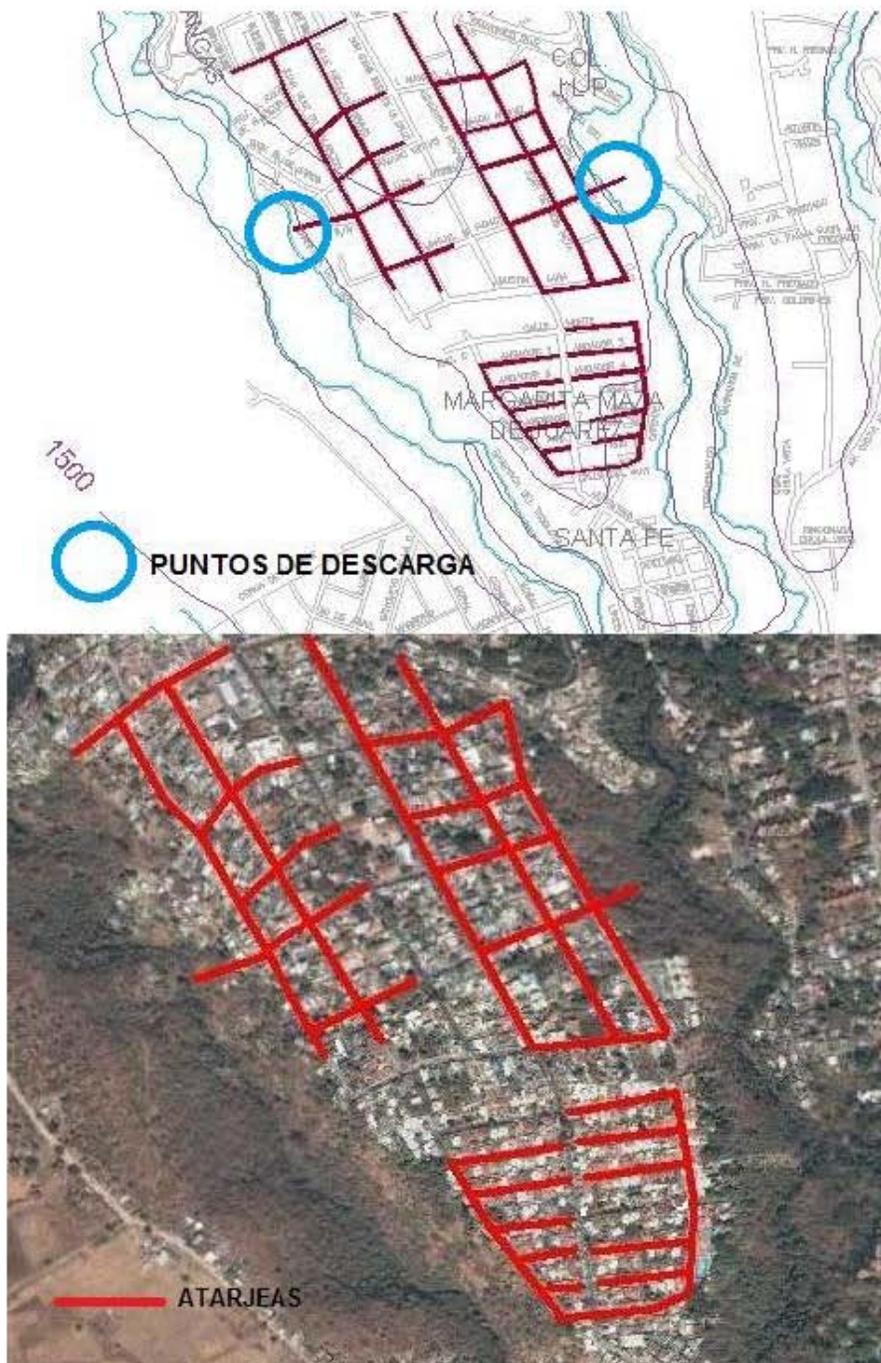


Figura 5.4 Alcantarillado secundario en la Colonia Maza de Juárez

Tabla 5.4 Datos subcolector 8

Nombre	Júpiter	Tipo	Subcolector	Nº	8
Longitud Total	1900 m	Gasto medio estimado	40.64 l/s	Área de aportación	228 Has
Tramo	1	Inicia	Glorieta Av. E. Zapata Col. Antonio Barona Del. Antonio Barona		
Diámetro nominal	45 cm (18")	Termina	Calle Tulipán Italiano Col. Los Tulipanes Del. M. Hidalgo		
Aporta a:	Colector 3 San Juan				

Tabla 5.5 Datos colector 3

Nombre	San Juan	Tipo	Colector	Nº	3
Longitud Total	3900 m	Gasto medio estimado	86.42 l/s	Área de aportación	484.85 Has
Tramo	1	Inicia	Calle Tulipán Italiano Col. Los Tulipanes Del. M. Hidalgo		
Diámetro nominal	45 cm (18")	Termina	Calle Felipe esquina calle Estela Col. Lotes Alegría Del. M. Hidalgo		
Tramo	2	Inicia	Calle Felipe esquina calle Estela Col. Lotes Alegría Del. M. Hidalgo		
Diámetro nominal	91 cm (36")	Termina	Calle 5 de mayo esquina calle Begonia Col. Vicente Estrada Cajigal Del. V. Guerrero		
Tramo	3	Inicia	Calle 5 de mayo esquina calle Begonia Col. Vicente Estrada Cajigal Del. V. Guerrero		
Diámetro nominal	107 cm (42")	Termina	Conectando al Subcolector 9, calle 10 de abril esquina calle Ignacio Zaragoza Col. Las Granjas Del. V. Guerrero		
Aporta a:	Subcolector 9 Satélite				

Tabla 5.6 Datos subcolector 12

Nombre	Rivera Crespo	Tipo	Subcolector	Nº	12
Longitud Total	1200 m	Gasto medio estimado	15.62 l/s	Área de aportación	87.65 Has
Tramo	1	Inicia	Paseo Cuauhnáhuac esquina calle La Palma Col. Ampl. Satélite Del. V. Guerrero		
Diámetro nominal	45 cm (18")	Termina	Calle La Palma esquina calle Geranio Col. Ampliación Satélite Del. Vicente Guerrero		
Tramo	2	Inicia	Calle La Palma esquina calle Geranio Col. Ampliación Satélite Del. V. Guerrero		
Diámetro nominal	61 cm (24")	Termina	Subcolector 9 Satélite Av. 10 de abril esquina calle Lázaro Cárdenas Col. Las Granjas Del. V. Guerrero		
Aporta a:	Subcolector 9 Satélite				

Tabla 5.7 Datos subcolector 9

Nombre	Satélite	Tipo	Subcolector	Nº	9
Longitud Total	1900 m	Gasto medio estimado	15.95 l/s	Área de aportación	89.45 Has
Tramo	1	Inicia	Calle. 10 de abril esquina calle Lázaro Cárdenas Col. Las Granjas Del. V. Guerrero		
Diámetro nominal	61 cm (24")	Termina	Calle 10 de abril esquina calle Ignacio Zaragoza Col. Las Granjas Del. V. Guerrero		
Tramo	2	Inicia	Calle 10 de abril esquina calle Ignacio Zaragoza Col. Las Granjas Del. V. Guerrero		
Diámetro nominal	107 cm (42")	Termina	Intersección del subcolector 10 Atlacomulco y colector 2 Preparatoria I en Jiutepec		
Aporta a:	Colector 2 Preparatoria I				

Tabla 5.8 Datos subcolector 10

Nombre	Atacomulco	Tipo	Subcolector	Nº	10
Longitud Total	1600 m	Gasto medio estimado	24.02 l/s	Área de aportación	134.75 Has
Tramo	1	Inicia	Calle Gladiola esquina calle Jazmín Col. Satélite Del. Vicente Guerrero		
Diámetro nominal	38 cm (15")	Termina	Av. Chapultepec esquina Privada Jacarandas Col. Ampliación Chapultepec Del. Vicente Guerrero		
Tramo	2	Inicia	Av. Chapultepec esquina Privada Jacarandas Col. Ampliación Chapultepec Del. Vicente Guerrero		
Diámetro nominal	61 cm (24")	Termina	Av. Chapultepec esquina Av. Camino a Fraccionamiento Sumiya en el límite con el municipio de Jiutepec		
Tramo	3	Inicia	Av. Chapultepec esquina Av. Camino a Fraccionamiento Sumiya en el límite con el municipio de Jiutepec		
Diámetro nominal	76 cm (30")	Termina	Intersección del subcolector 9 Satélite y colector 2 Preparatoria I en el municipio de Jiutepec		
Aporta a	Colector 2 Preparatoria I				

Tabla 5.9 Datos colector 2

Nombre	Preparatoria I	Tipo	Colector	Nº	2
Longitud Total	975 m	Gasto medio estimado	28.64 l/s	Área de aportación	160.65 Has
Tramo	1	Inicia	Intersección del subcolector 9 Satélite y subcolector 10 Atlacomulco en el municipio de Jiutepec		
Diámetro nominal.	107 cm (42")	Termina	Emisor 1 Acapatzingo		
Aporta a:	Emisor 1 Acapatzingo				

Tabla 5.7 Datos subcolector 14

Nombre	Ahuatepec	Tipo	Subcolector	Nº	14
Longitud Total	2200 m	Gasto medio estimado	31.59 l/s	Área de aportación	177.25 Has
Tramo	1	Inicia	Calle Mojica esquina calle Morelos Col. Chamilpa Del. Emiliano Zapata		
Diámetro nominal	45 cm (18")	Termina	Calle F. J. Mina esquina Carr. a Ocotepc Col. Chamilpa Del. Emiliano Zapata		
Tramo	2	Inicia	Calle F. J. Mina esquina Carr. a Ocotepc Col. Chamilpa Del. Emiliano Zapata		
Diámetro nominal	61 cm (24")	Termina	Av. Domingo Díez esquina Paseo de los Conquistadores Col. Los Faroles Del. Emiliano Zapata		
Aporta a:	Colector 7 Domingo Díez				

Tabla 5.8 Datos colector 7

Nombre	Domingo Díez	Tipo	Colector	Nº	7
Longitud Total	3950m	Gasto medio estimado	49.89 l/s	Área de aportación	279.9 Has
Tramo	1	Inicia	Av. H. Colegio Militar, Zona Militar Del. Emiliano Zapata		
Diámetro nominal	61 cm (24")	Termina	Av. Domingo Díez esquina Paseo de los Conquistadores Col. Los Faroles Del. Emiliano Zapata		
Tramo	2	Inicia	Av. Domingo Díez esquina Paseo de los Conquistadores Col. Los Faroles Del. Emiliano Zapata		
Diámetro nominal	76 cm (30")	Termina	Av. Domingo Díez esquina calle Pericón Col. Miraval Del. Benito Juárez		
Aporta a:	Colector 6 Díaz Ordaz				

Tabla 5.9 Datos subcolector 13

Nombre	San Juan	Tipo	Subcolector	Nº	13
Longitud Total	950 m	Gasto medio estimado	5.31 l/s	Área de aportación	29.8 Has
Tramo	1	Inicia	Calle Atlacomulco a un lado de la barranca de los Sauces Col. Las Quintas Del. Lázaro Cárdenas		
Diámetro	45 cm (18")	Termina	Av. Adolfo Ruiz Cortines esquina calle Cástulo Villaseñor Col. Acapatzingo Del. Lázaro Cárdenas		
Aporta a:	Colector 6 Díaz Ordaz				

Tabla 5.10 Datos subcolector 11

Nombre	Chapultepec II	Tipo	Subcolector	Nº	11
Longitud Total	3000 m	Gasto medio estimado	19.82 l/s	Área de aportación	111.2 Has
Tramo	1	Inicia	Calle Duberman esquina calle Chapultepec Col. Teopanzolco Del. Benito Juárez		
Diámetro	45 cm (18")	Termina	Calle Morelos esquina calle Privada Las Fuentes Col. Loma del Águila Del. Lázaro Cárdenas		
Aporta a:	Colector 5 Chapultepec I				

Tabla 5.11 Datos subcolector 5

Nombre	Chapultepec I	Tipo	Colector	Nº	5
Longitud	600 m	Gasto medio estimado	ND	Área de aportación	ND
Sección	1	Inicia	Calle Morelos esquina Priv. Las Fuentes Col. Loma del Águila Del. Lázaro Cárdenas		
Diámetro	45 cm (18")	Termina	Paseo de los Tabachines y Priv. Crisantemo Col. Loma del Águila Del. Lázaro Cárdenas		
Aporta a:	Colector 6 Díaz Ordaz				

Tabla 5.12 Datos colector 4

Nombre	Preparatoria II	Tipo	Colector	Nº	4
Longitud Total	900 m	Gasto medio estimado	28.64 l/s	Área de aportación	160.65 Has
Tramo	1	Inicia	Calle Privada Atlacomulco esquina calle Carlos Pacheco Col. El Lago Del. Vicente Guerrero		
Diámetro nominal	61cm (24")	Termina	Colector 6 Díaz Ordaz Col. Lomas del Águila Del. Lázaro Cárdenas		
Conduce aportación a	Colector 6 Díaz				

Tabla 5.13 Datos colector 6

Nombre	Díaz Ordaz	Tipo	Colector	Nº	6
Longitud Total	7300 m	Gasto medio estimado	121.12 l/s	Área de aportación	679.52 Has
Sección	1	Inicia	Av. Domingo Díez esquina calle Pericón Col. Miraval Del. Benito Juárez		
Diámetro	107 cm	Termina	En intersección con el colector 2 para dar inicio al emisor Col. Loma del Águila Del. Lázaro Cárdenas		
Conduce aportación a	Emisor Acapatzingo				

Tabla 5.14 Datos del emisor

Nombre	Acapatzingo		Tipo	Emisor	Nº	1
Longitud	1150 m		Área de aportación	-		
Sección	1	Inicia	En la intersección del colector 2 con el colector 6			
Diámetro	152 cm	Termina	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Acapatzingo Del. Lázaro Cárdenas			
Conduce aportación a	Planta de Tratamiento de Acapatzingo					
Observaciones:	Este emisor conduce las aguas captadas por el drenaje primario de la ciudad para su tratamiento y posterior vertido de las aguas residuales tratadas al río Apatlaco					

La planta de tratamiento de Acapatzingo — diseñada para una capacidad instalada de 600 l/s— una vez realizado el tratamiento, vierte el agua residual al río Apatlaco. Cabe apuntar que en la actualidad este tratamiento— consistente en discos biológicos— no cumple con la Norma Oficial Mexicana para descarga de aguas residuales—NOM-001-SEMARNAT-1996 «que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales»— pues como lo ha determinado mediante entrevistas a los operadores de la planta, la empresa ABACCSA (2001) indica que «la calidad del agua influente, comparada con la del efluente es prácticamente semejante», lo que indica que la planta ha tenido un mantenimiento ineficiente. Aunado a esto, estas instalaciones trabajan a una capacidad inferior a la instalada, debido a la ausencia de alcantarillado en zonas de la ciudad, o que no se conecta a los colectores y subcolectores.

La planta ha trabajado ineficientemente hasta 2010, año en el que se inició su rehabilitación bajo el marco de un plan de saneamiento que detallaremos posteriormente.

En el informe analizado, se presentan una serie de propuestas de ampliación a largo plazo de los sistemas de alcantarillado de la ciudad, que permita que más viviendas tengan el servicio de alcantarillado y que permita darle continuidad a la red para su conducción a plantas de tratamiento, y contribuir a erradicar las descargas del sistema a las barrancas. Esta propuesta se encuentra clasificada por subsistemas, compuestos de colectores y subcolectores

(así indicados por ABACCSA) complementados con dos lagunas de estabilización .La propuesta se sintetiza en las tablas 5.15 a 5.22:

Tabla 5.15 Subsistema Tecolote

Subsistema Tecolote					
Tipo	Nombre	Longitud (m)	Diámetro cm pulg		Ubicación
Subcolector	Lomas Verdes	1620	20	8"	Fraccionamiento Lomas de Tetela Secc. 1 ,2 y 3
		240	30	12"	
Subcolector	Zempoala	1650	20	8"	Av. Chalma, Av. Zempoala Fracc. Club Felicidad, Col. Tetela, Col R. Cortines
Subcolector	Atzingo	990	30	12"	Av. Chalma, Av. Central Fracc. Lomas de Atzingo
Subcolector	Circunvalación	1875	30	12"	Av. Central, calle E. Zapata, Av. Otilio Montaña; calle Francisco Ruiz; Fracc. Lomas de Atzingo, Col. Plan de Ayala, Col Loma Hermosa
Subcolector	Apatlaco-Robles	1300	45	18"	Calle Francisco Ruiz, marginal a barranca Tecolote, Andador Robles Col. San Antón, Col. Ampl. Chulavista
Subcolector	Chalma Nogales	1650	20	8"	Av. Chalma, Av. Nogales, Calle Francisco Ruiz.
Subcolector	Tecolote I	2100	30	12"	Calle Jacarandas, marginal a barranca Tecolote, Col. Plan de Ayala
Emisor	Revolución (Tecolote II)	560	45	18"	Marginal al río Apatlaco, calle Matamoros, descarga en laguna de estabilización

Tabla 5.16 Subsistema San Antón

Subsistema San Antón					
Tipo	Nombre	Longitud (m)	Diámetro cm pulg		Ubicación
Subcolector	Vía Láctea I	1300	20	8"	Av. Vía Láctea y Av. Estrella del Sur. Fracc. Rancho Tetela
Subcolector	Vía Láctea II	850	20	8"	Av. Vía Láctea Av. Compositores Col. Rinconada San Jerónimo
Subcolector	La Cruz	1450	30	12"	Calle La Cruz, calle Guadalupe, calle Agua Azul Calzada Los Reyes Col. Tetela del Monte
Subcolector	Los Reyes	1950	30	12"	Calz. de los Reyes, Av. Compositores Col. Tlaltenango y Analco
Subcolector	Compositores	2100	45	18"	Av. Compositores Calz. de los Actores. Col. Rinconada San Jerónimo, Fracc. La Cañada, Fracc. La Joya
Subcolector	Preciado	1100	45	18"	Av. Preciado Col. Las Flores Col. San Antón
Subcolector	Chulavista	1250	45	18"	Av. Preciado Av. Chulavista calle Laurel, descarga en Emisor Revolución

Tabla 5.17 Subsistema Loma Linda-Obregón-Zapata

Subsistema Loma Linda-Obregón-Zapata					
Tipo	Nombre	Longitud (m)	Diámetro cm pulg		Ubicación
Subcolector	Monasterio - Rosal	1250	20	8"	Calle Camino a la Montaña, calle Camino al Monasterio, calle Rosal; Col. Santa María
		650	30	12"	Ahuacatitlan, Col. El Monasterio
Subcolector	Francisco Villa	700	30	12"	Calle Rosal, calle Francisco Villa, Av. Emiliano Zapata, Col. Rancho Cortés y Col. Buenavista
		700	61	24"	
Subcolector	20 de Noviembre	1100	30	12"	Av. 20 de Noviembre, calle Margarita Col. Loma Linda, Col. Sta. María Ahuacatitlan
Subcolector	Colotepec- Independencia	1400	20	8"	Calle Colina, calle Colotepec, calle Independencia, calle José María Morelos;
		1300	30	12"	Av. José María Morelos, calle Lirio, calle Ajusco; Col. Loma Linda
Subcolector	Morelos-Lirios	400	45	18"	
Colector	Zapata- Obregón- Morelos Tramo I	1700	91	36"	Av. E. Zapata Col. Buenavista Col. Palmas
Colector	Zapata- Obregón- Morelos Tramo II	1150	91	36"	Av. E. Zapata Col. Tlaltenango Residencial Los Ciruelos y Col. Rincón del Artista
Colector	Zapata-	1300	91	36"	Av. Álvaro Obregón, calle

	Obregón- Morelos Tramo III				Linares; Col. Valle Obregón, Col. Miraval
Colector	Zapata- Obregón- Morelos Tramo IV	1020	91	36”	Av. Álvaro Obregón hasta Av. 20 de Nov. Col. Centro
Colector	Zapata- Obregón- Morelos Tramo V	600	91	36”	Av. Álvaro Obregón hasta Av. Morelos Col. Centro
Colector	Zapata- Obregón- Morelos Tramo VI	900	91	36”	Av. Morelos hasta Av. Galeana Col. Las Palmas, Col. Miguel Hidalgo
Colector	Zapata- Obregón- Morelos Tramo VII	1250	91	36”	Av. Morelos, calle Amador Salazar; Col B. Juárez, Col. Las Colmenas, Col. Quintana Roo
Colector	Zapata- Obregón- Morelos Tramo VIII	1250	91	36”	Calle Amador Salazar, Autopista México-Acapulco calle Los Cizos entronca al Colector Existente Díaz Ordaz

Tabla 5.18 Subsistema Universidad-Chamilpa

Subsistema Universidad Chamilpa					
Tipo	Nombre	Longitud (m)	Diámetro		Ubicación
			cm	pulg	
Subcolector	Universidad I	1400	30	12"	Av. Universidad, Av. Niños Héroes, entronca con subcolector Universidad II; Col. Universidad
Subcolector	Barranca La Bomba	525	20	8"	Corre marginalmente por esta barranca; Col. Río Balsas
Subcolector	Estadio	1400	30	12"	Av. Universidad bordeando el Estadio Centenario, Av. H. Colegio Militar entronca con subcolector Universidad II Col. Blanca Universidad, La Mojonera, Col. Brisas
Subcolector	Universidad II	780	30	12"	Av. Universidad, calle Galeana bordea la barranca paralela a la Av. Paseo Solidaridad y calle del Hueso; Col. Universidad, Col. Chamizal, Col. Aguacates, Col. Buenaventura
		1600	45	18"	
Subcolector	Barranca Universidad	750	20	8"	Corre marginalmente por la barranca Universidad entronca con el subcolector Universidad II Col. Balsas
Subcolector	Defensa Nacional	1000	30	12"	Av. Defensa Nacional, entronca con subcolector Universidad II; Col. Morelos,
Subcolector	Circuito	750	30	12"	Av. Circuito Interior

	Universidad				Universidad; entronca con subcolector Universidad II, Col. Universidad
Subcolector	Chamizal	750	30	12”	Av. Chamizal, calle López Mateos Col. Chamizal
Subcolector	Zona Militar-Bugambilias	1350	45	18”	Cruza la Zona Militar bordeando la barranca, Av. Domingo Diez, Col. Bugambilias, Col. Maravillas Col. Veracruz
Subcolector	Chamilpa – Ocotepc Rama 1	1000	30	12”	Priv. Esmeralda, calle Arrastradero, se une a la Rama 2
Subcolector	Chamilpa – Ocotepc Rama 2	1700	30	12”	Calle Otilio Montaña, calle Díaz Ordaz , calle H. Galeana,
Subcolector	Chamilpa Ocotepc Rama Principal	1400	30	12”	Calle Arrastradero, calle Ocotepc, Calle Paseo del Conquistador se une al Subcolector Zona Militar-Bugambilias

Tabla 5.19 Subsistema Ocoatepec Lomas de Cortes Teopanzolco Chapultepec

Subsistema Ocoatepec Lomas de Cortes Teopanzolco Chapultepec					
Tipo	Nombre	Longitud (m)	Diámetro cm pulg		Ubicación
Subcolector	Iturbide	1000	30	12"	Priv. Iturbide, Prolongación Emiliano Zapata, Av. Hidalgo Col. Ocoatepec
Subcolector	Hidalgo Dolores	400	30	12"	Prol. Morelos, calle Morelos, calle Francisco I. Madero, calle Dolores se une con el subcolector Paraíso-Autopista
Subcolector	Paraíso-Autopista	1050	30	12"	Prol. Puente de Alvarado, calle Paraíso, corre paralelo a la Autopista México Acapulco Col Tecomulco
		300	30	12"	
Subcolector	Cinco de Febrero	1400	30	12"	Calle Cinco de febrero, se conecta al subcolector Paraíso-Autopista

Tabla 5.20 Subsistema Puentes Blanco – A. Barona

Subsistema Puentes Blanco-A. Barona					
Tipo	Nombre	Longitud (m)	Diámetro cm pulg		Ubicación
Subcolector	Tres Cruces	1750	30	12”	Calle Tres Cruces, calle I. Zaragoza, calle 20 de Noviembre, entronca con subcolector Lomas de Cortés
Subcolector	Alarcón-Juárez	800	30	12”	Calle Alarcón, Calle Juárez, Av. Cuernavaca se conecta al subcolector Camino Real
		1600	30	12”	
Subcolector	Camino Real	2500	45	18”	Calle La Escondida, calle Arrayanes, calle Laureles, calle Camino Real, calle Hidalgo; Fracc. Limoneros
Subcolector	Plutarco Elías Calles	600	45	18”	Recibe a los subcolectores Alarcón Juárez y Camino Real en la Col. Plutarco Elías Calles, entronca con subcolector Lomas de Cortés Oriente. Bordea la barranca.
Subcolector	Lomas de Cortés Oriente	1600	45	18”	Antiguo Camino a Ahuatepec, calle Tres Cruces entronca con subcolector P.E. Calles Col. Lomas de Cortés
Colector	Barona	1900	61	24”	Av. Emiliano Zapata, bordea la barranca paralela a las calles Neri Vela y calle Júpiter hasta la calle Jacarandas, entronca con el colector Puentes Blanco y colector existente Júpiter

Colector	Puente Blanco	2900	30	12”	Cale Charby; Col Jardines de Ahuatepec, bordea la barranca Puente Blanco, calles Cuauhtémoc, calle 5 de Septiembre, Calle Epifanio Zúñiga, Calle las Flores entronca con el colector propuesto Barona y con el existente Júpiter.
		1200	45	18”	

Tabla 5.21 Subsistema La Luna-Satélite-Jardines

Subsistema La Luna-Volcanes-Satélite-Jardines					
Tipo	Nombre	Longitud (m)	Diámetro (cm pulg)		Ubicación
Colector	Luna- Los Volcanes	3100	61	24”	Calle Río Nazas, calle Río Tamazula, calle Río Lerma, calle Paricutín, calle Leñeros, Priv. de Tequesquitengo, calle Rivera Crespo, calle Violeta, calle Nardo, calle Begonia
		1150	38	15”	
Colector	Satélite-Jardines	1900	61	24”	Av. Río Mayo, calle Venus, calle Osa Menor, calle Orión, calle Zacatecas, Paseo Cuauhnáhuac, calle La Palma, calle Geranio, Av. 1° de Abril entronca al colector La Luna- Los Volcanes

Tabla 5.22 Subsistema Villa Santiago Rancho Alegre

Subsistema Villa Santiago Rancho Alegre					
Tipo	Nombre	Longitud (m)	Diámetro cm pulg		Ubicación
Subcolector	Villa Santiago	2600	20	8"	Calle Álamos, carretera Cuernavaca Tepoztlán, calle Mariposa Monarca, calle Herradura, vierte en una laguna de estabilización propuesta. Col Lomas de la Herradura
Subcolector	Rancho Alegre	650	20	8"	Calle Porfirio Díaz, calle Venustiano Carranza entronca con el subcolector Villa Santiago Col. Lomas de la Herradura

Esta propuesta de ampliación incorpora 81.46 kilómetros de red de alcantarillado, lo que permitirá un mayor saneamiento de la ciudad, canalizando más agua residual a la planta de tratamiento existente aumentando su influente, e incorporando dos zonas de tratamiento —lagunas de estabilización— al sistema, una en el punto de unión de las barrancas Tecolote, Los Pitos y el Pollo para los Subsistemas Tecolote y San Antón (Tablas 5.15 y 5.16) y otra en el nororiente de la ciudad en la colonia Cerritos de García para captar las aguas provenientes del Subsistema Villa Santiago – Rancho Alegre.

La propuesta de alcantarillado sintetizada en las tablas anteriores debe ser revisada minuciosamente desde el punto de vista hidráulico, en virtud de que maneja como diámetro mínimo el correspondiente a 20 cm (8"), lo cual es insuficiente. En la práctica, el diámetro mínimo recomendado para atarjeas corresponde a 30 cm (12"), por lo que las alcantarillas propuestas por ABACCSA con un diámetro de 20 cm (8") se recomienda sean cambiados a 30 cm (12"). Considero que la propuesta hecha es puramente conceptual, pues carece de las memorias de cálculo hidráulico necesarias para la determinación del diámetro óptimo, pendientes y longitudes; aunado a lo anterior, no incluye la ubicación, descripción y

características de los accesorios como lo son pozos de visita, cajas de conexión y deflexión complementarias al sistema. Es necesario también un realizar un análisis hidráulico de la capacidad de las alcantarillas primarias existentes a las cuales se conectarán los sistemas propuestos, para determinar si es necesario un ajuste de diámetros y la consecuente sustitución de las alcantarillas existentes, con la finalidad de no sobrepasar la capacidad hidráulica de los colectores y subcolectores, y evitar una sobresaturación del sistema existente, que derivará que el agua brote literalmente de los pozos de visita y en un colapso de tuberías. Cabe mencionar que en esta propuesta se catalogan como colectores y subcolectores a tuberías de 30 cm (12”), 38cm (15”) y 45cm (18”) lo cual no es correcto bajo la definición proporcionada en el Capítulo III, pero se conserva esa adjudicación en este documento para concordar con los documentos e información de origen. Es común que estos diámetros sean catalogados como alcantarillado secundario (atarjeas).

Con base en este plan de maestro del sistema de alcantarillado de Cuernavaca, la red ha sido ampliada en los últimos años y queda reflejado en los colectores y la planta de tratamiento que se mencionan a continuación y que se encuentran ya terminados o en proceso de construcción para el año de actualización de la información de alcantarillado sanitario de Cuernavaca (2010):

- Colector Calzada de los Actores: desde la Av. Compositores hasta la Privada Actores, conecta a drenaje existente en la Av. Actores, en una longitud de 410 m con un diámetro de 30 cm (12”), se encuentra operando desde junio de 2010.
- Colector Milpillas y ramales: que bordea el tramo sur de la barranca Puente Blanco en la Colonia Milpillas y sobre las calles Cuauhtémoc y Empleado Municipal, para conectarse al Subcolector 3 San Juan, la longitud de este colector y ramales es de aproximadamente 5 km.
- Subcolector Barona y ramales: que bordea las barrancas que separan a la colonia Antonio Barona Centro de la Colonia Provincias del Canadá al Poniente y Barona Segunda Sección al Oriente un ramal sobre la calle Francisco Villa, y otro sobre la calle Epifanio Zúñiga y Av. De las Flores, y conecta al Subcolector 8 Júpiter, la longitud de este colector y ramales es de aproximadamente 4.5 km.

- Colector Acapatzingo 1: sobre las calles Rio Tamazula, Rio Lerma, Mercurio, Sol, Av. Central hasta llegar a la calle Plan de Ayala, donde se conecta al drenaje existente. La longitud de este colector es de aproximadamente 2.5 km.
- Colector Acapatzingo 2: que recorre la calle Venus, Osa Menor, Zacatecas para posteriormente bordear la barranca Rivetex hasta el Paseo Cuauhnáhuac, donde se conecta al drenaje existente en el colector Rivera Crespo, tiene una longitud aproximada de 2.3 km.
- Planta de tratamiento de aguas residuales en Buenavista del Monte, con un proceso de tratamiento RHAFa (Reactor Híbrido Anaerobio de Flujo Ascendente) con una capacidad de 80 m³ en volumen y de operación de 0.93 litros por segundo; fue puesta en operación en el año 2009
- Planta de tratamiento de aguas residuales en Chipitlán, al límite con el municipio de Temixco, con una capacidad de operación de 0.40 litros por segundo, con un proceso de tratamiento secundario de lodos activados, con descarga del agua tratada a la barranca del Pollo, de reciente puesta en operación en marzo de 2010.

El sistema de alcantarillado existente, la infraestructura principal propuesta y la que se encuentra en proceso construcción para el año 2010 se muestra en la Figura 5.5 donde puede observarse su distribución en la ciudad respecto al de las barrancas, notándose claramente que en el lado oriente del municipio, donde hay una densidad menor de barrancas en la actualidad, es donde el alcantarillado existente tiene mayor cobertura.

Cabe resaltar que hay colectores de proyecto no se han iniciado desde el año 2008 debido a que existe “problemática social” según CEAMA y que se enlistan a continuación:

- Subcolector Circuito Universidad
- Subcolector Paseo Solidaridad (denominado Universidad II en la propuesta)
- Subcolector Chamizal

Todos ellos constitutivos del Subsistema de alcantarillado de proyecto Universidad – Chamilpa (Ver Tabla 5.18)

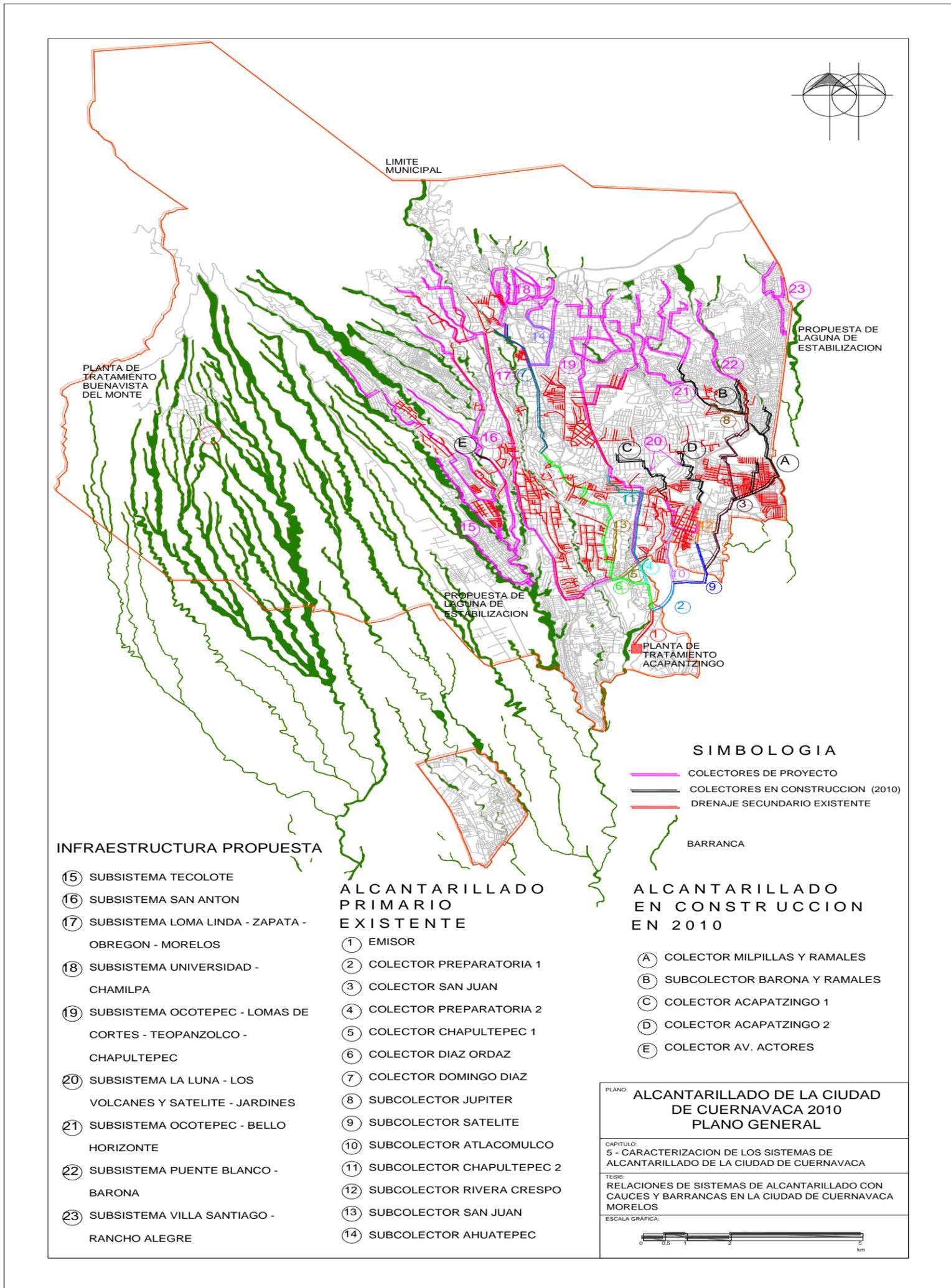


Figura 5.5 Alcantarillado de la ciudad de Cuernavaca 2010

Fuente: Elaboración propia

Capítulo 6 Sistemas de alcantarillado y barrancas en el municipio de Cuernavaca: su relación como problema de investigación

6.1 Argumentos para establecer a esta relación como problemática

Se ha tratado en el cuarto capítulo de este documento de investigación a las barrancas existentes en el municipio cuernavacense, y se han conceptualizado como elementos de valor urbano y ambiental. En el quinto capítulo se ha caracterizado de manera general a los sistemas de alcantarillado con los que cuenta este municipio y se ha destacado su operación inadecuada y cobertura deficiente. Bajo el marco de un urbanismo transdisciplinario, es posible establecer la relación entre ambos elementos —barrancas y sistemas de alcantarillado— como *problemática*.

Los cauces y barrancas de Cuernavaca han sido paulatinamente contaminados y destruidos debido a que el crecimiento indiscriminado de la mancha urbana en los últimos años, su oferta de habitar y el suministro de servicios básicos como lo es el alcantarillado ha sido desequilibrado por un lado, y por otro, los sistemas de alcantarillado —como se adelantó en el capítulo anterior— no ha cumplido su función de manera integral: captar, desalojar, conducir, tratar y verter o reutilizar las aguas residuales generadas por viviendas, comercios e industrias en donde hay la cobertura.

El INEGI¹ informa que en el municipio, alrededor del 60% de las viviendas cuenta con la cobertura de alcantarillado, que menos del 10% descarga mediante tubo a grietas o barrancas y que las viviendas carentes de drenaje se han reducido del 3% a menos del 1% en los últimos lustros, y que las viviendas restantes cuentan con fosas sépticas. Esta información debe ser interpretada con sumo cuidado debido a que la descarga al alcantarillado y a barrancas no son eventos mutuamente excluyentes, pues como se describió en el capítulo quinto, debido a la fragmentación del alcantarillado en muchas zonas de la ciudad, estos sistemas conducen y descargan las aguas colectadas a las barrancas. La ausencia de alcantarillado en muchos sectores de la ciudad de Cuernavaca

¹ Véase Tabla 5.3 en el Capítulo 5 e INEGI (2007) en las referencias

establece —de manera indirecta— la otra faceta de esta relación problemática, pues propicia a las descargas de manera directa de los predios a las barrancas, degradando su valor urbano y ambiental a la simple utilización como cloacas al aire libre.

En la figura 6.1 se presenta una imagen con las zonas que ABACCSA (2001) determina como áreas con el servicio donde se encuentran atarjeas y colectores del alcantarillado, y las zonas sin cobertura, donde se descargan sus aguas residuales a fosas sépticas —por lo general en pésimas condiciones de construcción y operación— o directamente a las barrancas.

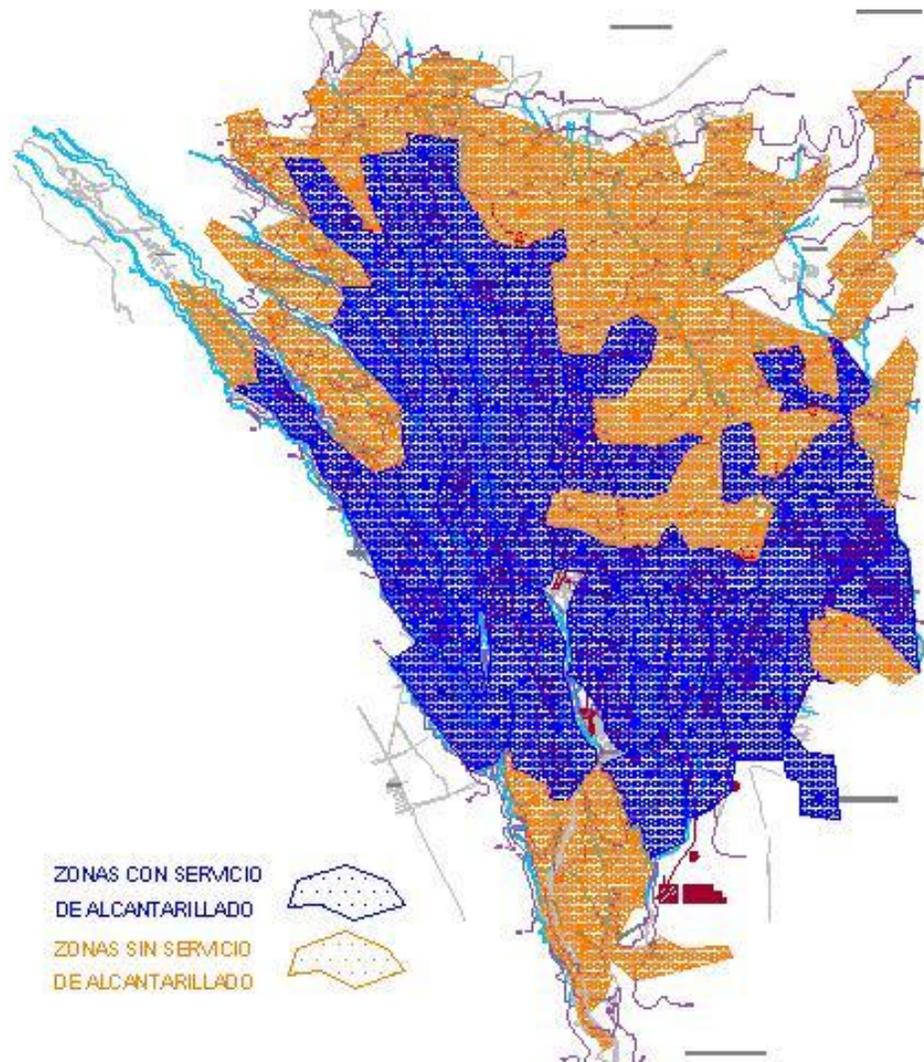


Figura 6.1 Zonas con y sin servicio de alcantarillado en Cuernavaca

En zonas específicas del área sombreada en azul, a pesar de contar con la cobertura y como se ha mostrado en el capítulo anterior, la aguas residuales generadas tienen como

destino final las barrancas; se ha estimado, con base en análisis propios que el 43% de la superficie con servicio cuenta con alcantarillas que descargan a barrancas, y el restante 57% cuenta con atarjeas y colectores que conducen el agua a tratamiento. En la zona sin infraestructura sanitaria, las viviendas establecidas en la proximidad de las barrancas, así como en sus laderas, descargan de manera directa, las aguas residuales crudas generadas como se muestra en la figura 6.2



Figura 6.2 Descarga directa de aguas residuales de viviendas establecidas en ladera de la barranca Chiflón de los Caldos.

El severo impacto negativo hacia los ecosistemas propios de las barrancas, el deterioro o anulación de los servicios ambientales que proporcionan, la contaminación del entorno natural de la ciudad de Cuernavaca, y la consecuente disminución de la calidad de la vida y salud de los habitantes son claras evidencias de una relación problemática que se ha alimentado de la falta de aplicación de diversos reglamentos y normas de índole municipal, estatal y federal relativos que serán tratados puntualmente en los subcapítulos siguientes, así como por la insuficiencia y deficiente operación de alcantarillado de la ciudad y la manera descontrolada en que la mancha urbana ha crecido, llegando a ocupar espacios —como lo son las laderas de las barrancas— no aptos para su urbanización.

6.2 La Comisión Nacional del agua (CNA) como actor a nivel federal de la problemática, sus posiciones y acciones.

Los actores que se encuentran involucrados con esta relación problemática —entidades gubernamentales, autoridades, organismos operadores, entidades académicas y habitantes— han tenido diferentes enfoques, funciones y responsabilidades que deben ser objeto de análisis y reflexión en la búsqueda de un diagnóstico de esta relación compleja que permita el diseño de soluciones transdisciplinarias en torno a la problemática. Así mismo, deben ser analizados los reglamentos, normas y leyes que son aplicables por las autoridades correspondientes como complemento en este ejercicio urbanístico reflexivo.

Comisión Nacional del Agua (CNA)

La CNA es una entidad paraestatal la cual:

Es el Órgano Administrativo Desconcentrado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, con funciones de Derecho Público en materia de gestión de las aguas nacionales y sus bienes públicos inherentes, con autonomía técnica, ejecutiva, administrativa, presupuestal y de gestión (LAN 2008).

Los bienes públicos inherentes a las aguas nacionales se refiere de manera particular en este caso a las zonas federales la cual se define como:

Las fajas de diez metros de anchura contiguas al cauce de las corrientes o al vaso de los depósitos de propiedad nacional, medidas horizontalmente a partir del nivel de aguas máximas ordinarias. La amplitud de la ribera o zona federal será de cinco metros en los cauces con una anchura no mayor de cinco metros [...] En los orígenes de cualquier corriente, se considera como cauce propiamente definido, el escurrimiento que se concentre hacia una depresión topográfica y forme una cárcava o canal, como resultado de la acción del agua fluyendo sobre el terreno. La magnitud de la cárcava o cauce incipiente deberá ser de cuando menos de 2.0 metros de ancho por 0.75 metros de profundidad. (LAN 2008)

Cabe aclarar que la delimitación del cauce y zona federal requiere de una serie de trabajos topográficos, hidrológicos e hidráulicos específicos. Con base en esta definición, es posible determinar qué porción de una barranca es zona federal, y por tanto, se encuentra bajo la jurisdicción de la CNA. Dentro de sus atribuciones, se encuentra entonces otorgar los *permisos de descarga* de aguas residuales y utilizar los cauces como *cuerpos receptores*. La la Ley de Aguas Nacionales define un permiso de descarga como:

Título que otorga el Ejecutivo Federal a través de "la Comisión" o del Organismo de Cuenca que corresponda, conforme a sus respectivas competencias, para la descarga de aguas residuales a cuerpos receptores de propiedad nacional, a las personas físicas o morales de carácter público y privado (LAN 2008)

En el municipio de Cuernavaca, para el año 2007, según información obtenida de la Comisión Nacional del Agua se tienen inventariados solamente 72 permisos de descargas de aguas residuales en su gran mayoría a los cauces de barrancas, y en casos particulares, a zonas verdes o pozos de absorción. Sus características se concentran en las tablas 6.1 y 6.2

Tabla 6.1 Numero de descargas a cuerpos receptores

Cuerpo Receptor	Numero de descargas
Arroyo Chapultepec	10
Arroyo Amatitlán	8
Barranca Leyva	5
Barranca Amanalco	4
Barranca Chiflón de los Caldos	3
Río Apatlaco	3
Barranca Rivetex	2
Barranca Tetela	2
Barranca del Tecolote	2
Barranca Río del Pollo	2
Barranca Atzingo	1
Barranca Atlacomulco	1
Barranca Cantarranas	1
Barranca Guayabos	1
Barranca del Diablo	1
Barranca del Rastro	1
Barranca Jiquilpan	1
Barranca Puente Blanco	1
Barranca San Pedro	1
Barranca Texcaltepec	1
Barranca Tlaltenango	1
Barranquilla Colotepec	1
Barranca o arroyo sin nombre	11
Pozo de absorción en suelo	5
Infiltración en áreas verdes	3
Total	72

Tabla 6.2 Numero de descargas por uso del agua residual

Tipo o uso del agua residual	Número de descargas
Domestico	3
Industrial	14
Público urbano	16
Servicios	39
Total	72

Para la obtención de un permiso de descarga de aguas residuales ante la Comisión, es necesario requisitar una serie de datos que en extracto, es la siguiente:

- Información del predio donde son generados los residuos líquidos como lo son dirección, superficie, colindancias y régimen de propiedad, entre otros.
- Características de la descarga, como su procedencia, frecuencia, tipo o uso, nombre del cuerpo receptor, croquis de ubicación, plazo solicitado del permiso y la existencia y tipo de tratamiento del agua residual.
- Calidad del agua residual, en los términos de los parámetros físicos y químicos explicados en el Capítulo 3 de este documento de investigación.
- Información de índole legal como la acreditación de la personalidad jurídica, el llenado de una solicitud, y comprobar el suministro del abastecimiento de agua potable al predio.

Es destacable que de los 72 permisos establecidos por CNA para descarga de aguas residuales solamente tres sean correspondientes a domicilios particulares (tipo domestico) y 15 a condominios y conjuntos residenciales (tipo público urbano) de las más de 5000 viviendas registradas con descarga directa a barrancas para 2005, lo que indica la clandestinidad e irregularidad en el que se encuentran este tipo de descargas en términos de cumplimiento ante la autoridad federal. La planta de tratamiento de Acapatzingo, operada por US Filter Cuernavaca, S.A de C.V, cuenta con su respectivo permiso de descarga con un volumen autorizado de 12,614,000 litros anuales, y se encuentra catalogada también como de tipo *público urbano*; esto indica que las viviendas con cobertura de los sistemas de alcantarillado por SAPAC con continuidad de transporte de agua residual a esta planta, se encuentren englobadas de forma administrativa con este permiso de descarga al río Apatlaco. Los permisos catalogados como de tipo *servicios*, agrupan hospitales del IMSS e ISSSTE y privados, algunos hoteles, restaurantes, comercios, gasolineras y un colegio.

En la figura 6.3 se ha plasmado la localización, acorde a latitud y longitud proporcionada por la CNA, de los 72 puntos de descarga autorizados en el municipio de Cuernavaca

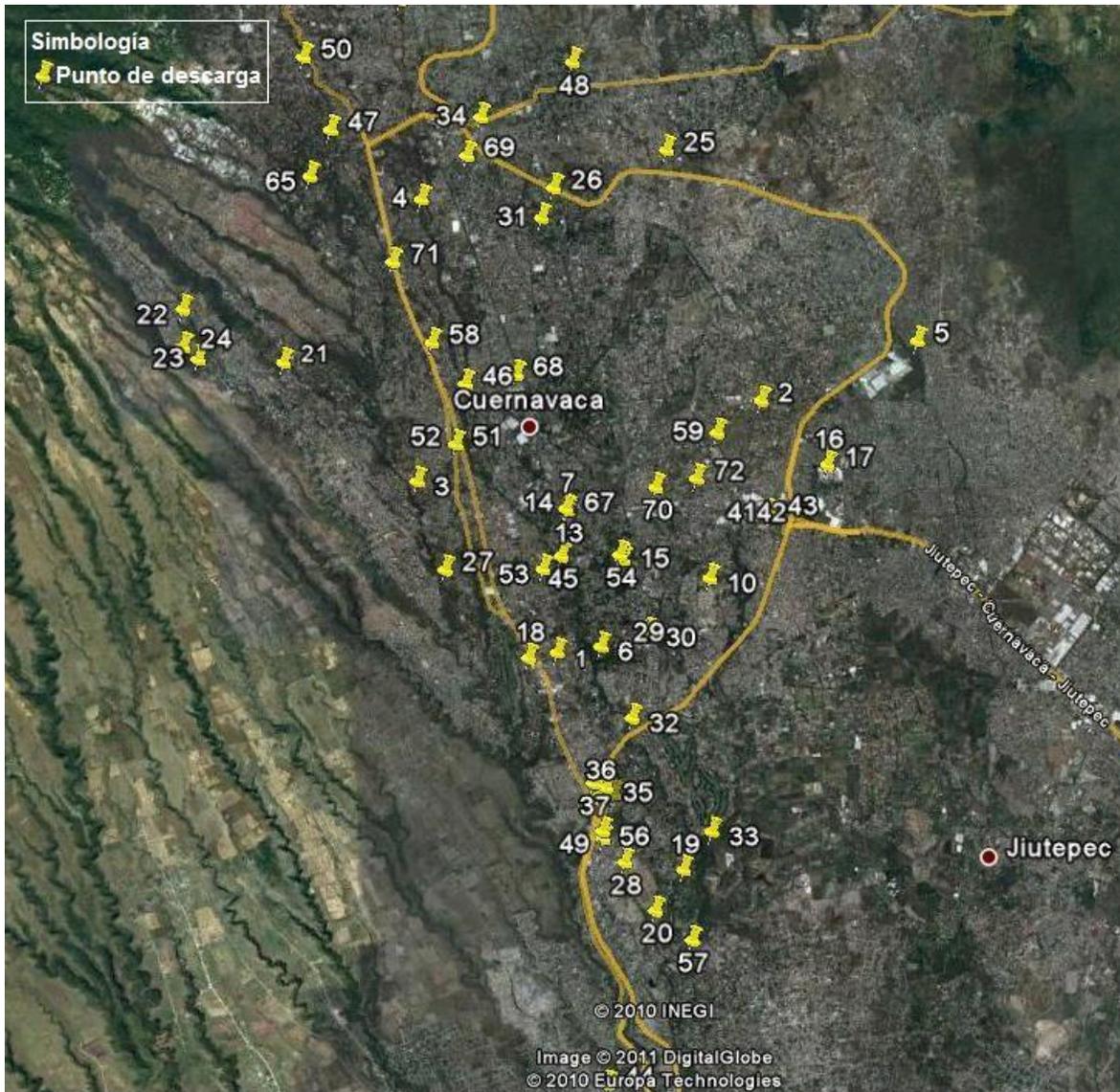


Figura 6.3 Puntos de descarga autorizados por la CNA en Cuernavaca

Fuente: Elaboración propia a partir de la herramienta Google Earth

Dentro de los puntos de descarga autorizados a nivel federal, es destacable que SAPAC no cuenta con permiso alguno de descarga de las redes fragmentadas que operan y las cuales se han ejemplificado en el capítulo anterior, por lo que las descargas de estas redes, son ilegales, irregulares y transgresoras de la ley, y contaminantes del entorno. Situación que indudablemente necesita ser solucionada mediante el análisis, la propuesta de

soluciones, la elaboración de un plan global de saneamiento, un presupuesto a nivel municipal, estatal y federal destinado para su aplicación y finalmente una regularización dentro del marco jurídico-administrativo, es decir, que las descargas se encuentren bajo normas y autorizaciones correspondientes. En la actualidad y desde 2007, existe plan de saneamiento del río Apatlaco que será abordado más adelante.

6.3 La Secretaría de Desarrollo Urbano, Obras y Servicios Públicos Municipales y Medio Ambiente de Cuernavaca, como actor a nivel municipal de la problemática, sus posiciones y acciones.

Esta entidad es la responsable de ejecutar las determinaciones del Ayuntamiento en materia de ordenamiento territorial y desarrollo urbano y ejecución de obras públicas, planeando y dirigiendo el buen funcionamiento y la eficiente prestación de los servicios públicos, respetando los lineamientos, normas y reglamentación aplicable. En el ámbito de la descarga de aguas residuales, saneamiento y barrancas se resaltan algunas de sus atribuciones (H. Ayuntamiento de Cuernavaca 2001)

- Ejecutar todos y cada uno de los programas federalizados (previo acuerdo del Ayuntamiento) que para tal efecto se llevan a cabo dentro del Municipio de Cuernavaca, en coordinación con la Federación, el Estado y los Municipio, así como con las instituciones del sector público y privado.
- La formulación, conducción y evaluación de la política ambiental municipal en congruencia con las disposiciones jurídicas federales y estatales sobre la materia.
- Establecer los lineamientos técnicos ambientales para el saneamiento de las barrancas, además de la realización de la limpieza cotidiana planificada de las mismas.

Este último punto es importante pues indica que las barrancas, también se encuentran dentro de la reglamentación municipal, en específico su saneamiento.

Para el ejercicio de sus funciones, a esta secretaría le corresponde la aplicación del *Reglamento de Construcción del Municipio de Cuernavaca*. (H. Ayuntamiento de Cuernavaca 2001).

El proceso que dicta dicho reglamento para la construcción de inmuebles en el municipio, de manera general y en lo relativo a la descarga de aguas residuales y también del aprovechamiento de aguas pluviales es el siguiente:

Previo a la solicitud de la *Licencia de Construcción*, el propietario, poseedor o arrendatario de un predio, deberá obtener el *Dictamen de Uso de Suelo* que emita la Secretaría, para los diversos usos a los que servirá la construcción; para obtener dicho Dictamen, es necesario que la Secretaría expida el documento denominado *Factibilidad del*

uso del suelo que determina la orientación sobre el uso del suelo permitido para los diferentes predios del municipio, normas y lineamientos a seguir, todo de acuerdo al Programa de Desarrollo Urbano de Centro de Población de Cuernavaca. Una vez que se determina procedente el proyecto propuesto, en el Dictamen de uso de suelo, se expide la *Licencia de construcción*, el cual, el artículo 56 define como:

El documento expedido por la Secretaría en el que se autoriza a los propietarios o poseedores, según sea el caso, construir, ampliar, modificar, excavar, nivelar, cambiar de uso, reparar o demoler una edificación o instalación y se otorgará una vez efectuada la revisión y aprobación del Proyecto...(H. Ayuntamiento de Cuernavaca 2001)

De entre los múltiples requisitos que marca el artículo 58 para la obtención de dicha Licencia, es destacable indicar que se exige, para una obra nueva:

Tres tantos del proyecto de la obra en planos a escala debidamente acotados y especificados, con información suficiente para que el proyecto sea plenamente entendible, en los que se deberán incluir [...] plantas arquitectónicas que contengan la instalación sanitaria con el detalle de la fosa séptica bioenzimática o sistema de tratamiento, especificando el doble ramal sanitario para la conducción de aguas negras y grises, así como los datos de la instalación hidráulica [...], firmados por el propietario y el Director Responsable de Obra. (H. Ayuntamiento de Cuernavaca 2001)

Mencionar este fragmento del artículo 58 resulta fundamental en la problemática que se abordamos, pues en la construcción de viviendas y edificaciones del municipio Cuernavacense, es responsabilidad directa esta Secretaría, la verificación y autorización de un sistema de tratamiento, para las aguas de desecho, a través de su Reglamento de Construcción. En este mismo, se establece en el artículo 145, que para todo predio destinado a cualquier uso que impacte la zona urbana como lo son viviendas, fraccionamientos, condominios, comercios e industrias:

La Secretaría exigirá la realización de estudios de factibilidad de tratamiento y reuso de aguas residuales, sujetándose a lo dispuesto por el presente reglamento y demás disposiciones legales aplicables.

Sin excepción, las edificaciones deberán contar con doble sistema sanitario para el aprovechamiento y recirculación de las aguas tratadas, quedando prohibido el uso de pozos de absorción para aguas residuales. (H. Ayuntamiento de Cuernavaca 2001)

Ambos artículos —expresados aquí en los fragmentos que nuestro tema ocupan— para efectos prácticos, es ley muerta en el municipio, debido a las condiciones en que se encuentran en la realidad las fosas sépticas y las descargas directas a cauces y barrancas descritas anteriormente. Respecto al doble ramal, se ha constatado de manera presencial, que solamente algunos habitantes —en general aglutinados en agrupaciones vecinales, Organizaciones No Gubernamentales ONG's y otros bajo una acción espontánea— lo han instalado para la reutilización de aguas grises en sus viviendas, muchas de las cuales se encuentran ubicadas cerca o en las laderas de alguna barranca.

Resulta indispensable otorgarle el valor jurídico que posee este reglamento y llevarla a cabo bajo mecanismos de acción cuidadosamente diseñados y aplicados transdisciplinariamente, donde la participación del ingeniero civil es fundamental, y cuya aplicación reduciría radicalmente el impacto que generan las aguas residuales no canalizadas al alcantarillado. Llevar a la práctica lo anterior, es uno de los pasos esenciales para contribuir a una relación no conflictiva entre alcantarillado y cauces y barrancas. Y es en esta fase de la revisión de este Reglamento donde también se encuentra una inconsistencia importante: el municipio, a través de esta Secretaría y el Reglamento, prohíben los pozos de absorción, mientras la CNA, en el ámbito federal, (véase nuevamente la tabla 6.1) tiene autorizados cinco puntos de descarga de aguas residuales mediante estos pozos.

Sobre las características primordiales que deben poseer las edificaciones y viviendas con observancia en el Reglamento bajo análisis, se indican las siguientes
Para los albañales en las construcciones, el artículo 149 menciona:

Las tuberías o albañales que conducen las aguas residuales de una edificación hacia afuera de los límites de su predio, deberán ser de 0.15 metros de diámetro como mínimo, contar con una pendiente mínima de 2% y cumplir con las normas de calidad que expida la Secretaría. Los albañales deberán estar provistos en su origen de un tubo ventilador de 0.05 metros de diámetro mínimo que se prolongara cuando menos 1.50 metros arriba del nivel de la azotea de la construcción [...](H. Ayuntamiento de Cuernavaca 2001)

Asimismo, el artículo 150 ordena que:

Los albañales deberán tener registros colocados a distancias no mayores de 5.00 metros entre cada uno y en cada cambio de dirección del albañal. Los registros deberán ser de 0.4 x 0.6 metros cuando menos, para profundidades de hasta 1.00 metro; de 0.50 x 0.60 metros cuando menos para profundidades mayores de 1.00 metros y menores a 2.00 metros y de

0.60 x 0.80 cuando menos para profundidades de más de 2.00 metros. Los registros deberán tener tapas con cierre hermético a prueba de roedores [...]

Los talleres [...] cuyos desechos puedan obstruir las redes, deberán contar en todos los casos con trampas de grasa en las tuberías de agua residual antes de conectarlas a colectores públicos [...](H. Ayuntamiento de Cuernavaca 2001)

En la práctica, estas características son de orden común y general en todo el país, pues con ellas se garantiza un correcto funcionamiento hidráulico de la línea de descarga de aguas residuales al exterior del predio, evitando taponamientos, obstrucciones y que permiten la acción de posibles trabajos de limpieza o reparación. Cabe destacar que en el caso de simple la reparación de albañales, tuberías de agua e instalaciones sanitarias que no afecten elementos estructurales no requieren de una Licencia de Construcción ni de un Director Responsable de Obra; esto queda indicado en el artículo 59.

En lo que respecta a las técnicas alternas de descarga de aguas residuales, este reglamento norma también a las fosas sépticas en su artículo 151, donde establece que:

Todas las construcciones deberán contar cuando menos con un sistema primario de tratamiento de aguas negras en las zonas en donde no exista red de alcantarillado público, la Secretaría autorizará el uso de fosas sépticas de procesos bioenzimáticos de transformación rápida, el uso de campos de absorción de acuerdo a las características del terreno [...](H. Ayuntamiento de Cuernavaca 2001)

En el mismo artículo, se vuelve a hacer hincapié a los pozos de absorción: «Queda prohibida la descarga de aguas negras o contaminantes hacia las barrancas así como a pozos de absorción.». Esto indica, que la descarga a barrancas también es responsabilidad de la Secretaría de Obras Públicas de Cuernavaca.

Abundando respecto a las fosas sépticas:

A las fosas sépticas se descargarán únicamente las aguas negras que provengan de excusados y mingitorios, para lo cual deberá existir doble línea de drenaje, una para aguas negras y otra para aguas jabonosas [...] La descarga de agua de fregaderos, regaderas, lavabos y lavaderos serán conducidos a campos de absorción. Deberán contar con trampa de grasas y filtro lento de arena. En el caso de zonas con suelos inadecuados para la absorción de aguas residuales, la Secretaría determinará el sistema de tratamiento a instalar. (H. Ayuntamiento de Cuernavaca 2001)

En efecto, las aguas residuales proveniente de las excretas humanas, deben ser dirigidas a la fosa séptica, el problema de contaminación surge, como se ha mencionado, al momento del surgimiento de grietas por donde se filtran las aguas hacia el subsuelo, aunado que las fosas sépticas saturadas en muchos casos se clausuran en vez de ser desalojadas por algún sistema de extracción de líquido séptico. Los campos de absorción tienen el inconveniente de que es necesaria una porción de terreno destinada para ello que en muchos de los casos no se cuenta con él y también que el suelo sea el adecuado para la absorción. Cabe recordar que no es lo mismo un campo de absorción que un pozo de absorción²

El Reglamento indica la instalación de plantas de tratamiento para desarrollos de viviendas en la tónica del párrafo siguiente:

Deberá instalarse una planta de tratamiento de aguas residuales en desarrollos de más de 10 viviendas con sistema de recirculación para su aprovechamiento. Se supervisará por personal de la Secretaría la construcción del sistema de tratamiento de aguas residuales para otorgar el oficio de ocupación, [...] (H. Ayuntamiento de Cuernavaca 2001)

La aplicación de lo anterior y su correspondiente seguimiento, ha sido insuficiente en el municipio. Se han constatado testimonios proporcionados por habitantes cuernavacenses, en labores mediante entrevistas en campo, que algunas de estas pequeñas plantas dejan de operar después de algún tiempo, sin que haya ni planes ni presupuesto para hacerlas funcionar. En zonas donde el crecimiento del número de viviendas y asentamientos humanos ha sido caótico y desorganizado, simplemente estas plantas o sistemas de tratamiento no existen.

El artículo 152 autoriza la construcción de sanitarios secos o letrinas sanitarias, como otra alternativa de desalojo de excretas humanas, acotando las características de las zonas permisibles a:

[...] zonas rurales o en zonas urbanas donde no se tenga posibilidad de conducir los desechos, se tenga poco agua o sea un asentamiento con topografía con pendientes mayores de 20% y con suelos tipo III. (H. Ayuntamiento de Cuernavaca 2001)

² Véase Capítulo 3

Para las zonas que si existe red pública de alcantarillado, el reglamento establece en su artículo 154 que:

Las edificaciones ubicadas en calles con red de alcantarillado público, el propietario deberá solicitar a la Secretaría la conexión con dicha red y asegurar su conexión mediante pagos de derechos y otorgamiento de una fianza hasta su inspección. (H. Ayuntamiento de Cuernavaca 2001)

Es decir, es a la Secretaría de Obras Públicas, a la que se le debe de solicitar el permiso de conexión a la red de alcantarillado.

El reglamento de construcción de Cuernavaca proporciona los lineamientos necesarios para el correcto desalojo y disposición de las aguas residuales de la población, aunque en el sentido técnico se encuentra severamente limitada. Es necesario que indique los sistemas y tratamientos específicos en su funcionamiento, y en profundidad para el caso de viviendas en laderas de barrancas con descarga a su cauce, pues esta es una característica propia de la ciudad de Cuernavaca, y otorgue métodos reglamentados de disposición o tratamiento de residuos líquidos a barrancas, pero sobre todo, que la Secretaría ejerza su facultad de verificar y sancionar incumplimientos a la misma. Esta observación de orden general, deriva en el estudio y análisis específico por cada zona, asentamiento, colonia y sus barrancas, que desemboquen en soluciones particulares al municipio.

6.4 Plan estratégico para la recuperación ambiental de la cuenca del río Apatlaco: esfuerzo multi-institucional

La severa contaminación de cauces y barrancas en el municipio de Cuernavaca es una parte de la problemática que constituye el grave deterioro ambiental de la cuenca del río Apatlaco —que es el cuerpo donde convergen las aguas que corren en las barrancas de Cuernavaca— el cual requiere de un esfuerzo transdisciplinario multi-institucional, y de instancias pertenecientes a todos los niveles de gobierno: municipal, estatal y federal. El esfuerzo principal para aminorar los impactos negativos en el entorno de la cuenca se consolidó en el denominado *Plan estratégico para la recuperación ambiental de la cuenca del río Apatlaco*, (IMTA et al 2007) elaborado en conjunto y a partir de una recopilación e integración de información en la que participan a las siguientes entidades:

- Comisión Nacional del Agua CNA
- Comisión Estatal del Agua y Medio Ambiente CEAMA
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua IMTA
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT

- Gobierno del Estado de Morelos
- Fundación Gonzalo Río Arronte
- Representantes de Usuarios de la Comisión de cuenca del Río Apatlaco
- Gobiernos Municipales de: Emiliano Zapata, Cuernavaca, Huitzilac, Jiutepec, Jojutla, Puente de Ixtla, Temixco, Tlaltizapán, Xochitepec y Zacatepec.

El documento directriz de este plan, ofrece un panorama amplio sobre la cuenca que involucra a estos diez municipios, en similitud a la caracterización de la ciudad de Cuernavaca presentada en el capítulo 2 de esta investigación, así como información sobre la disponibilidad, manejo y uso del agua, de los cuales destaca el estado de los sistemas de agua potable, alcantarillado y saneamiento de los municipios de la cuenca, en donde, en armonía con lo presentado en el capítulo 5 en términos de deficiencia de los sistemas de alcantarillado de Cuernavaca, el plan reconoce que el alcantarillado sanitario en esta ciudad ha resuelto en cierta medida el desalojo de las aguas servidas, pero «dado que en la mayoría de los casos, estos conductos descargan sin previo tratamiento a los cuerpos receptores, siguen representando una amenaza no sólo para la salud pública...»(IMTA et al 2007).

También publica que solamente el 7.8% de las viviendas vierten sus aguas residuales directamente a barrancas o ríos, «por desconocimiento o por comodidad». Más allá de la comodidad, este problema tiene un fondo complejo que involucra la urbanización indiscriminada, asentamientos humanos en laderas de barrancas, una ordenación urbana deficiente, servicio de alcantarillado inexistente, falta de programas de implementación de tratamiento alternativo de aguas residuales así como la puesta en práctica y aplicación nula del Reglamento de Construcción del Municipio de Cuernavaca.

Otro dato relevante que proporciona este plan, es la cobertura de saneamiento en el municipio el cual estima en un 45%, valor que, debido a las condiciones en la que ha trabajado la planta de Acapatzingo —como hemos informado en el capítulo anterior— de tratamiento ineficiente, no debe ser considerado favorable en la disminución de contaminantes de barrancas y sus cauces, en torno al río Apatlaco.

Para poder diagnosticar la calidad del agua, se cataloga en el plan como *zona 1* del río a lo largo de aproximadamente 8.4 km y la *zona 2* de 10.4 km que en conjunto comprenden el cuerpo de agua desde el arroyo Chalchihuapan en la zona alta de Cuernavaca que corre hacia la barranca Tetela que tiene metros adelante como afluentes a las barrancas Ahuatlán y Tzompantle para posteriormente tomar el nombre de Tepeyehualco y confluir con la barranca Tecolote, Chiflón de los Caldos y conformar el río (o barranca) del Pollo para finalmente unirse con el arroyo Chapultepec y continuar como tal su escurrimiento hacia el Sur del Estado con el nombre de río Apatlaco. Esta última confluencia, ubicada en la zona sur de Cuernavaca, se encuentra ya catalogada dentro de la zona 2 del río, esta zonificación parcial del Apatlaco se representa en la figura 6.4.

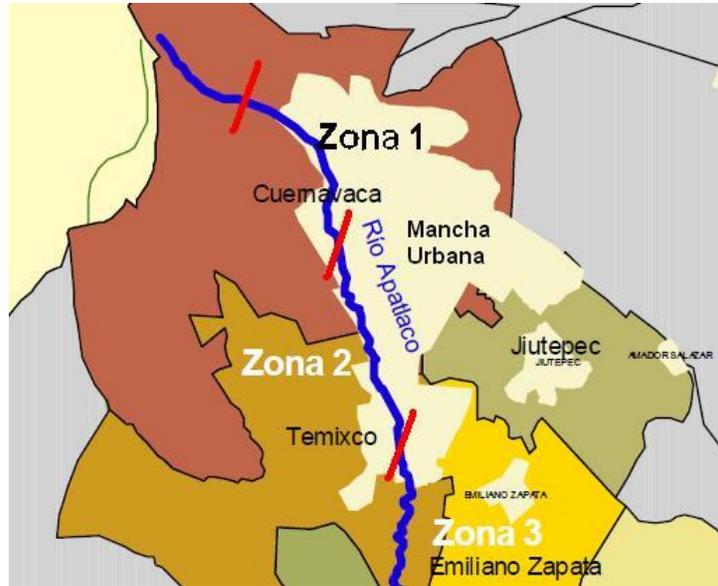


Figura 6.4 Zona 1 y 2 del río Apatlaco

Tomado de (IMTA et al 2007)

La calidad del agua determinada para diversos sitios de monitoreo se muestra en la tabla 6.3:

Tabla 6.3 Calidad del agua en las zonas 1 y 2 del río Apatlaco

Sitio	Coliformes fecales (NMP/100ml)	Carga DBO5 (kg/d)	Sitio	Concentración DQO (kg/d)	Concentración DBO5 (mg/l)	Sitio	Nitrógeno (mg/l)
A1a	155	1	DM1a	397	161.8	R1a	1.3
A1	30,000	0.21	DM1	861	344	R1	0.5
A1b	100,000	3	DM2	379	148.2	R2	0.5
A1c	300,000	82	DM3	800	402	R3	5.8
A2	42,000	14	DM4	590	329.9	R3b	17.1
A3	100,000	18	DM5	835	512	R3c	15.6
A3a	1,850,000	42	DM5b	454	246	R4	7.6
A3b	10,000	147	DM5c	481	287	R5	10.7
A4	1,220,000	5	DM6	36	9.2	R5b	21.8
A5	1,310,000	25				R5c	20.9
A6	460	ND					
A7	60,000	43					
A8	17,500,000	111					
A9	270,000	312					

Donde:

- A: Sitio de monitoreo ubicado en afluente
R: Sitio de monitoreo ubicado en río
DM: Sitio de monitoreo ubicado en descarga de aguas de origen municipal
DI: Sitio de monitoreo ubicado en descarga de aguas de origen industrial
Nota: La nomenclatura es la utilizada en el documento que conforma el plan.

El río Apatlaco, y su escurrimiento por algunas de las barrancas de Cuernavaca según la Ley Federal de Derechos, se cataloga —únicamente para las zonas 1 y 2— como cuerpo de uso público urbano, aunque su uso real es además, como receptor de descargas residuales y en ciertos puntos como cuerpos para riego agrícola (IMTA et al 2007) por lo que revisando estos datos que forman parte del diagnóstico, con la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 que indica los valores máximos permisibles para los contaminantes más comunes en la descarga de aguas residuales, es posible observar que las concentraciones de DBO son superiores a lo permitido por la norma, que es, para uso agrícola de 150 mg/l el promedio mensual y de 200 mg/l el promedio diario y para uso público urbano de 75 y 150 mg/l respectivamente, en la mayoría de las descargas monitoreadas en la zona correspondiente a Cuernavaca. El número de coliformes fecales indicados en la tabla 6.3, a pesar de que las mediciones de no son sobre las descargas sino sobre los afluentes, sobrepasan lo permitido por dicha norma que establece 1000 NMP/100ml promedio mensual y 2000 NMP/100ml promedio diario para aguas de uso agrícola. El nitrógeno total indicado en mediciones sobre el río, no sobre las descargas, se encuentra en gran parte por arriba de la meta del plan de saneamiento de 5 mg/l; para las descargas este valor no debe sobrepasar 40 y 60 mg/l, promedio mensual y diario respectivamente tanto para aguas de uso agrícola como para uso público urbano según la norma.

Un larguillo donde esquemáticamente se refleja la ubicación de las descargas y puntos de monitoreo a lo largo del cauce que da origen al río Apatlaco por las barrancas de Cuernavaca involucradas hasta el municipio de Temixco, se muestra en la figura 6.4 con base en el plan. (IMTA et al 2007)

Es indispensable mencionar que el análisis del plan —el cual tiene un enfoque de cuenca— se acota solamente para Cuernavaca, debido a los alcances de este trabajo de investigación.

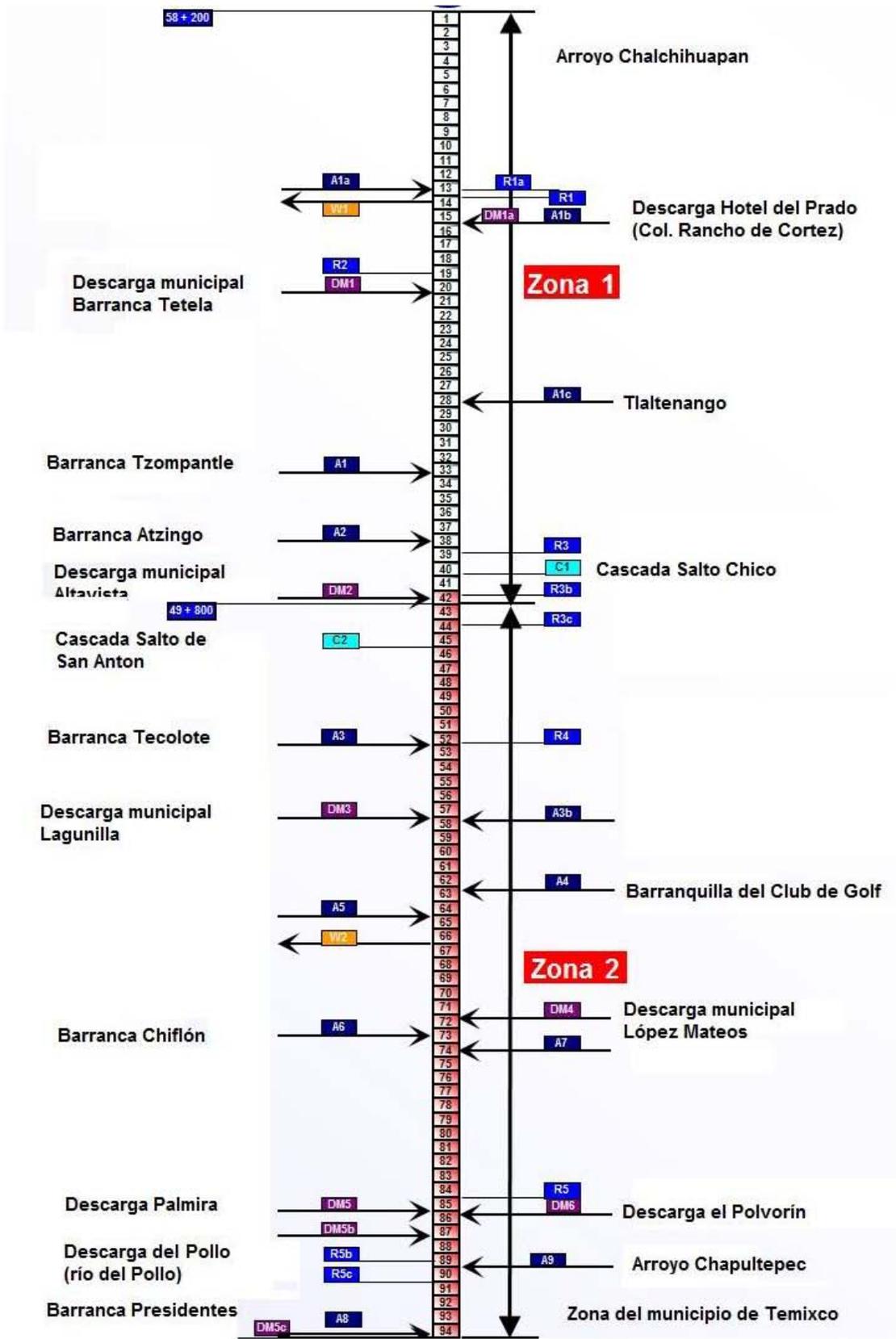


Figura 6.4 Esquema representativo de los puntos monitoreados de calidad del agua

En términos generales la calidad del río Apatlaco indica que sus aguas no son aptas para abastecimiento humano, recreación y vida marina, con algunas excepciones bajo restricciones específicas para uso agrícola. El diagnóstico señala que cuerpos como el arroyo de la barranca Amanalco tampoco son aptas para los usos indicados con la misma excepción para uso agrícola, y la barranca Puente Blanco —con su extensión en el municipio de Emiliano Zapata— no es apto para absolutamente ningún uso.

Las evidencias de la alta contaminación de los cuerpos de agua de Cuernavaca —y en general de la cuenca del Apatlaco— hacen que el planteamiento de la relación de sistemas de alcantarillado con las barrancas y cauces como un problema de investigación cobre vital importancia en la búsqueda de soluciones que permitan que estos elementos naturales cobren su valor ambiental y también urbano.

El Plan Estratégico para la Recuperación Ambiental (IMTA et al 2007) establece los problemas prioritarios de la cuenca del Apatlaco, los cuales son:

- Disminución de la calidad y cantidad del agua en la cuenca
- Deterioro de los recursos bosque y suelo
- Crecimiento urbano desordenado
- Rezagos sociales y económicos
- Pobreza extrema e insalubridad
- Deficiencias en cultura ambiental, capacitación, comunicación y participación social

La contaminación de cauces y barrancas y su relación problemática con los sistemas de alcantarillado, ineludiblemente encaja en todos los ítems anteriores como se explica a continuación punto a punto:

- Las descargas de aguas residuales crudas o con tratamiento deficiente reduce drásticamente la calidad del agua de los cauces, lo que impide su uso y a su vez destruye el entorno natural y por ende reduce la cantidad de agua de la cuenca.
- El escurrimiento de aguas contaminadas deteriora los frágiles ecosistemas propios de las barrancas y el entorno natural circundante a las barrancas, en concreto, la ciudad de Cuernavaca.
- El crecimiento urbano desordenado ha propiciado asentamientos —regulares e irregulares— en laderas y cauces de las barrancas para los cuales no hay sistemas de alcantarillado, provocando descargas directas a estos elementos naturales, reduciendo su valor ambiental a un depósito de desechos.
- La ausencia de sistemas de alcantarillado en zonas ya urbanizadas, y de sistemas de tratamiento eficientes en las redes existentes a cargo del Organismo Operador, es indicativo de un claro rezago económico que ha impedido —en cierta medida— la ampliación y optimización de los sistemas.

- A lo largo del tiempo han existido asentamientos urbanos en laderas de barrancas en condición de pobreza extrema y han carecido completamente de servicios urbanos, como lo es el suministro de agua potable y alcantarillado, lo que ha generado insalubridad y enfermedades a la población misma, con el consecuente deterioro ambiental. Esta condición se acentúa en los municipios ubicados al sur de la cuenca.
- Las descargas directas de aguas residuales de predios a barrancas, a pesar de tener su origen en diversas causas, frecuentemente tiene un fuerte componente cultural y educacional, cuya carencia, como ya se ha comentado, ha generado que las barrancas no sean provistas de su valor ambiental ni urbano, ni por los habitantes, ni por las autoridades. Esto ha originado que investigadores hayan abordado la contaminación y destrucción de las barrancas desde la perspectiva educacional.

Se han implementado programas en los diferentes niveles de gobierno asociados a los problemas prioritarios mencionados. Los programas de orden federal que han sido previstos y que involucran al saneamiento de barrancas y al mejoramiento de los sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales requieren del cumplimiento de una serie de requisitos orientados para Municipios y Organismos Operadores, uno fundamental es que exista un Convenio o Acuerdo de Coordinación entre el Gobierno Estatal y el Gobierno Federal para la conjunción de acciones de mejoramiento. Para la ciudad de Cuernavaca aplican los siguientes, que dependen de la CNA:

El *Programa de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento en Zonas Urbanas* (APAZU)³ (CNA 2007) tiene como acciones:

- La ampliación de la cobertura de los servicios de agua potable y alcantarillado
- Mejoramiento de la eficiencia física y comercial
- Apoyo en el desarrollo institucional de los ejecutores de estas obras.
- Construcción, rehabilitación y conservación de la infraestructura hidráulica

Los municipios y Organismos Operadores deberán cumplir una serie de requisitos que garanticen que cumplan con las acciones rectoras indicadas, y someterse a un procedimiento de selección. Una vez seleccionado se tendrá una aportación federal de hasta el 50% por cada componente de acción (Agua potable, saneamiento, alcantarillado) y una contraparte de recursos estatales y/o municipales, inclusive del sector social o iniciativa privada. Para saneamiento, las acciones contempladas deben incluirla construcción de atarjeas, colectores, emisores, plantas de tratamiento y rehabilitación de redes existentes.

³ Véase Capítulo 5 Subcapítulo 5.1 y CNA (2007) en las referencias.

El *Programa de Devolución de Derechos* (PRODDER) tiene por objetivo la realización de acciones de mejoramiento de eficiencia y de infraestructura de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales mediante la devolución a los prestadores de estos servicios, de los ingresos federales que se obtengan por la recaudación de derechos por explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales.

El *Programa de modernización de Organismos Operadores de agua* (PROMAGUA) se emplea como fuente adicional de recursos, para fomentar la consolidación de los organismos operadores de agua, facilitándoles el acceso a tecnologías de punta, fomentar e impulsar su autosuficiencia y contribuir al saneamiento mediante el diseño de proyectos ligados al tratamiento y reúso de aguas residuales.

También existen programas para zonas de índole rural como el *Programa para la sostenibilidad de los servicios de agua potable y saneamiento en comunidades rurales* PROSSAPYS, el *Programa para la Construcción y Rehabilitación de Sistemas de Agua Potable y Saneamiento en Zonas Rurales*. (IMTA et al 2007)

Los Programas estatales se ejecutan principalmente a través de la CEAMA, mediante las actividades contenidas en su Ley de Creación⁴ (LCCEAMA 2000). Desde marzo de 2007 el gobierno del estado de Morelos decretó como responsabilidad del CEAMA, el Programa de Saneamiento Integral de la Cuenca del Río Apatlaco, con un aporte de la CNA de más de 190 millones de pesos mexicanos para las acciones de este rescate ambiental.)

Las acciones concretas programadas en el plan estratégico para la recuperación ambiental de la cuenca del Apatlaco, aplicables a cauces y barrancas de Cuernavaca son:

1.- Relativo a las acciones orientadas a plantas de tratamiento en Cuernavaca, se muestran las tablas 6.4, 6.5 y 6.6

Tabla 6.4

Acción General	Complementar infraestructura para tratamiento de aguas residuales, y rehabilitar y operar la existente en los ámbitos urbano, rural, industrial y turístico
Acción Específica	Construcción de planta de tratamiento de aguas residuales en la Colonia Ampliación Chipitlán
Objetivo	Dar tratamiento a un gasto de 24 l/s de aguas residuales con beneficio para 20 mil habitantes y saneamiento del río del Pollo
Localidad	Col. Ampliación Chipitlan
N° de ficha asignado en el Plan	5
Estatus	Puesto en marcha por CEAMA en marzo del 2010

^{4 4} Véase Capitulo 5 Subcapítulo 5.1

Tabla 6.5

Acción General	Complementar infraestructura para tratamiento de aguas residuales, y rehabilitar y operar la existente en los ámbitos urbano, rural, industrial y turístico
Acción Específica	Rehabilitación y modernización de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Acapatzingo
Objetivo	Incrementar la capacidad de tratamiento de la planta a 600 l/s
Localidad	Acapatzingo (Con impacto en la zona oriente de Cuernavaca)
N° de ficha asignado en el Plan	9
Estatus	Inicio de la Rehabilitación en agosto de 2010 y trabajos en marcha para su terminación prevista en el último trimestre de 2011

Tabla 6.6

Acción General	Incrementar la cobertura de drenaje, priorizando la complementación de la infraestructura existente y en especial la asociada con las plantas de tratamiento sub-operadas o en proceso de construcción.
Acción Específica	Construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales en el poblado Buenavista del Monte, primera etapa.
Objetivo	Proporcionar tratamiento a un gasto de 15 l/s de aguas residuales con beneficio para 7,000 habitantes.
Localidad	Poblado de Buenavista del Monte
N° de ficha asignado en el Plan	16
Estatus	Puesta en marcha en el año 2009

2.- Relativo a las acciones orientadas a alcantarillado sanitario, se muestra la tabla

Tabla 6.7

Acción General			
Incrementar la cobertura de drenaje, priorizando la complementación de la infraestructura existente y en especial la asociada con las plantas de tratamiento sub-operadas o en proceso de construcción.			
Acción Específica	Objetivo	Localidad	N° de ficha
Construcción de colectores marginales en la barranca San Pedro	Beneficio a 30,000 habitantes	Santa María Ahuacatlán	29
Construcción de 50 km de subcolectores hacia la planta de Acapatzingo	Beneficio a la población en el oriente de Cuernavaca	Acapatzingo	30
Construcción de alcantarillado sanitario	Dotación del servicio a la Colonia	Col. Ahuatlán	31
Colector San Juan para ligar el circuito Universidad a la planta de Acapatzingo	Rehabilitar infraestructura existente	Cuernavaca	45
Colector Universidad Norte	Conectar atarjeas a un subcolector existente para evitar su descarga a barrancas	Cuernavaca	49

3.- Para alternativas de tratamiento económicas de aguas residuales:

Tabla 6.8

Acción General			
Promover el uso de alternativas económicas, de bajo costo de operación y mínima dependencia tecnológica para el tratamiento de aguas residuales.			
Acción Específica	Objetivo	Localidad	N° de ficha
Reactor aeróbico	Tratamiento a un gasto de 5 l/s en unidad habitacional	Ahuatlán	46

Colector marginal y reactor anaeróbico en la barranca San Pedro	Conducir y dar tratamiento a un gasto de 12 l/s que se vierten en la barranca	Col Tlaltenango	50
Construcción de biofiltro en la barranca San Pedro	Beneficio a 30,000 habitantes	Col. Buena Vista	52
Construcción de biofiltro en la barranca Chalchihuapan	Beneficio a 20,000 habitantes	Colonia Rancho Cortéz	53
Sistema alternativo de saneamiento unifamiliar	Aplicar sistemas de bajo consumo de energía a 100 casas	Col. Ahuatlán Col. 28 de marzo	55

4.- También se contemplan acciones de limpieza de barrancas, en las que destacan:

Tabla 6.9

Acción General	Limpieza de barrancas y control de tiraderos clandestinos e irregulares.		
Acción Específica	Objetivo	Localidad	N° de ficha
Recuperación ambiental de barranca Sacatierra y planta	Rehabilitar la función hidráulica del cauce y de sus condiciones	Col. Sacatierra	80
Limpieza de barrancas 36 km al año	Retiro de residuos sólidos del cauce y rehabilitar su función	Cuernavaca	82
Recuperación del Salto de San Antón	Generación de un espacio turístico	Cuernavaca	83
Recuperación del paseo de la barranca Amanalco	Generación de un espacio turístico	Cuernavaca	85
Recuperación de la barranca San Pedro	Beneficio a 350,000 habitantes	Santa María Ahuacatlán	86
Recuperación del paseo ribereño de la barranca Salto Chico	Generación de un espacio turístico	Cuernavaca	87

El Plan contempló como una acción la *Instrumentación del ordenamiento ecológico municipal de Cuernavaca en el área urbana*, logrando su objetivo en el año 2010, con la aprobación y publicación del Reglamento de Ecología y Protección al Ambiente del Municipio de Cuernavaca, Morelos, el cual regula las actividades tendientes a proteger el medio ambiente y los recursos naturales «garantizando el derecho de todo ser humano a vivir en un ambiente adecuado para su desarrollo, salud y bienestar» (H. Ayuntamiento de Cuernavaca 2010). Este reglamento abroga al mismo publicado en 1999.

Otra acción que tuvo su culminación, fue el desarrollo del *Programa de Ordenamiento Ecológico y Territorial de Municipio de Cuernavaca*, con su publicación en mayo del 2009 en el cual declara a los ríos y barrancas como *áreas de protección y restauración ecológica*. Sin duda, un paso fundamental en la recuperación de su valor ambiental.

En el aspecto educacional, hay acciones de índole permanente como son aulas ambientales para la promoción de los cambios en la actitud hacia el medio ambiente, actividades como cumbres infantiles, la formación de promotores ambientales y labores de concientización a pobladores sobre el manejo de residuos sólidos y cuidado del agua, así como educación para el conocimiento y respeto de las barrancas de Cuernavaca, orientado a la preservación del medio ambiente, la mejora de las condiciones de salubridad y del panorama visual que estos elementos naturales representan. Hay dos programas que son resaltables: el de *Barrancas urbanas de Cuernavaca* y el de *Barrancas poniente de Cuernavaca*.

6.5 Actores complementarios en la problemática: instituciones académicas, Organizaciones No Gubernamentales y Asociaciones Civiles

Desde la gestación del Plan estratégico descrito anteriormente, diversas instituciones educativas, por parte de la UNAM a través del *Instituto de Ingeniería*, el *Posgrado de Urbanismo*, el *Instituto Mexicano de la Tecnología del Agua* IMTA el *Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias* CRIM, han contribuido al abordaje transdisciplinario de la relación problemática de los sistemas de alcantarillado y barrancas, y temáticas similares, como objeto de investigación con enfoques diversos.

Una de las principales líneas de investigación en torno a la descarga de aguas residuales a barrancas en el CRIM, es el que encabeza la Dra. Alicia Batllori, que le otorga una perspectiva de educación ambiental a este problema de investigación, y ha centrado sus trabajos en analizar la interacción de habitantes con su entorno natural considerando factores socioeconómicos y educacionales (Batllori 2004) impulsando la inversión en la educación de los habitantes, así como la utilización de métodos alternativos factibles y sencillos como los sanitarios ecológicos y baños secos; la colaboración multidisciplinaria

en el diseño y difusión de cursos y talleres, y la búsqueda constante de métodos y estrategias aplicados a la educación ambiental orientada a barrancas con el fin de obtener prácticas susceptibles de ser utilizadas por los pobladores que coadyuven a salir de la crisis ambiental existente.

Otras líneas de investigación de este centro se encuentran a cargo del Dr. Raúl García Barrios relativos a las descargas de aguas residuales, la deposición de desechos sólidos, orgánicos e inorgánicos, caracterización de las barrancas y propuestas de acción para su rescate (García R. et al 2007)

El Instituto de Ingeniería, en coordinación con el Posgrado de Urbanismo, mediante un grupo de trabajo denominado *Urbanismo Transdisciplinario* bajo la dirección del Maestro en Ingeniería y Urbanismo Enrique Díaz Mora, ha abordado la problemática como componente de la destrucción del medio ambiente como consecuencia de una expansión urbana inadecuada (Díaz-Mora 2008), en particular se ha planteado a los *sistemas de alcantarillado y barrancas de Cuernavaca como una relación urbano-ambiental problemática* (Carreño y Díaz-Mora 2008). Los trabajos de investigación de este grupo han fructificado —entre otras publicaciones— en el presente documento de investigación.

El Instituto Mexicano de la Tecnología del Agua, ha sido fundamental en el diseño del Plan estratégico para la recuperación ambiental del río Apatlaco, y es quien ha elaborado el documento directriz. (IMTA, et al 2007)

Una valiosa aportación a este problema de investigación, ha sido las acciones y propuestas de diversas ONG's como *Guardianes de los Árboles* quienes han denunciado las irregularidades de orden federal, estatal y municipal en perjuicio de elementos naturales como lo han sido el bosque de agua de la Sierra del Chichinautzin, afectado por el libramiento Lerma –Tres Marías, el grave deterioro a que estaría expuesto el sistema de barrancas del poniente de Cuernavaca, por la construcción del Libramiento Norponiente, y la desaparición de la barranca Los Sauces para dar paso a una vía rápida en la zona urbana de Cuernavaca, son solo tres ejemplos de estos ejercicios de denuncia y búsqueda de conciencia ambiental social y gubernamental.

Muchos habitantes —afiliados o no a asociaciones civiles— han desarrollado actividades para reducir la contaminación y destrucción del entorno natural, que han consistido en la ejecución de limpieza manual de algunos segmentos de barrancas y cauces, en la implementación de sistemas de tratamientos alternativos sencillos y de bajo costo para el tratamiento de aguas residuales, y técnicas para su reutilización, o la utilización de tecnologías para el reciclaje de excretas humanas mediante el uso de sistemas sanitarios sin agua como vehículo de contaminantes y otras ecotécnicas, para la elaboración de composta utilizable como nutriente para la flora existente en las barrancas, son sólo algunos ejemplos de las actividades que en esta temática han realizado los habitantes. Es necesario indicar que el Plan de saneamiento, coadyuvará a largo plazo a que estas acciones sean ejecutadas

de manera formal y útil, lo que logrará erradicar las prácticas *espontáneas* de muchos pobladores con buenos propósitos pero carentes de técnica y conocimiento. El desarrollo de estas actividades en Cuernavaca se ha dado principalmente en cauces y barrancas.

6.6 Análisis y propuesta de soluciones en la perspectiva transdisciplinaria y urbanística de la ingeniería civil

El planteamiento de las soluciones concretas llevadas a cabo en el Plan de saneamiento de la cuenca del río Apatlaco, intrínsecamente conlleva el análisis y la reflexión propios de la ingeniería civil, como son la construcción de plantas de tratamiento, de colectores marginales a las barrancas y rehabilitación y ampliación de los sistemas existentes de alcantarillado.

Adicionalmente, se propone la elaboración de diagnósticos de cada barranca, estableciendo unidades geográficas de análisis para cada una en segmentos perfectamente bien definidos, que permita establecer en concreto el daño que ha sufrido por efecto del hombre en flora, fauna y cauce, a pesar de que es conocido que en términos generales, se encuentra presente una severa contaminación; y que también se pueda elaborar un análisis social de las personas que la habitan. Esto permitirá no solo ejecutar acciones prácticas en zonas específicas, sino a todo lo largo de las barrancas, en todo el municipio. Para cada diagnóstico de un segmento en particular, será tendrá un muy convenientemente acotado objeto de investigación, que arrojará soluciones específicas y puntuales.

En las zonas donde un análisis previo indique que no es necesario un diagnóstico tan puntual, puede estudiarse la posibilidad del diseño y construcción de colectores marginales, para impedir que las descargas lleguen al cauce, como ya se propuso por ejemplo, esta solución para segmentos en particular de la barranca San Pedro. Es necesario aclarar que esta acción no equivale a *entubar el cauce*. El grupo de ingeniería que proyecte este tipo de colectores deberá cuidar la velocidad y pendiente máxima en las alcantarillas y deberá diseñar e implementar los pozos de visita adecuados acorde al terreno, incluyendo caídas adosadas para disminuir la pendiente de los tramos de tubería.

Se propone también que para todos los cauces de las barrancas, mediante los estudios hidrológicos necesarios, sean definidos perfectamente sus correspondientes zonas federales —acorde a lo establecido en la Ley de Aguas Nacionales— para establecer la prohibición efectiva, es decir, llevada a la práctica, del uso de las barrancas como suelo para construcción de vivienda por parte de particulares y desarrolladores inmobiliarios. Esta acción queda propuesta a largo plazo debido a la cantidad de km de barrancas y a los requerimientos técnico-económicos para su implementación por parte de CNA.

La propuesta anterior se complementan indisolublemente, con la efectiva aplicación del Reglamento de Construcción del municipio relativo a las descargas de aguas residuales, la implementación del reciclaje de aguas grises y campañas formales por parte de la

Secretaría de Desarrollo Urbano, Obras y Servicios Públicos o de SAPAC, de asesoría de instalación y mantenimiento de fosas sépticas, biodigestores, baños secos y la continua inspección y sanción de descargas clandestinas a cauces y barrancas. Adicionalmente, deben idearse mecanismos de financiamiento accesibles que no represente un costo significativo para los usuarios de estos sistemas alternativos, y estimulación a la población para su adquisición; estos mecanismos deben ser implementados en coordinación con el organismo operador, CEAMA, el gobierno municipal, estatal y federal.

Se debe regular todas las descargas directas mediante su correspondiente permiso y el consecuente pago de derechos, y canalizar esta recaudación para la construcción de sistemas de alcantarillado y plantas de tratamiento. Adicionalmente, como lo indica el Plan, se podrán obtener de esta manera los beneficios del PRODDER.

La incongruencia entre la reglamentación municipal y los permisos de descarga federales debe ser eliminada por completo y no ser objeto de ambigüedades, pues en el caso puntual de Cuernavaca, ya se hizo mención que mientras la CNA otorgó permisos para descargas a pozos de absorción, el Reglamento de Construcciones del Municipio los prohíbe y definir claramente, los alcances de cada autoridad sobre barrancas.

Se propone incluir la definición de *barranca*, en el reglamento de construcciones del municipio, en virtud de que estos elementos se encuentran íntimamente ligados a la *forma* de la ciudad, a su proceso de urbanización, a la edificación de viviendas en sus laderas y al saneamiento de los habitantes cuernavacenses debido a su interacción con las redes de alcantarillado.

Finalmente, el Plan de saneamiento del río Apatlaco analizado con anterioridad, deberá tener una continuidad *permanente*, a pesar de que las acciones previstas tengan un plazo determinado, se tendrán que ejecutar todas las acciones necesarias para mantener los logros obtenidos en el plan, como lo es el mantenimiento constante de la infraestructura y su renovación en caso de ser necesario, la búsqueda constante de nuevas acciones de mitigación y la previsión de posibles fuentes de financiamiento a largo plazo.

Las acciones aquí propuestas, sin duda coadyuvarán al rescate de la cuenca del río Apatlaco y por consiguiente a la ciudad de Cuernavaca, asimismo, una vez consolidadas pueden aplicarse en los nuevos asentamientos que tendrá la ciudad para preservar a las barrancas con las que invariablemente deberán interactuar, es decir, que las actuales condiciones de contaminación por aguas residuales sean mitigadas y prevenidas, en la búsqueda de una sustentabilidad ambiental para Cuernavaca.

Conclusiones

Se ha presentado como objeto de estudio a uno de los grandes problemas que ha aquejado a la ciudad de Cuernavaca como lo son las relaciones de los sistemas de alcantarillado con cauces y barrancas del municipio. A lo largo del desarrollo de este trabajo de investigación se mantuvo un perfil transdisciplinario de la ingeniería civil, cuyo ejercicio no se limita — ni debe hacerlo— a la puntual solución técnica como producto de la aplicación de las ramas del conocimiento propios de la ingeniería. Bajo este perfil, en un inicio se estableció la conveniencia de relacionar la ingeniería civil y el urbanismo, que si bien son complementarias, la transgresión de los límites de cada disciplina permite concebir a la ciudad bajo una nueva dimensión, desechando la idea errónea de que *hacer ciudad* es equivalente a construir su infraestructura; pues a la ciudad hay que *entenderla*. Bajo este esfuerzo se abordó en particular a la ciudad de Cuernavaca, su comportamiento urbano a lo largo del tiempo, sus principales características, su dinámica y proceso de urbanización y la búsqueda por concebirla como un objeto complejo.

Con la firme convicción de que este trabajo de investigación será útil para el entendimiento del problema y en la institución de soluciones, se incluyó un breve marco teórico de la ingeniería civil orientada a sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales. De manera similar, se presentó a la contraparte, las barrancas de Cuernavaca, y se caracterizaron de manera general y se propusieron como elementos de valor urbano y ambiental, con los argumentos suficientes para los dos ámbitos.

Ya de lleno con los sistemas de alcantarillado de la ciudad, se ha mostrado a las entidades a cargo de estos sistemas, pues para el objeto de estudio abordado resulta fundamental no sólo conocer el sistema y sus limitaciones, sino quienes los operan. De manera posterior, con un análisis descriptivo y operativo del sistema, se demostró que dichos sistemas, debido a su insuficiente cobertura, operación inadecuada y tratamiento ineficaz, han derivado en la contaminación de cauces y barrancas, por lo que *no contribuyen* a la preservación del medio ambiente ni a la sanidad de la ciudad,

conformando por tanto, entre alcantarillado y barrancas, *una relación problemática compleja*.

Adicionalmente se comprobó que muchos de los datos y estadísticas oficiales no representan la realidad y resultan engañosos en lo respectivo a saneamiento, y que el problema de contaminación de cauces y barrancas va más allá del número de viviendas con descarga directa de aguas residuales; parte de lo que debería ser la solución (sistemas de alcantarillado) resulta ser un componente *fundamental* del problema. De esta manera, tomando dicha relación como un problema de investigación, se analizaron las posiciones que deben —o deberían haber adoptado, acorde a sus alcances y atribuciones— los principales actores; la Comisión Nacional del Agua y la Secretaría de Desarrollo Urbano, Obras y Servicios Públicos del municipio Cuernavacense y algunas discrepancias entre ellos respecto a la autorización de descargas. Posteriormente se profundizó en el análisis del *Plan estratégico para la recuperación ambiental de la cuenca del río Apatlaco*, multi-institucional y con múltiples abordajes hacia la problemática de saneamiento, que en opinión propia, justifica por sí mismo la necesidad del enfoque transdisciplinario no únicamente para el ingeniero civil, en el abordaje de este problema de investigación. Se resaltó la importancia de las instituciones académicas que intervienen o han intervenido en alguna etapa, así como el esfuerzo mismo de los habitantes, quienes finalmente, viven en carne propia los estragos de la destrucción del entorno natural y urbano. Finalmente, y como producto de ese esfuerzo académico institucional por entender y proponer soluciones a este problema, se realizó una serie de propuestas que —sin pretender *inventar el hilo negro*— complementan a las acciones que ya se han propuesto o las que ya se han ejecutado.

Por lo tanto, se considera que se ha cumplido con el propósito de entender una relación conflictiva de las muchas relaciones complejas existentes entre los componentes de una ciudad, en este caso Cuernavaca, así como de analizar los elementos que constituyen esa relación —alcantarillado y barrancas— y plantear su relación como un problema de investigación, con las acciones propuestas para su mitigación, como ingeniero civil en el marco de un ejercicio urbanístico transdisciplinario.

Referencias

ABACCSA, (2001) Diagnóstico del Sistema de alcantarillado sanitario y propuestas de infraestructura. Aranda Baltazar y Asociados Consultoría y Construcciones, S.A. de C.V.

Aguilar, P (1998) Glosario Jurídico Urbano. Colegio Nacional de Jurisprudencia Urbanística A.C. en <http://www.cnjur.org.mx/GlosarioJuridicoUrbano.pdf>

Baigorri, A (1995) “Del urbanismo multidisciplinario a la urbanística transdisciplinaria: una perspectiva sociológica” en *Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales*. 3 (104) Badajoz, <http://www.unex.es/sociolog/BAIGORRI/portico.htm>

Baigorri, A (2003) “Urbanismo y urbanistas en la urbe global” en *Página de Sociología de Artemio Baigorri*. Badajoz, <http://www.unex.es/sociolog/BAIGORRI/portico.htm>

Barocio, R (2005) “Ingeniería civil y el mejoramiento del medio ambiente” en Martín del Castillo (director), *¿Creceremos sin Ingeniería Civil?:* pp 162 - 182, Universidad Iberoamericana, México.

Batllori, A (1999) “Evaluación ecológica y social de las barrancas de Cuernavaca” en *Instituto Nacional de Ecología*. INE, CRIM UNAM, México <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/gacetitas/276/barrancas.html>

Batllori, A (2004) “Las barrancas de Morelos. Enfoque Educativo para un cambio de comportamiento de los moradores” en *Academia Nacional de Educación Ambiental*, ANEA, CRIM UNAM, México. <http://anea.org.mx/docs/Alicia%20Batllori-1.pdf>

Bunge, Mario (2000) “Construyendo puentes entre las ciencias sociales”, en Robert Castel, Alain Touraine, Mario Bunge, et al, *Desigualdad y globalización: cinco conferencias*. Facultad de Ciencias Sociales, UBA Manantial, Buenos Aires:

Carreño D y E Díaz-Mora (2008) “Sistemas de alcantarillado y barrancas en la ciudad de Cuernavaca, una relación urbano-ambiental problemática compleja” en *Sexto Congreso Internacional de Urbanismo y Medio Ambiente*, BUAP, México

Castellanos, G; Díaz, M y A. Franco (2005) “La ingeniería civil: fundamental para el desarrollo urbano” en Martín del Castillo (director), *¿Creceremos sin Ingeniería Civil?:* pp 188 -201, Universidad Iberoamericana, México.

CMIC y CNA (2004). “Modalidades para motivar participación privada en infraestructura hidráulica” en *Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción*. México, <http://www.cmic.org/mnsectores/agua/experiencias/cna.pdf> (Accedido en Diciembre de 2007)

CNA (2007). “Evaluación de resultados del Programa de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento en Zonas Urbanas APAZU informe final” en *Comisión Nacional del Agua*.

México, <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/APAZU2006.pdf> (Accedido en Diciembre de 2007)

CONAPO (2010) “Sistema Urbano Nacional 2000, 2005” en *Consejo Nacional de Población*. México http://www.conapo.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=3 (Accedido en septiembre de 2010)

Choay, F (1976) *El urbanismo. Utopías y realidades*. Lumen, Barcelona.

Díaz-Mora, E (2008) “Formación de investigadores en urbanismo en el ámbito de la docencia” en *Sexto Congreso Internacional de Urbanismo y Medio Ambiente*, BUAP, Puebla de Zaragoza, México

Díaz-Mora, E (2011). “Historia inmediata de la re-territorialización de la región Cuernavacense en México”, en *Congreso Internacional de Historia Inmediata*. Maracaibo, Venezuela.

Dantas, F (2003) “De la intervención práctica a la práctica política: El urbanismo en el mundo” en *Urbano* 6 (8) <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=19800815> (Accedido en enero de 2008)

Dávila, S (2006). *El poder del agua: ¿Participación social o empresarial?* Ítaca, México.

Estrada, A (1997) *Cuernavaca y sus barrancas*. H. Ayuntamiento de Cuernavaca, México

García R, et al (2007) “Las Barrancas de Cuernavaca” en *Instituto Nacional de Ecología, INE, CRIM UNAM México* http://www.ine.gob.mx/descargas/dgipea/pon_barranca_cuernavaca.pdf

González, L (2009) “El papel de las ciudades en el desarrollo regional” en *Consejo Nacional de Población*. México, <http://www.conapo.gob.mx/publicaciones/sdm/sdm2009/05.pdf> (Accedido en septiembre de 2010)

H. Ayuntamiento de Cuernavaca (2006). *Programa de Desarrollo Urbano de Centro de Población del Municipio de Cuernavaca* (CD ROM) Secretaría de Desarrollo Urbano y Obras Públicas, Cuernavaca México.

INEGI (2007) Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (Sitio Web accedido en 2007) <http://www.inegi.org.mx/>

INEGI (2000) *Información digital Cuernavaca* (CD-Rom) Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México.

IMTA, et al (2007) *Plan estratégico para la recuperación ambiental de la cuenca del río Apatlaco*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Fundación Gonzalo Río Arronte, en coordinación con el Gobierno del Estado de Morelos. México.

IBER (1995) “La ciudad: Didáctica del medio urbano”, en *IBER, Didáctica de las ciencias sociales, geografía e historia*. 2(3), Giraó Educación de Serveis Pedagògics, Barcelona.

López Ruiz, R (2003) *Aguas residuales municipales y biosólidos. Elementos básicos, caracterización, tratamiento y reúso*. Facultad de Ingeniería, UNAM, México

Metcalf&Eddy Inc (1995) *Ingeniería de aguas residuales Vol. 1, tratamiento, vertido y reutilización*, Mc Graw Hill, Madrid

Jiménez Cisneros, B (2001). *La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada*. Limusa, Colegio de Ingenieros Ambientales de México, A.C., Instituto de Ingeniería de la UNAM y FEMISCA, México.

Ortíz, PM(1977) “Estudio morfológico del Glacis de Buenavista, estado de Morelos” en *Boletín*, num 8, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp 25 – 40

Pacheco, J (2007). “Construcción de una ciudad latinoamericana, suelo social y estrategia del capital: Cuernavaca, México, de 1940 a 1990” en *Pensar i viure la ciutat*. Biblioteca virtual del Institut Català de Cooperació Iberoamericana, Barcelona, <http://americat.net/castellano/biblioteca/virtual/docs/14-Construccion-Jose.pdf> (Accedido en diciembre de 2007)

Pérez, JI(2007) *Multifuncionalidad de los sistemas de barrancas en México. Análisis geográfico, ecológico y cultural*. Dunken, Buenos Aires.

Pineda, N (1998). “La municipalización de los sistemas de agua potable y alcantarillado” en *El Colegio de Sonora*. México, <http://www.colson.edu.mx/absolutenm/articlefiles/1013-Isapinap.pdf> (Accedido en Diciembre de 2007)

Rueda, R (coord.)(2006) *Atlas municipal del Estado de Morelos*. Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México.

SAU (2003) “Por una reconquista de la ciudad” en *Sociedad de Arquitectos del Uruguay*, Montevideo. http://www.sau.org.uy/pags/nov_artBSAU_7a.php (Accedido en enero de 2008)

Leyes, Normas y Reglamentos:

H. Ayuntamiento de Cuernavaca (2001). “Reglamento de Construcción del Municipio de Cuernavaca, Morelos” Dirección de Legislación y Reglamentación Municipal, revisión 2001 en *H. Ayuntamiento de Cuernavaca*. <http://mac.cuernavaca.gob.mx>

H. Ayuntamiento de Cuernavaca (2010). “Reglamento de Ecología y Protección al Ambiente del Municipio de Cuernavaca, Morelos, Consejería Jurídica, en *H. Ayuntamiento de Cuernavaca*. <http://mac.cuernavaca.gob.mx>

LAN (2008) *Ley de Aguas Nacionales*, última reforma publicada en DOF 18-04-2008. Congreso de los Estados Unidos Mexicanos, Comisión Nacional del Agua CNA, México. <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16.pdf>

LGEEPA (2011) *Ley General de Equilibrio y Protección al Ambiente*, últimas reformas publicadas en el DOF 28-01-2011. Congreso de los Estados Unidos Mexicanos, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT, México. <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/148.pdf>

LGVS (2010) *Ley General de Vida Silvestre*, última reforma publicada en DOF 30-11-2010 Congreso de los Estados Unidos Mexicanos, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT, México. <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/146.pdf>

LCCEAMA (2000) *Ley que crea el Organismo Público descentralizado del Gobierno del Estado de Morelos denominado Comisión Estatal del Agua y Medio Ambiente*, expedido por la XLVII Legislatura, Gobierno del Estado de Morelos, México. <http://www.ceamamorelos.gob.mx/secciones/ceama/ArchivosExtras/leyes/Ley00096.pdf>

RLADF (1997) *Reglamento de la Ley Ambiental del Distrito Federal*, ordenamiento vigente publicado en la Gaceta Oficial del DF y en DOF el 03-12-1997, Asamblea Legislativa del Distrito Federal I Legislatura. http://www.semarnat.gob.mx/leyesy normas/Reglamentos/REGLA_LEY_AMBIE_GDF.pdf

SAPAC (1995) Acuerdo por el que se crea el Sistema de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Cuernavaca, expedido en el 3769 Periódico Oficial “Tierra y Libertad” SAPAC Morelos, México.

SAPAC (2009) Reglamento Interior del Sistema de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Cuernavaca, actualización 2009. SAPAC, Morelos, México. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT, México http://mac.cuernavaca.gob.mx/sapac/frames/transparencia/DOCTOS/OJA.3_REGLAMENTO_S_PERIODICO_OFICIAL_MAYO09.pdf

NOM-001-SEMARNAT-1996 *Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales*, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT, México

NOM-006 CNA 1997 *Fosas sépticas prefabricadas. Especificaciones y métodos de prueba*, Comisión Nacional del Agua CNA, México

Diccionario

RAE *Diccionario de la Lengua Española*. Real Academia Española <http://www.rae.es/rae.html>