



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN URBANISMO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ACATLÁN
CAMPO DEL CONOCIMIENTO DESARROLLO URBANO Y REGIONAL

EVALUACIÓN TERRITORIAL PARA LA RECUPERACIÓN Y RECARGA ARTIFICIAL DEL ACUÍFERO EN ÁREAS URBANAS: Caso de estudio localidad urbana de Tepotzotlán

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE MAESTRIA EN URBANISMO

PRESENTA

ARQ. JUAN ANTONIO TOBIAS CARRANZA

TUTOR

Dr. Mario Camacho Cardona

Facultad de Estudios Superiores Acatlán

SINODALES

Dra. María Teresa Zárate Ramírez

Facultad de Estudios Superiores Acatlán

Dra. Ericka Judith Arias Guzmán

Facultad de Estudios Superiores Acatlán

Dr. Javier Pineda Muñoz

Facultad de Estudios Superiores Acatlán

Dr. Jesús Adrián Marín Blancas

Facultad de Estudios Superiores Acatlán

Santa Cruz Acatlán, Naucalpan, Estado de México. Octubre de 2020



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

Agradecimientos

A mi tutor. Dr. Mario Camacho Cardona por su apoyo y enseñanzas.

A mis sinodales por sus atenciones y paciencia.

A Elisa, por ser la mejor parte de mí y mi vida.

A Rosy, por ser el impulso de mi vida al estar conmigo.

A mis padres y hermano, por estar siempre en mi vida por 49 veranos.

“Lo que piensas, lo serás. Lo que sientas, lo atraerás, lo que imagines, lo crearás.”

Índice

Introducción	8
Capítulo I. Planteamiento del problema	10
1.1.- Delimitación espacial y temporal	12
1.2.- Justificación	14
1.3.- Hipótesis	15
1.4.-Objetivos	15
1.4.1.- Objetivo General	15
1.4.2.- Objetivo particulares	15
1.5.- Definición de términos	15
Capítulo II. Marco teórico - conceptual	
Estado del arte (bases teóricas)	19
2.1.- Sustentabilidad	19
2.2.- Análisis territorial	20
2.3.- Proceso de urbanización	27
2.3.1.- Patrones de la urbanización en México, 1980-2010	29
2.4.- Captación y tratamiento de agua residual y pluvial en zonas urbanas	31
2.5.- Recarga artificial de los acuíferos	37
2.6.- Teoría general de sistemas	44
2.7.- Valorización de las temáticas	48
Capítulo III. Marco metodológico	50
3.1.- Etapas	50
Etapa – Información e investigación	50
Etapa – Información estadística	51
Etapa – Análisis territorial	51
Etapa – Análisis conceptual estadístico y espacial	52
Capitulo IV. Marco jurídico	55
Legislación de carácter internacional con miras al desarrollo sostenible	
4.- Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible	55
Legislación de carácter federal	
4.1.- Constitución política de los estados unidos mexicanos	56
4.2.- Ley de aguas nacionales	57
4.3.- Normas Oficiales Mexicana	59
4.4.- Ley general de equilibrio ecológico y protección al ambiente	60

Legislación de carácter estatal y municipal	
4.5.- Ley del agua para el estado de México y municipios	63
4.6- Consideraciones finales	67
Capítulo V. Análisis y diagnóstico del sitio	70
5. Medio Físico	70
5.1.- Topografía y pendientes	70
5.2.- Geología	71
5.3.- Edafología	74
5.4.- Hidrología	76
5.4.- Clima	80
5.2. Dinámica demográfica, vivienda y suelo	81
5.2.1.- Población	82
5.2.2.- Crecimiento poblacional	83
5.2.3.- Dinámica económica	86
5.2.4.- Vivienda	88
5.2.5.- Crecimiento del territorio (expansión urbana)	90
5.2.6.- Uso del suelo	93
5.3. Medio urbano	96
5.3.1.- Infraestructura vial	96
5.3.2.- Infraestructura hidráulica	98
5.3.3.- Infraestructura sanitaria	101
5.4.- Áreas con problemática de agua	104
5.5.- Plano síntesis	107
5.6.- Análisis FODA	108
5.7.- Esbozo de evaluación (Objetivos y líneas de acción)	110
Capítulo VI. Propuesta de zonificación para la recuperación y recarga artificial del acuífero en áreas urbanas	112
6.- Estrategias	112
6.1.- Mejoramiento de infraestructura hidráulica en vialidades	112
6.2.- Planificación de proyectos	117

6.3.- Creación del sistema de tratamiento	119
6.4.- Actualización legal de ordenamientos urbanos para nuevos desarrollos	121
7.- Conclusiones y recomendaciones	127
8.- Bibliografía	130

Índice de gráficos

Grafica 1. México: grado de urbanización, 1900-200	29
Gráfica 2. Pirámide demográfica de Tepetzotlán	82
Gráfica 3. Pirámide demográfica de Cuautitlán Izcalli	83
Gráfica 4. Tasa de crecimiento de Tepetzotlán 1990 – 2010 – 2015	83
Gráfica 5. Tasa de crecimiento de Cuautitlán Izcalli 1990 – 2010 – 2015	84

Índice de fotográfico

Foto 1. Ubicación de la Planta de recarga artificial Cerro de la Estrella	41
Foto 2. Área post tratamiento	41
Foto 3. Área de infiltración	41
Foto 4. Ubicación de la Planta de recarga artificial Toluca – Norte	42
Foto 5. Planta de Tratamiento Toluca – Norte	43
Foto 6. Planta de Recarga Artificial Toluca – Norte	43
Foto 7. Inyección del agua para recarga Artificial	43
Foto 8. Crecimiento de Tepetzotlán y C. Izcalli	91
Foto 9. Obstrucción del paso del agua pluvial sobre cunetas	113
Foto 10. Secciones entubadas obstruidas	113

Índice de figuras

Figura 1. Ubicación geográfica de Tepetzotlán	13
Figura 2. Colindancias del municipio de Tepetzotlán	13

Figura 3. Enlace de variables	19
Figura 4. Desarrollo de un diagnostico	22
Figura 5. Distribución del agua	31
Figura 6. Esquema de recarga hídrica	39
Figura 7. Esquema del proceso de funcionamiento	45
Figura 8. Proceso de consumo hídrico	46
Figura 9. Proceso de retroalimentación hídrico	47
Figura 10. Esquema de distribución del agua	104
Figura 11. Perfil vial	113
Figura 12. Esquema de recarga	114
Figura 13. Perfil topográfico de la colonia San Mateo Xoloc	117
Figura 14. Esquema de funcionamiento de la planta situada en la colonia San Mateo Xoloc	119

Índice de tablas

Tabla 1. Diagrama de flujo del proceso metodológico	53
Tabla2. Perfil geológico de zona	71
Tabla 3. Perfil geológico de zona	73
Tabla 4. Perfil Edafológico de zona	75
Tabla 5. Crecimiento de Tepetzotlán y Cuautitlán Izcalli 1980 – 2010	84
Tabla 6. Población económicamente activa 2017	86
Tabla 7. Producto interno bruto (millones de pesos)	87
Tabla 8. Unidades económicas de Tepetzotlán y Cuautitlán Izcalli	88
Tabla 9. Incremento de viviendas en el periodo 1990 – 2015	88
Tabla 10. Viviendas que cuentan con servicios – 2015	89
Tabla 11. Viviendas que cuentan con servicio de agua – 2015	98
Tabla 12. Fuentes de agua del municipio de Tepetzotlán	99
Tabla 13. Viviendas que cuentan con servicio de drenaje – 2015	103
Tabla 14. Distribución del agua	105

Tabla 15. Crecimiento de la demanda hídrica	106
Tabla 16. Análisis FODA	108
Tabla 17. Esbozo de evaluación (objetivos, estrategias y líneas de acción)	110

Índice de planos

Plano 1. Topografía y pendientes	70
Plano 2. Geología	72
Plano 3. Edafología	74
Plano 4. Permeabilidad de los suelos	76
Plano 5. Hidrología	77
Plano 6. Acuíferos del Estado de México	78
Plano 7. Extracción de aguas subterráneas	79
Plano 8. Déficit de agua en aguas subterráneas	80
Plano 9. Clima de Tepotzotlán	81
Plano 10. Concentración de población	85
Plano 11. Proyección del crecimiento urbano de la ZMVM	90
Plano 12. Crecimiento urbano	92
Plano 13. Uso del suelo zona centro y suroeste	93
Plano 14. Uso del suelo zona centro y este	94
Plano 15. Uso del suelo zona centro y este	95
Plano 16. Interconexión de vialidades	97
Plano 17. Infraestructura hidráulica de Tepotzotlán	100
Plano 18. Estructura sanitaria	102
Plano 19. Plano síntesis	107
Plano 20. Estrategia de recolección de aguas pluviales	116
Plano 21. Estrategia de recolección de aguas residuales	118
Plano 22. Estrategia de tratamiento, potabilización e inyección	120

INTRODUCCIÓN

Uno de los factores principales que rigen actualmente el desarrollo en las ciudades, y que en un futuro serán ejes principales para desarrollo de las urbes y comunidades es el tema del agua. Establece grandes desafíos para las administraciones públicas y la sociedad, en cuanto al abastecimiento de la misma, por lo que cada vez genera un mayor reto en el suministro y su distribución. México tiene grandes fuentes de agua, sin embargo, el aumento de territorio y su población son un parte aguas para el sostén de las fuentes subterráneas, por lo que el suministro local se torna mas complicado para atender tal demanda, implicando grandes distancias para la dotación de las ciudades.

El presente trabajo de investigación consiste en para evaluar áreas urbanas, ubicar y plantear sistemas compactos de recuperación de agua residual generada por los espacios habitados, así como la captación de agua pluvial, aprovechando los recursos residuales y naturales para depurarlos, procesarlos, y canalizarlos hacia el subsuelo, por lo que este documento se estructura en seis secciones, Capítulo I: Planteamiento del problema; Capítulo II: Marco teórico – conceptual; Capítulo III: Marco metodológico; Capítulo IV: Marco jurídico; Capítulo V: Análisis y diagnóstico del sitio; Capítulo VI: Propuesta de zonificación para la recuperación y recarga artificial del acuífero en áreas urbanas, más conclusiones y recomendaciones.

Los objetivos y estrategias están encaminadas a la valoración de suelos aptos para la recarga de acuíferos, la instauración de un sistema de recolección de las aguas residuales mediante el reúso de los recursos consumibles y renovables como puede ser el agua y su inyección artificial, así como el aprovechamiento de la infraestructura para la recolección de agua de lluvia.

Capítulo

Planteamiento del problema



Capítulo I. Planteamiento del problema

En la actualidad las altas concentraciones poblacionales han obligado a generar una creciente ocupación de espacios para habitar, ocasionando el desplazamiento de su uso de suelo actual y por consiguiente un desbalance en el entorno urbano y ecológico; el proceso de urbanización conlleva a una amplia extensión de superficie pavimentada y la reducción de la infiltración, la eliminación de la vegetación natural que intercepta la precipitación, así como la desaparición en el suelo donde se almacena el agua precipitada, afectando la interrupción de equilibrio hídrico natural como lo es la recarga de acuíferos, en consecuencia se produce un cambio climático.

Atendiendo los nuevos modelos sustentables en apego a La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, en sus objetivos números 6 y 11, que presenta una visión ambiciosa del desarrollo, sostenible e integra sus dimensiones económica, social y ambiental. Esta nueva Agenda es la expresión de los deseos, aspiraciones y prioridades de la comunidad internacional, La Agenda 2030 es una agenda transformadora, que pone a la igualdad y dignidad de las personas en el centro y llama a cambiar nuestro estilo de desarrollo, respetando el medio ambiente, para realizar el cambio y la prevención de desastres por eventos naturales extremos, así como la mitigación y adaptación al cambio climático, debido a la constante modificación de la naturaleza en lo referente a los ciclos hidrológicos, los cuales influyen en los acuíferos que recorren a lo largo de la República Mexicana y que han presentado una degradación en sus niveles de agua, generado un problema de abastecimiento en diversas zonas del país, siendo los estados de Sonora, Chihuahua, Coahuila, Durango, Zacatecas, Guanajuato, Querétaro, Ciudad de México y Estado de México, los que mayor riesgo de sobre explotación tienen en sus aguas subterráneas; reflejo de lo anterior, es una realidad lo que ha venido presentándose en la zona norte de esta gran megalópolis en los municipios de Cuautitlán Izcalli, Cuautitlán, Tepetzotlán y Tultitlan; desde 1975 estos municipio contaban con un alto índice de áreas ejidales, para el caso de Tepetzotlán y Cuautitlán Izcalli la totalidad de estas áreas no necesariamente tenían la vocación de cultivo, pero si fungían para la recarga de los acuíferos en su partes altas y medias bajas del municipio, ya que fueron cediendo sus terrenos al ser absorbidos

por el área urbana, la cual crece a un ritmo acelerado, partiendo del sismo de 1985, fecha en que el gobierno central decidió encaminar la planeación hacia las afueras de la zona norte, partiendo como centro de origen del entonces Distrito Federal.

Actualmente el municipio de Tepetzotlán está presentando un alto crecimiento, motivado por la saturación de vivienda que presenta Cuautitlán Izcalli, municipio que al día de hoy esta conurbado con Tepetzotlán, en este sentido el tema del agua se ha presentado como un punto central para las presentes administraciones debido a la alta demanda habitacional, lo que implica un mayor compromiso de abastecimiento y uso del agua, tanto como la suministrada por extracción de pozos como por el sistema Cutzamala, así también la importancia de su desalojo y tratamiento, el agua con la que se cuenta actualmente es considerada para un determinado número de habitantes y colonias; el crecimiento urbano requiere de una factibilidad en cuanto a cantidad de aguas se refiere, el no tener la cantidad necesaria implica que se considere el desvío de la dotación de agua de las propias colonias del municipio, la cual está destinada para otras áreas ya urbanizadas, generando situaciones de abastecimiento de agua por tres o cuatro días, e incluso en colonias que no son de importancia para los municipios hasta de casi una semana. Así bien sin adentrar mucho el tema del agua como medio para generar un punto de asentamiento a urbanizar, este representa un equilibrio social y político, en donde la sociedad a falta del vital líquido genera un deterioro urbano, ya que en esencia es un servicio que no puede faltar para las actividades cotidianas como son manutención, limpieza, riego, etc.; de continuar con el patrón actual de consumo, hace necesario transformar el paradigma de desarrollo urbano dominante en su limitación territorial, a uno que nos lleve por la vía del desarrollo sostenible, inclusivo y con visión de largo plazo, enfatizando un cambio a los modelos de obtención de agua, abatiendo la disminución de los acuíferos subterráneos, mediante la recarga artificial de agua tratada.

Es por ello que atendiendo los objetivos de Desarrollo Sostenible 6 y 11 de la agenda 2030 correspondientes a Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos, así como Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros,

resilientes y sostenibles, se busca un nuevo enfoque en el desarrollo urbano de las ciudades con objeto de equilibrar los recursos de consumo por la sociedad.

1.1.- DELIMITACIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL

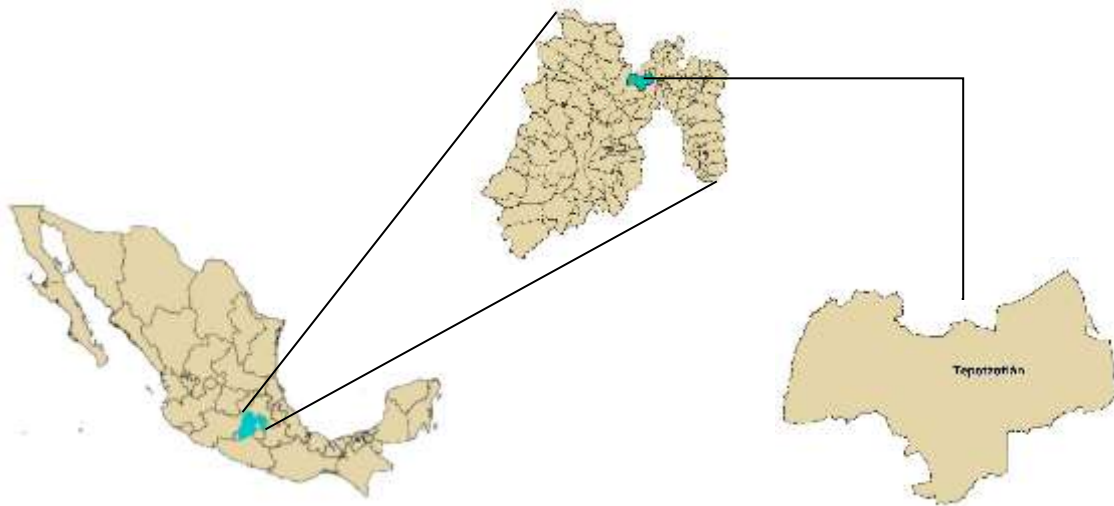
El municipio de Tepotzotlán se ubica a la altura del kilómetro 42.5 (antes de la caseta de peaje) de la autopista México-Querétaro. Con coordenadas entre los paralelos 19°39' y 19°47' de latitud norte; los meridianos 99°12' y 99°25' de longitud oeste. Con una altitud que varía entre 2 200 y 3 000 m. la cabecera municipal es de 2 300 msnm. Su distancia aproximada a la capital del estado es de 115 km. Así mismo la extensión del Municipio es de 207.12 km² que representa el 0.93% del territorio estatal, por lo que se ubica en el lugar 41 del estado. (figura 1) (Tepotzotlán, 2019, pág. 79)

El municipio de Tepotzotlán perteneciente a la Región XIV, se localiza al norte del Estado de México y la conforman los municipios de Coyotepec, Jaltenco, Melchor Ocampo, Nextlalpan, Teoloyucan, Tepotzotlán y Tonanitla.

Sus colindancias son (figura 2):

- Al norte con los municipios de Huehuetoca y Zumpango.
- Al sur con los municipios de Cuautitlán, Cuautitlán Izcalli, Nicolás Romero y Tultepec.
- Al oriente con el municipio de Tecámac.
- En tanto que al poniente limita con el municipio de Villa del Carbón.

Figura 1. Ubicación geográfica de Tepetzotlán



Fuente: Elaboración Propia apoyado en los datos cartográficos del INEGI



Figura 2. Colindancias del municipio de Tepetzotlán

Fuente: Elaboración Propia apoyado en los datos cartográficos del INEGI

La investigación se realiza de agosto del 2019 a agosto del 2020 y comprende del año 1980 al 2030, respondiendo a los censos de población y vivienda conforme a los periodos censales.

1.2.- JUSTIFICACIÓN

La importancia de este proyecto de investigación busca la innovación del aprovechamiento del agua que día con día se consume en las áreas urbanas y que el desecho de la misma no se procesa adecuadamente a las necesidades de consumo su crecimiento urbano, aportando un esquema de cómo hacer reuso del agua y utilizarla para la recarga de los acuíferos, tomando en cuenta la selección de puntos urbanos y lugares donde sea factible su recarga artificial, para con ello presentar una visión futura de lo que se puede hacer con este recurso una vez ya utilizado, de igual manera ante la problemática de escasez del mismo presentado por el propio crecimiento de las zona urbana, y sin dejar a un lado el agua pluvial en cuanto a su aprovechamiento y utilización para su incorporación al sistema de recarga, mediante la conducción mediante drenes separados de la red municipal hacia a la planta para su tratamiento.

Instaurar procesos de tratamiento y potabilización de manera simultánea para la recarga artificial de los acuíferos, para el buen funcionamiento de las zonas urbanas ya establecidas y para los nuevos desarrollos urbanos.

Para lograr un mayor aprovechamiento para la población de Tepotzotlán será necesario contar con un mayor caudal en el mediano plazo que también beneficiará, a otras zonas urbanas y localidades aledañas, creando excedentes de agua en zonas donde no se tiene el suficiente suministro, así mismo mantener lo óptimo posible los niveles del acuífero. Cabe mencionar que los beneficios del tratamiento de aguas previo a su potabilización traen acciones positivas, la reutilización de estas aguas tratadas pueden servir tanto al sector primario (agrícola, pesca, ganadería, granjas) como al sector terciario desarrollado en las zonas urbanas (industria, comercios, doméstico), para generar beneficios ambientales por la reducción del agua contaminada en los ecosistemas.

En México este campo ha sido poco explorado, ya que, según registros, el agua se trata en tan solo un 35 por ciento del total consumido, por lo que el aporte de sustentabilidad y sostenibilidad ampliarán el conocimiento para el reuso del recurso hídrico en las zonas urbanas, que presenten condiciones de alta expansión.

1.3.- HIPÓTESIS

Evaluar el problema de la reducción de los acuíferos subterráneos motivado por la sobreexplotación, mediante un análisis territorial se requiere identificar las áreas aptas para la recarga artificial, para valorar la implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales, pluviales y su potabilización, y aumentar la capacidad hídrica urbanas de la localidad de Tepotzotlán.

1.4.- OBJETIVOS

1.4.1.- Objetivo general

Evaluar el territorio de Tepotzotlán para identificar las áreas aptas para la recarga artificial del acuífero, considerando las condiciones geográficas, demográficas, hidrológicas, geológicas, tipo de suelo y normas específicas, para la propuesta de un método de recuperación de aguas residuales, su potabilización y recarga del acuífero, con ello se mejorará la disponibilidad del recurso para satisfacer las necesidades de las diversas funciones urbanas.

1.4.2.- Objetivos particulares

- Analizar las diferentes posiciones teóricas relacionadas al manejo de la recarga de los acuíferos, que permita dar sustento a la investigación.
- Identificar las diferentes normas legales federales y municipales referentes al recurso hidráulico, para la viabilidad legal de la propuesta.
- Evaluar las condiciones geográficas de zona para conocer los puntos de recarga del recurso hídrico y su disponibilidad.
- Evaluar las características geológicas de la zona, definiendo la calidad del subsuelo y su permeabilidad.
- Evaluar las características del suelo y sus condiciones de permeabilidad.
- Analizar las condiciones hidrológicas de municipio, del recurso hídrico pluvial y de captación.

- Identificar la situación demográfica, sus tendencias de crecimiento, y los hábitos de consumo de la población para determinar la relación consumo- extracción-descarga.
- Analizar las características urbanas, en lo referente a los usos de suelos, infraestructura y vialidades para identificar la problemática generada por la falta de espacios para la recarga de agua y por las descargas de aguas residuales.
- Realizar mediante el método estadístico la detección de los puntos con déficit de dotación de agua.
- Proponer un método de recarga artificial del acuífero en áreas urbanas para mitigar los efectos ambientales hídricos, generados por la expansión urbana.

1.5.- DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

Acuífero: Cualquier formación geológica o conjunto de formaciones geológicas hidráulicamente conectados entre sí, por las que circulan o se almacenan aguas del subsuelo que pueden ser extraídas para su explotación, uso o aprovechamiento (CONAGUA, 24-03-2016, pág. 1)

Aguas Residuales: Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos público urbano, doméstico, industrial, comercial, de servicios, agrícola, pecuario, de las plantas de tratamiento y en general, de cualquier uso, así como la mezcla de ellas. (CONAGUA, 24-03-2016, pág. 2)

Agua subterránea: representa una fracción importante de la masa de agua presente en los continentes, bajo la superficie de la Tierra, tanto en el suelo como en el subsuelo. (CONAGUA, 24-03-2016, pág. 2)

Descarga: La acción de verter, infiltrar, depositar o inyectar aguas residuales a un cuerpo receptor (CONAGUA, 24-03-2016, pág. 4)

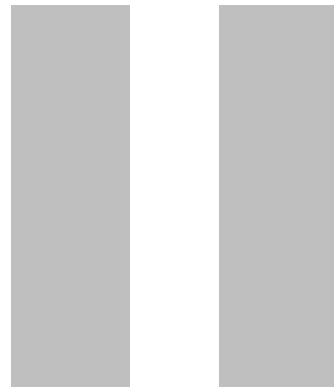
Normas Oficiales Mexicanas: Aquellas expedidas por "la Secretaría", en los términos de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización referidas a la conservación, seguridad y calidad en la explotación, uso, aprovechamiento y administración de las aguas nacionales y de los bienes nacionales a los que se refiere el Artículo 113 de esta Ley. (CONAGUA, 24-03-2016, pág. 6)

Planta de tratamiento: conjunto de sistemas y operaciones unitarias de tipo físico, químico o biológico cuya finalidad es que a través de los equipamientos elimina o reduce la contaminación o las características no deseables de las aguas, bien sean naturales, de abastecimiento, de proceso o residuales.(CONAGUA, 24-03-2016)

Recarga artificial: Conjunto de técnicas hidrogeológicas aplicadas para introducir agua a un acuífero, a través de obras construidas con ese fin. (SEMARNAT, 2018, pág. 297).

Reúso: La explotación, uso o aprovechamiento de aguas residuales con o sin tratamiento previo (CONAGUA, 24-03-2016, pág. 7)

Capítulo



Marco teórico - conceptual

Capítulo II. Marco teórico – conceptual

La importancia de este capítulo es identificar la conceptualización de la sustentabilidad, análisis del territorio, sus procesos de urbanización, así como los procesos de tratamiento del agua, con la finalidad de delimitar los alcances planteados.

1.1.- Sustentabilidad

La sustentabilidad es un término ligado a la acción del hombre en relación a su entorno, y se refiere a los sistemas biológicos, estos pueden conservar la diversidad y la productividad a lo largo del tiempo, así mismo está ligada al equilibrio de cualquier especie en particular con los recursos que se encuentran en su entorno en armonía con la sociedad, el desarrollo, la economía y la política.

Por otra parte la sostenibilidad está muy ligada al concepto de desarrollo, en sí, el desarrollo supone una visión de desarrollo sostenible, sin embargo, muchas veces también se habla de desarrollo sustentable; El desarrollo sustentable sólo se ocupa de la preservación de los recursos naturales, y como afirmamos en el párrafo anterior, garantizar que las futuras generaciones también puedan contar con este tipo de recursos para la satisfacción de sus necesidades. En cambio, el desarrollo sostenible tiene en cuenta además las condiciones sociales, políticas y económicas del conjunto social, por lo cual incorpora la visión humana, para desarrollar y satisfacer sus necesidades, y en ese desarrollo sus acciones sean pro cuidado del ambiente y el entorno natural en el cual vive. (MX., 2013, pág. 1)

Figura 3. Enlace de variables



Fuente: Elaboración Propia.

La importancia de este proyecto, parte de ambas definiciones, al estar ligados por una parte con el balance ecológico, y a su vez, el desempeño en la parte social, política y económica al establecer un mejor desarrollo a las áreas urbanas establecidas, y mayor capacidad para el desarrollo de las futuras áreas urbanas. En los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), acabar con la pobreza es el objetivo más importante,

al hacer esto reducirá muchos problemas que afectan a las personas con menos recursos como la falta de acceso a servicios públicos y servicios de salud y educación, hambre, desigualdad de ingresos, desempleo etc.

La Organización de las Naciones Unidas define el desarrollo sostenible como la satisfacción de las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades. (Informe titulado «Nuestro futuro común» de 1987, Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo), el desarrollo sostenible ha emergido como el principio rector para el desarrollo mundial a largo plazo. Consta de tres pilares, el desarrollo sostenible trata de lograr, de manera equilibrada, el desarrollo económico, el desarrollo social y la protección del medio ambiente. (ONU, s.f., pág. 1) En 1987, se realizó el Informe Brundtland, dentro de la acción de Naciones Unidas, concreta esta acción de sustentabilidad como la capacidad de satisfacer necesidades de la generación humana actual sin que esto suponga la anulación de que las generaciones futuras. (Brundtland, 1987, pág. 55)

La degradación medioambiental, considerada en primer lugar como un problema que atañe principalmente a las naciones ricas y como un efecto secundario de la riqueza industrial, se ha convertido en una cuestión de supervivencia para las naciones en desarrollo. Se trata de parte de la espiral descendente de un declive ecológico y económico conjunto en el que se encuentran atrapadas muchas de las naciones más pobres. (Brundtland, 1987, pág. 12)

Desarrollo sustentable urbano, es una tendencia de pensamiento que ve al fenómeno urbano, como la evolución del espacio con base a una planeación integral de forma holística, que implica una adecuada vida actual de la población dentro de un razonado mantenimiento y regeneración del patrimonio de los recursos naturales y sociales – culturales, del sitio urbano del emplazamiento geográfico. (Cardona, 2005, pág. 4)

1.2.- Análisis territorial

La actividad de planificación es un fenómeno antiguo, cuyo origen podría encontrarse en el período de las primeras comunidades nómadas que se transformaron en sedentarias, alrededor de 10.000 años A.C. (Morris, 1972). La ocurrencia periódica de ciertos fenómenos naturales, tales como son la siembra y cosecha asociados a lluvias, migraciones de animales, elevación de los cauces de los ríos, cosechas y otros factores, son patrones de comportamiento de las variables que afectaban la vida comunitaria, encontrando regularidades que podían configurarse como formas previsibles de entender el futuro y, por tanto, anticiparse a este, en un ámbito de mayor complejidad. Estas primeras expresiones del fenómeno estaban estrechamente relacionadas con el uso del territorio y buscaban controlar la naturaleza en virtud de la necesidad de supervivencia de la comunidad. En ese marco surgieron expresiones de formas de ordenamiento territorial reflejadas, por ejemplo, en asuntos como la localización de las aldeas, el acceso al agua, el uso alternativo del suelo para vivienda, agricultura, pastoreo y disposición de los residuos, entre otros. (Sandoval, 2014, pág. 11)

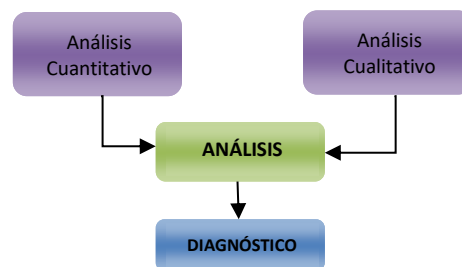
Como una necesidad de la mejora continua se desarrollan métodos y procedimientos para la obtención de datos de un país, región o localidad, mediante los estudios de Análisis Territorial Integral, la cual es una técnica que se puede utilizar para crear un futuro favorable y ayudar al territorio a que prospere. El Análisis Territorial Integral no sustituye las actividades de gestión tradicionales, tales como presupuestar, planificar, marketing, realizar informes y controles. Más bien integra estas actividades en un contexto más amplio, tomando en cuenta el medio externo, las capacidades organizativas internas, el fin y la dirección de su organización. (Dietsch, 2006, pág. 17)

Así mismo es la práctica que, institucionalizada como requisito indispensable de todo plan por la *Town and Country Planning Act* en 1947 y trasladada como concepto al marco legislativo estatal, se considera imprescindible para alcanzar el conocimiento suficiente sobre las características y condicionantes del territorio, detectar sus problemas y oportunidades y plantear posibles alternativas

de planeamiento ajustadas a la realidad territorial y basadas en una justificación científico técnica proporcionando a la planificación una estructura lógica.

Michel Schlaifer Asesor Clima, Desarrollo sostenible y Convenio de cooperación Francia – CEPAL y Laurent Dietsch pertenecientes a la Facultad de Ciencia, Tecnología y Ambiente, definen como parte inicial de un análisis territorial la importancia de hacer el reconocimiento de los tipos de enfoque, con cual deseamos trabajar o se apega mejor al tipo de investigación territorial a realizar, estos enfoques se presentan en dos vertientes, por un lado; EL ENFOQUE DESCENDENTE ("TOP DOWN" O EXÓGENO) En este enfoque se decide “desde arriba” qué ha de hacerse. Cubre frecuentemente aspectos sectoriales y se constituye en “simples ayudas” a los beneficiarios, en lugar de incitar a los actores locales (promotores de proyectos) a que se doten de las competencias necesarias para realizar acciones en tanto que actores-autores, y así asumir el futuro del territorio. Por otra parte, tenemos EL ENFOQUE ASCENDENTE ("BOTTOM UP" O ENDÓGENO) Este enfoque se basa en la percepción global del desarrollo territorial (más allá de las divisiones temáticas o sectoriales clásicas), y en el enfoque transversal (relaciones y sinergias entre los sectores de actividad), y sobre todo, apoyándose en los actores locales, sus necesidades, sus deseos, sus energías. Este enfoque permite asimismo tomar como punto de partida los “recursos locales” (económicos, humanos, culturales, medioambientales...) para decidir colectivamente las orientaciones y las acciones a realizar. (Dietsch, 2006, pág. 17). Como parte inicial de un estudio territorial debe tomarse en cuenta el flujo de información que requerimos (figura 4) esta se puede de carácter cuantitativo, cualitativo o ambas, y posterior mente perfilar un análisis general para la obtención de un diagnóstico.

Figura 4. Desarrollo de un diagnostico



Fuente: Elaboración propia

Se trabaja el diagnóstico partiendo de un análisis, que constituye hoy en día una parte necesaria del proyecto territorial. Sus funciones son analizar la situación actual en términos de fortalezas/debilidades, amenazas/oportunidades (resultados del pasado) y de identificar los problemas a resolver con vistas a orientar la acción con una máxima eficacia.

Los aspectos cuantitativos y cualitativos forman parte del inicio de un análisis, pero estos dos aspectos de revisión presentan características particulares cada uno de ellos y sirven para la recopilación de la información, los cuales veremos a continuación:

El enfoque cualitativo busca principalmente la “dispersión o expansión” de los datos e información, Mientras que el enfoque cuantitativo pretende “acotar” intencionalmente la información (medir con precisión las variables del estudio). Mientras que un estudio cuantitativo se basa en investigaciones previas, el estudio cualitativo se fundamenta primordialmente en sí mismo. El cuantitativo se utiliza para consolidar las creencias (formuladas de manera lógica en una teoría o un esquema teórico) y establecer con exactitud patrones de comportamiento de una población; y el cualitativo, para que el investigador se forme creencias propias sobre el fenómeno estudiado, como lo sería un grupo de personas únicas o un proceso particular. (Sampieri, 2014, pág. 43)

Ambos tipos de análisis pueden abarcar una variedad de temas recurrentes y fundamentales para la aplicación dentro de un análisis territorial, por lo que he aquí un concentrado de estos temas los cuales se avocan en función del estudio a realizar.

INVENTARIO CUANTITATIVO: centrado en temas recurrentes y fundamentales:

El territorio en su entorno regional:

- Ubicación con respecto a núcleos urbanos
- Acceso a vías de comunicación
- Dinámicas de los territorios vecinos

Características generales del territorio:

- Superficie, geografía, topografía, clima...

- Usos del suelo
- Vías de comunicación (carreteras, ferrocarriles, marítimas, aéreas)
- Relaciones con los territorios vecinos

Dinámica demográfica

- Evolución de la población
- Equilibrio natural y migratorio
- Pirámide poblacional
- Mano de obra
- Población activa
- Desempleo

Clasificación socio-profesional:

- Distribución de las categorías socio-profesionales,
- Ingresos

La vivienda:

- Los tipos de viviendas por categorías sociales
- La vivienda sin habitar
- La vivienda social
- Ubicación, propiedad
- Los permisos de construcción

Las actividades y el empleo:

- Reparto del empleo en los distintos sectores:
 - Agricultura, bosques
 - Construcción
 - Industria
 - Servicios destinados a la venta
 - Servicios no destinados a la venta
- Características de cada sector de actividad:
 - Número de empresas
 - Tamaño
 - Ubicación
 - Producción
 - Volumen de negocio, resultados
 - Edad de directivos de empresa
 - Tasa de crecimiento
- La cualificación
 - Los niveles de formación
 - Adaptación local del empleo / la formación

La actividad social y cultural:

- La actividad asociativa
- La actividad cultural
- Las actividades deportivas

El entorno y la calidad de vida:

- Calidad de los lugares
- Calidad del agua, de los ríos y de los paisajes
- Patrimonio arquitectónico
- Medioambiente

Los servicios dotacionales

- Educación primaria y secundaria
- Correos
- Servicios de salud: hospitales, servicios a domicilio, médicos, farmacéuticos
- Transportes
- Centros de servicios integrados
- Dotaciones culturales
- Redes de saneamiento
- Gestión de residuos

La organización territorial:

- Polos de atracción
- Organización municipal
- Capacidad financiera de los colectivos locales
- Estructuración intermunicipal
- Experiencias de desarrollo local

INVENTARIO CUALITATIVO: para establecer un diagnóstico elocuente del territorio, es necesario completar la parte Cuantitativa con las opiniones y los puntos de vista de las autoridades locales en cuanto a la situación futura de su territorio. esto es esencial para el planteamiento de desarrollo local. Para captar el interés de los actores locales, pregúnteles y tenga en cuenta cuáles son sus opiniones y sugerencias. Más aún, al combinar distintos puntos de vista, encontrará puntos de acuerdo y de desacuerdo con claridad, y esto permitirá tener una perspectiva global del territorio.

Los puntos de vista de los actores locales: guión de entrevistas

Recoger las opiniones de actores locales permite complementar el análisis cuantitativo basado en datos estadísticos, aportando elementos adicionales que permitan comprender las dinámicas y las estrategias de locales.

Antes de esto, es necesario definir la muestra poblacional a entrevistar, y preparar un cuestionario. Muestra de personas recurso: ya que las entrevistas aportan datos cualitativos, la muestra de población no tiene por qué establecerse conforme a los criterios utilizados en estudios y encuestas de opinión (clasificación socio profesional, edad, sexo, etc....).

Es preferible identificar qué actores tienen un papel clave en la dinámica del territorio y encontrar distintas opiniones, políticas, socio profesionales, asociativas, culturales... - implicadas en o ajenas a las dinámicas de desarrollo.

El cuestionario: se puede organizar en torno a tres ejes, incluyendo el pasado, el presente y el futuro del territorio:

Durante los últimos 20/30 años, ¿cuáles han sido las principales evoluciones del territorio? ¿Cuáles tuvieron éxito? ¿Cuáles no tuvieron éxito? ¿Qué elementos desencadenaron dicho fracaso? ¿Por qué?, ¿Cuáles son los puntos fuertes y los puntos débiles del territorio a día de hoy? ¿Cuáles son las posibles amenazas y oportunidades?, ¿Cómo cree que será el territorio dentro de 20/30 años? ¿Cuáles son sus expectativas para el territorio? ¿Cuáles son sus temores? ¿Qué proyectos se deberían desarrollar?

Ya procesada la información de los aspectos cuantitativo y cualitativo se trabaja el diagnóstico partiendo de un análisis, que constituye hoy en día una parte necesaria del proyecto territorial. Sus funciones son analizar la situación actual en términos de fortalezas/debilidades, amenazas/oportunidades (resultados del pasado) y de identificar los problemas a resolver con vistas a orientar la acción con una máxima eficacia.

El Diagnóstico del Territorio incluye un análisis del medio interno y externo, se centra en el presente y en el futuro, identifica las tendencias, los sucesos y los principales agentes y la evaluación de la información en términos de probabilidad, inmediatez y posibles efectos.

1.3 Proceso de urbanización

Las tasas de urbanización de los países subdesarrollados son mayores que las de los países industrializados, algunos de los cuales han alcanzado niveles de urbanización tan altos que su grado de urbanización no puede aumentar sino lentamente. (Unikel, 1968, pág. 3)

La urbanización es un proceso complejo que se manifiesta a través de dos grandes fenómenos: el primero y más patente de ellos corresponde a la creciente concentración de la población urbana, que opera a través del crecimiento de las localidades urbanas existentes y del surgimiento de nuevas localidades urbanas. El segundo, más difícil de definir, consiste en la evolución de la forma de vida de la población, de un tipo tradicional-rural a otro moderno-urbano. (Unikel, 1968, pág. 1)

El urbanismo ha perdido su carácter reactivo, pero no ha conseguido pasar a ser proactivo y presentar una visión de futuro interesante que implique a la sociedad en su desarrollo, la gran diversidad de pueblos y ciudades que componen nuestro entorno habitado ha manifestado desde su origen un perfil semejante: entes discretos, escala local de funcionamiento, variedad de tipologías arquitectónicas, estructura compleja y articulada y una red de espacios urbanos singulares que cualificaban el espacio público.. (Palenzuela, 2012, pág. 34)

La suburbanización o ciudad difusa responde al mismo esquema de zonas unifuncionales y áreas especializadas, con el agravante de su vinculación a sistemas intensivos de transporte. Presentan un perfil homogéneo de ciudadanos. El arraigo ya no se produce por identificación con el territorio. El paisaje se empieza a poblar con estas zonas comerciales y residenciales de baja densidad orientadas al automóvil. La industria ya ha dejado hace tiempo el centro de la ciudad y las actividades de alto

valor añadido, asociadas al conocimiento y la tecnología, con frecuencia se sitúan fuera de la ciudad: Parques Tecnológicos, Universidades, centros de investigación y de actividad económica abandonan el centro urbano en busca, como todos los demás usos, de suelo barato, accesibilidad por carreteras aún no congestionadas, aparcamiento in situ y espacios de mayor calidad ambiental que los urbanos. (Palenzuela, 2012, págs. 34, 35)

El crecimiento poblacional de México a lo largo del siglo XX atestiguó tres grandes fases que se relacionaron con la evolución económica del país, concentración de la población en áreas urbanas y distribución territorial de los asentamientos humanos. La primera fase abarcó el período 1900-1940, en donde la población total aumentó de 13.6 a 19.7 millones de habitantes, con una tasa de crecimiento promedio anual (TCPA) de 0.9 por ciento; este escaso dinamismo demográfico fue producto de la conjunción de una alta tasa de natalidad y significativa tasa de mortalidad. El grado de urbanización se elevó de 10.6 a 20.1 por ciento.¹ El desarrollo nacional en estos cuarenta años se caracterizó por la ruptura del modelo liberal de crecimiento económico, el movimiento revolucionario y la emergencia del nuevo Estado nacional. La segunda fase ocurrió durante las cuatro décadas siguientes, 1940-1980, y se enmarcó en un modelo de desarrollo orientado hacia la sustitución de importaciones, protección comercial y atención del mercado interno; con ello se lograron importantes tasas en el crecimiento de la riqueza nacional. En estos 40 años, la población se incrementó de 19.7 a 66.8 millones, con una TCPA de 3.1 por ciento; tal expansión demográfica obedeció a la permanencia de una alta tasa de natalidad y una drástica caída en la de mortalidad. La política económica de sustitución de importaciones y la inversión pública federal favorecieron la concentración de la población en áreas urbanas, algunas de las cuales rebasaron sus límites político-administrativos para iniciar procesos de conformación metropolitana (Negrete y Salazar, 1986; Unikel, Ruiz y Garza, 1978:115-152). El grado de urbanización se elevó de 20.1 a 51.8 por ciento. La expansiva urbanización fue resultado del crecimiento natural (nacimientos menos defunciones) y la masiva migración interna desde áreas rurales hacia zonas urbanas. La distribución territorial de la población urbana se caracterizó por su concentración hacia la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), cuyo monto demográfico ascendió de 1.5 millones de habitantes en 1940 a 14.5

millones en 1980, con lo que su participación con respecto a la población total del país pasó de 7.8 a 21.6 por ciento. (Sobrino, 2011, pág. 1)

La tercera fase comenzó en la década de los ochenta, fecha en la cual ocurrió también un cambio obligado en la estrategia de crecimiento económico, debido al agotamiento del modelo de sustitución de importaciones y desbalance en las finanzas públicas. El nuevo modelo económico asumió las recomendaciones dictadas por el Fondo Monetario Internacional y se orientó hacia la apertura comercial y menor peso del Estado en funciones económicas. Entre 1980 y 2010 el volumen demográfico del país se elevó de 66.8 a 112.3 millones de habitantes, con una T CPA de 1.7 por ciento. El descenso en el dinamismo de la población, con respecto a la fase anterior, se explica por la consolidación de la última etapa en el modelo de transición demográfica, es decir la caída significativa en la tasa de natalidad y una baja tasa de mortalidad, así como por el repunte de la migración internacional, especialmente hacia Estados Unidos; a principios de los ochenta el saldo neto migratorio del país hacia el extranjero era de poco menos de 200 mil personas al año, monto que ascendió a cerca de 600 mil para los primeros años del nuevo milenio. (Sobrino, 2011, pág. 6)

1.3.1 Patrones de la urbanización en México, 1980-2010

Entre 1900 y 2010 la población urbana del país se multiplicó 55 veces al pasar de 1.4 a 79 millones de habitantes. El comportamiento gráfico del grado de urbanización simuló una “s” alargada, mostrando mayor pendiente durante el periodo 1940-1980, por lo que este periodo se caracterizó por el mayor avance

Grafica I. México: grado de urbanización, 1900-200



Fuente: cálculos elaborados con datos de los censos generales de población y vivienda.

en la urbanización del país en toda su historia (gráfica 1). Esta representación gráfica de “s” alargada en el grado de urbanización ha sido evidenciada por la mayoría de las naciones del planeta: Karl Davies

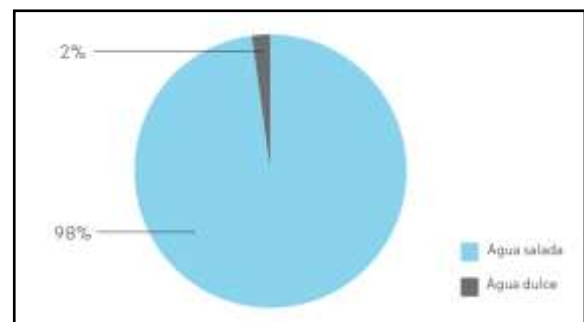
fue el primero en proponerla para los países desarrollados (Davies, 1969), denominándola curva de urbanización o curva logística, y más tarde Alan Gilbert la confirmó para las naciones en desarrollo (Gilbert, 1993). El grado de urbanización está asociado al crecimiento natural y social en las áreas urbanas, como también por el aumento en el número de dichas localidades. La población urbana se distribuye entre un conjunto de localidades, que conforman el sistema urbano nacional, las cuales son de diferente tamaño y van en un continuum desde pequeñas ciudades, ciudades intermedias y de gran tamaño. Para el caso mexicano, las ciudades pequeñas son aquellas con población entre 15 y 99 mil habitantes; las intermedias oscilan entre 100 y 999 mil habitantes, mientras que las grandes, o millonarias, contienen un millón o más de habitantes (Poder Ejecutivo Federal, 1989; Ruiz, 1989). (Sobrino, 2011, pág. 2)

La población urbana se multiplicó 55 veces entre 1900 y 2010, pero el número de áreas urbanas se elevó apenas 12 veces, de 33 a 399, lo que significa que el tamaño promedio de las ciudades se incrementó paulatinamente. En 1900, sólo dos ciudades (México y Guadalajara) tenían más de 100 mil habitantes, y la primera, con 345 mil habitantes, concentraba 2.5% de la población total del país. Para 1940, las áreas urbanas se incrementaron a 55, de las cuales cinco eran de tamaño intermedio (Guadalajara, Monterrey, Puebla, Mérida y Tampico), y la Ciudad de México rebasó el millón y medio de habitantes y participó con 7.9% de la población del país. En 1980, el sistema urbano del país incluyó a 223 áreas urbanas, con 54 de tamaño intermedio, Guadalajara, Monterrey y Puebla con más de un millón de habitantes y la Ciudad de México con más de 14 millones de habitantes; esta última concentró 21.6% de la población total del país. Por último, en 2010 el número aumentó a 399, de las cuales 79 eran de tamaño intermedio, diez tenían más de un millón de habitantes (Guadalajara, Monterrey, Puebla, Toluca, Tijuana, León, Ciudad Juárez, Torreón, Querétaro y San Luis Potosí), y la Ciudad de México rebasó los 20 millones de habitantes, es decir 17.9% de la población total del país.

1.4 Captación y tratamiento de agua residual y pluvial en zonas urbanas.

El agua es el vital líquido que garantiza la existencia de la vida en nuestro planeta. Existen millones de seres vivos de los cinco reinos de la naturaleza que habitamos en “armonía” en la Tierra. Sin embargo, los seres humanos somos los únicos responsables de haber modificado los ciclos hidrológicos de nuestros

Figura 5. Distribución del agua.



Fuente: El agua en México, actores, sectores y paradigmas para una transformación social - ecológica

ecosistemas para satisfacer –en la mayoría de las ocasiones– nuestras necesidades de carácter inmediato afectando nuestra calidad de vida a largo plazo y la de millones de especies vivas, olvidando por completo el panorama que nos aguarda. La concepción humana sobre el agua como recurso renovable infinito es muy contradictorio. Si bien es cierto que la Tierra está configurada mayoritariamente por el recurso hídrico, 98% de este líquido es salado y se encuentra concentrado en los océanos. Únicamente el 2% restante (40,000 km³) es de agua dulce. Si desglosamos este escaso 2% de líquido potencialmente bebible, descubriremos que 27,760 km³ (68.9%) de agua dulce disponible en la Tierra está congelada en los polos en forma de glaciares y nieve; 12,112 km³ (30.8%) es agua subterránea y solo 128 km³ (0.3%) es superficial y está localizada en lagos, lagunas, ríos y humedales. (Stiftung, 2017, pág. 6)

A pesar de su escasez, este líquido vital puede ser suficiente para todos los seres vivos que ocupamos el planeta incluyendo a los actuales 7.4 mil millones de consumidores humanos y los que se acumularán en las siguientes dos décadas, antes de que la población se estabilice, hacia 2050, en los 9 mil millones de personas. Pero esta disponibilidad futura del agua no podrá alcanzarse si mantenemos las vigentes formas irracionales de uso de los ecosistemas y el consumo desmedido de la misma (Perevochtchikova, 2016). (Stiftung, 2017, pág. 7)

Los acuíferos, depósitos de agua subterránea con estratos de roca permeable, se están secando, e incluso los expertos del Instituto Internacional para el Manejo del Agua (IWMI), consideran que este

es uno de los más serios problemas con que se enfrenta el manejo del agua. Aun cuando las perforaciones profundas y las bombas de gran capacidad nos hayan permitido obtener agua de acuíferos cada vez más profundos, el consumo mundial del preciado líquido ha aumentado vertiginosamente, cerca de una cuarta parte de la población, mundial utiliza agua subterránea para abastecerse de agua potable. A medida que se extrae agua, los acuíferos agotados se secan y se desploman. En alguno de los barrios de la Ciudad de México el suelo cede unos 30 cm al año, por la excesiva extracción de agua. (Klaus Lanz, 2006, págs. 170, 171 y 172)

En una ciudad, pocas veces conocemos el verdadero origen de los satisfactores necesarios para nuestra supervivencia: la comida se consigue en el mercado o tiendas de autoservicio, el gas lo compramos en los camiones distribuidores o nos llega por tubería y el agua simplemente sale del grifo al abrir este. Y cuando el agua no sale, llamamos a “alguien que resuelva el problema”. Una ciudad no nos deja ver la gravedad del problema en que se está convirtiendo la escasez del agua. Solo la percibimos cuando nos afecta directamente. Sin embargo, el problema existe. No podemos seguir ignorando el hecho de que cada día nos enfrentaremos a una progresiva disminución de las principales fuentes de agua dulce que son utilizadas para abastecer a las ciudades, y no podemos esperar a que las autoridades resuelvan el problema de abastecimiento de manera unilateral, pues ya es un problema que rebasa las capacidades de sólo una instancia.

La humanidad se ha dado a la tarea de inventar nuevos métodos que mitiguen el deterioro ambiental, enfocando su ingenio en diversas disciplinas, y particularmente una que siempre ha preocupado es la parte hídrica, innovando nuevos sistemas para obtener y recuperar la mayor cantidad de agua posible para el desarrollo de zonas urbanas, sistemas como la captación de lluvia, separación de aguas y la recarga artificial de los acuíferos, en algunos países forman ya parte de la una cultura urbana sustentable. Los estudios de la captación de agua de lluvia cada vez son más comunes a nivel mundial, en países de todo el mundo como Australia, Japón, Corea, Nigeria, Nueva Zelanda, Brasil y China, utilizando métodos más dirigidos hacia la sustentabilidad urbana.

La colecta de agua en zonas rurales, los techos y muros verdes, los escusados y regaderas ahorradores de agua, los adoquines permeables de agua que pueden sustituir el asfalto, son algunas de las tecnologías que se han desarrollado en los últimos años para afrontar el manejo del agua. Curiosamente, todas estas tecnologías también se venden como las que van a solucionar los problemas y de hecho en muchos casos la palabra “sustentabilidad” está asociada a este tipo de tecnología que es solo una parte del gran sistema socioambiental. En otras palabras, la mercadotecnia ha logrado posicionar a estas tecnologías -que además son económicamente redituables para sus promotores como la ruta a la sustentabilidad- cuando en realidad son solo una pequeña pieza de la dinámica compleja que se genera en los sistemas socioambientales, pero que incluso pueden generar el efecto contrario. Por ejemplo, los muros verdes se venden como la respuesta ecológica a una construcción que está afectando el bosque y la provisión de agua. En realidad, el muro verde no solo no sustituye lo que se genera dentro de la dinámica de un bosque destruido, sino que es necesario darle mantenimiento, lo cual aumenta la huella de agua y de energía de los humanos. Finalmente, un muro verde puede generar la impresión de que es factible destruir zonas naturales puesto que estas estructuras son las verdaderamente sustentantes. En otras palabras, un muro verde en lugar de llevar a la sustentabilidad puede promover más la destrucción de la naturaleza, que es lo que genera la resiliencia en el sistema y, en consecuencia, la sustentabilidad deseada. (Stiftung, 2017, pág. 54)

Desde hace miles de años la captación de agua de lluvia era práctica común para muchos pueblos, pero en nuestra época dicha práctica ha sido sustituida por el suministro de agua de las instituciones de gobierno, por medio de las redes municipales o públicas de agua potable que la conducen a los hogares ciudadanos, gracias a un largo e impactante proceso de obtención y tratamiento y a una costosa red de tuberías. Sin embargo, en la ciudad muchas familias no tienen acceso a la red de agua potable y es por otros medios que obtienen el líquido, por ejemplo, tomándola de ríos, por lo regular contaminada, o comprándola a altos costos en los camiones tanques o cisterna, los cuales no siempre tienen los estándares de calidad para transportar el agua potable. (Adler, 2008, pág. 4)

La captación de agua de lluvia es la recolección, transporte y almacenamiento del agua de lluvia que cae sobre una superficie de manera natural o hecha por el hombre. Las superficies que captan el agua en las ciudades pueden ser techos de casas y edificios, techumbres de almacenes y de tiendas, explanadas, etc. El agua almacenada puede ser usada para cualquier fin, siempre y cuando utilicemos los filtros apropiados para cada uso. (Adler, 2008, pág. 4)

Cuando se piensa en la captación de lluvia a nivel urbano, se deben considerar diversos factores para su aprovechamiento direccionado hacia un punto de tratamiento, como son:

- La cantidad de agua que se pretende captar, y que depende de varios factores, tales como el inventario de los elementos físicos existentes para la captación, la precipitación pluvial en la zona, el uso que se le pretende dar al agua y volumen actual de consumo de agua, y el reconocimiento de otras fuentes de suministro en la zona.
- El número de milímetros anuales de lluvia en la zona del proyecto, el cálculo de lluvia máxima durante las tormentas y la duración en meses del periodo de lluvias.
- Superficies de captación, sea de los techos con los que contamos actualmente o bien en su caso, un sistema de red, que permita la captación en áreas urbanas pavimentadas que permita la recolección masiva de lluvia.
- La conducción del agua de lluvia (canales y tuberías), para el envío al punto donde se pretende realizar su proceso.
- Contenedores existentes viables de usarse, como parte de su tratamiento en el proceso de tratamiento.
- El sistema de presentar elementos para garantizar una cierta calidad del agua en el tratamiento, que son los filtros, y otros de mayor complejidad, Los filtros son los elementos más complejos utilizados para la limpieza del agua. Estos se determinan según el consumo que se vaya a realizar con el agua captada. Y deberán cumplirse las normas aplicables para su depuración.

- Desinfección, esta se logra por medio de instrumentos especiales, sobre todo cuando el agua se quiere para ser consumida directamente, es decir se quiere que sea potable.

En las ciudades se tienen zonas consolidadas urbanísticamente, en términos de que cuentan ya con redes de agua potable y con energía eléctrica, existiendo zonas dentro de las ciudades, que no cuentan con estos elementos o solo se tienen parcialmente. En México son pocos los desarrollos que cuentan actualmente con este tipo de sistemas urbanos, dado los costos de inversión que representan, los gobiernos no se han dado a la tarea de pensar en las repercusiones ambientales e incorporar sistemas de sustentabilidad urbana para un futuro. Sin embargo, en ámbitos urbanos es posible y altamente recomendable la instalación de sistemas de captación de agua de lluvia. En cada ámbito se tendrán en cuenta aspectos distintos y la inversión inicial será diferente, pero en todos los casos los resultados contribuirán a mejorar en forma directa la calidad de vida de quien lo utilice, y en forma indirecta: al medio ambiente, al conjunto de la población y a las finanzas de las ciudades.

Es importante considerar el conocimiento de la precipitación pluvial en la ciudad y/o campo, se debe conocer cuanta lluvia se puede esperar en el año o durante la temporada. ¿Cuánta de esta lluvia podemos captar? Los datos de la cantidad de lluvia se pueden consultar en las oficinas de Meteorología en los municipios o gobiernos de las ciudades, en México, la Comisión Nacional del Agua publica un reporte anual, incluyendo medias históricas de varios años, clasificado por estado o por estación de medición.

Por otra parte, al igual que los sistemas de captación de lluvia los cuales vendría a bien ser captados mediante el uso de las redes de alcantarillado urbanas, es aplicado en forma similar para las aguas residuales, con la salvedad de que estas ya cuentan con todo un sistema de redes establecido, las cuales conducen el agua hacia las descargas más cercanas como son los causes naturales (ríos).

El tratamiento de las aguas residuales es relativamente reciente, su inicio data de fines de 1800 y principios del actual siglo, esto se desarrolló como consecuencia de la relación entre contaminación

de los cursos y cuerpos de agua y las enfermedades de origen hídrico, en un principio, el tratamiento se hacía mediante el vertido de las aguas residuales al suelo, pero prontamente la superficie de los terrenos no fue suficiente para absorber cada vez mayor volumen de aguas residuales. En Inglaterra, después de la epidemia del cólera de mitad del siglo XIX, se inició la construcción de los sistemas de alcantarillado, pero el tratamiento de aguas residuales recibió pequeña atención. Debido a lo pequeño de sus ríos en longitud y caudal, la contaminación del agua, pronta se convirtió en un problema. Al principio, el tratamiento estuvo dirigido a evitar problemas con la industria y agricultura más que a los problemas de salud. A fin de evitar estos problemas se idearon y llevaron a la práctica nuevos métodos de tratamiento intensivo, de este modo, se estudió la precipitación química, digestión de fangos, filtración intermitente en arena, filtración en lechos de contacto, aeración de aguas residuales y finalmente en 1912 se desarrolló el proceso de lodos activados. Como ya se comentó anteriormente, las aguas residuales producidas por la actividad diaria del hombre, son recolectadas por el sistema de alcantarillado que lo conduce a la planta de tratamiento de aguas residuales o al punto de disposición final, el caudal de agua residual no siempre tiene un régimen regular durante el día, en el caso de sistemas separativos de alcantarillado, el caudal de agua residual desciende significativamente durante la noche y dependiendo del tamaño de la población servida, el caudal máximo puede alcanzar hasta tres veces el caudal medio diario. Así mismo, cuando el sistema de alcantarillado se diseña para recolectar conjuntamente aguas residuales y aguas de lluvia, se le conoce como combinado. En estos casos el aporte del agua de lluvia puede sobrepasar con amplitud el caudal promedio de agua residual conduciendo a un alto grado de dilución de esta agua residual. (Rojas, 2002, págs. 3, 4 y 5)

En México, podemos darnos cuenta de que en los últimos años se ha incrementado la cobertura de agua potable y alcantarillado para los hogares, sobre todo urbanos, sin embargo, el tratamiento de las aguas usadas por la población no ha aumentado en la misma proporción. Así, mientras se cubre el 90.3% de las necesidades de agua potable en el país, y el 86.4% del alcantarillado, tan sólo el 40.2% de las aguas residuales son tratadas. (CONAGUA,2009) Esto quiere decir que una gran parte de las aguas servidas regresan a los cauces naturales sin ningún tratamiento, contaminando los cuerpos de

agua, cambiando su química y alterando gravemente a los ecosistemas que dependen de ellos. (Virginia, 2010, pág. 4)

A pesar de que la cultura de tratamiento de aguas en México, tiene poco auge, los tratamientos de aguas residuales sean industriales, domésticas o combinadas, la última información publicada disponible que cubre el año 2018, dice que en México existen 2540 plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en operación formal, (CONAGUA, Sistema Nacional de Información de Agua, 2020) repartidas en los diferentes estados que conforman la República.

En lo que respecta a la función de una Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), esta se encarga de realizar la limpieza del agua usada y las aguas residuales para que pueda ser devuelto de forma segura a nuestro medio ambiente, se encarga de eliminar los sólidos, desde plásticos, trapos y vísceras hasta arena y partículas más pequeñas que se encuentran en las aguas residuales, así como reducir la materia orgánica y los contaminantes – bacterias útiles y otros microorganismos naturales que consumen materia orgánica en las aguas residuales y que luego se separan del agua. También restaura el oxígeno – el proceso de tratamiento asegura que el agua puesta de nuevo en nuestros ríos o lagos tiene suficiente oxígeno para soportar la vida. El tratamiento de aguas residuales se realiza básicamente en tres etapas: Tratamiento preliminar y primario, que elimina 40-60% de los sólidos; Tratamiento secundario, que elimina aproximadamente el 90% de los contaminantes y completa el proceso para la parte líquida de las aguas residuales separadas y tratamiento Terciario y eliminación de lodos (biosólidos).

1.5 Recarga Artificial de los Acuíferos

La Hidrogeología se puede definir como la ciencia que estudia las aguas subterráneas en la Naturaleza y sus relaciones con las aguas superficiales y con otras partes del ciclo hidrológico. La designación Hidrogeología se puede tomar como sinónima de la de Hidrología Subterránea. El agua subterránea es una parte esencial del ciclo hidrológico, aunque en general ha sido poco considerada hasta épocas

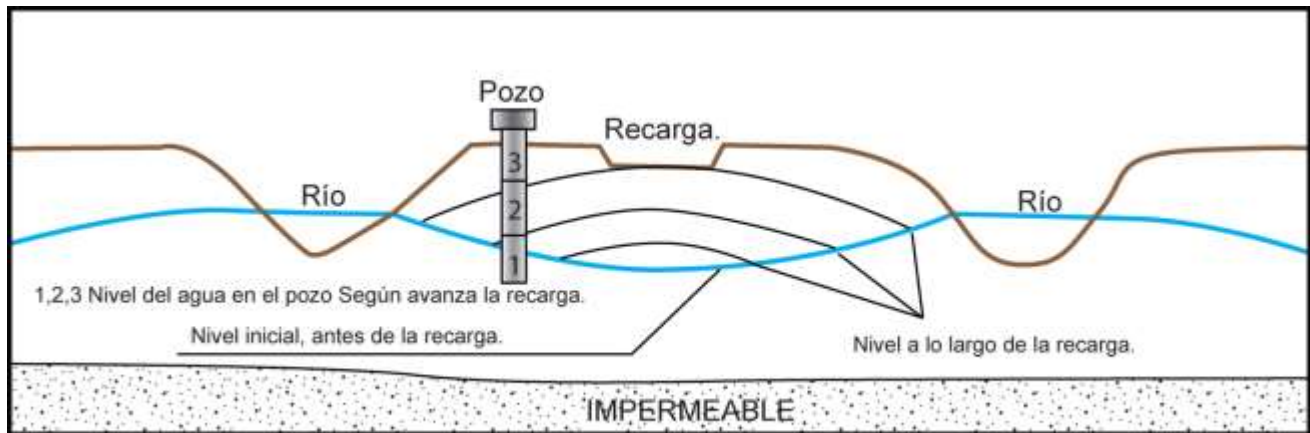
relativamente recientes. Su existencia tiene notables implicaciones geológicas, geotécnicas, edafológicas, ecológicas y de servicios ecológicos y también es una fuente de provisión de agua a las necesidades humanas. (Custodio Emilio, pág. 155)

Como con cualquier otro recurso natural, para que la explotación del agua subterránea sea sustentable, cumpla sus funciones sociales y respete adecuadamente el ambiente, se requiere una gestión apropiada, lo que conlleva un conjunto de aspectos administrativos, legales y sociales que son objeto del derecho y de la sociología. En pocas décadas se ha pasado de utilizar el agua subterránea solo en sus salidas naturales o ser extraída en cantidades pequeñas, a tener un uso generalizado y en ocasiones intensivo, a veces con crecimientos casi exponenciales durante el periodo de desarrollo, de ese uso intensivo se derivan indudables beneficios para el usuario y para la sociedad, pero también conlleva interferencias con las otras partes del ciclo hidrológico y con el ambiente, además de otros aspectos negativos que se traducen en costes a los usuarios y a la sociedad, y pérdidas ecológicas y de los servicios que suministra la Naturaleza. (Custodio Emilio, pág. 156). Actualmente los avances tecnológicos han sido de gran relevancia en la inducción de nuevos sistemas y métodos abocados a la parte hidráulica, con objeto de satisfacer las necesidades de sustentabilidad provocada por las crecientes concentraciones urbanas verticales y de expansión territorial; dado este tipo de situaciones la humanidad ha incursionado desde hace unos 40 años en diversas formas para recuperar los recursos utilizados, implantando en diversos continentes la recarga artificial de los acuíferos o aguas subterráneas, con objeto de mitigar los efectos ambientales y la recuperación del agua.

La recarga artificial de acuíferos puede definirse (Custodio, 1986) como el conjunto de técnicas que permiten aumentar la disponibilidad de aguas subterráneas, con la calidad necesaria, mediante una intervención consciente, directa o indirecta, en el ciclo natural del agua. Y establece como condición necesaria, para plantear operaciones de recarga artificial de acuíferos, la existencia de huecos vacíos en el medio poroso que puedan ser rellenados por el agua de recarga. Asimismo precisa que la efectividad de la recarga es un concepto que se relaciona con la aptitud del conjunto que forman el

medio poroso y agua de recarga para permitir el uso posterior del agua recargada, tanto en la cantidad demandada como en la calidad que requiera el uso al que se destina, y que esa efectividad está estrechamente relacionada con el tiempo de permanencia del agua en el acuífero hasta que, como consecuencia del movimiento debido al flujo, se pierda a través de los controles laterales del mismo. (Murillo Díaz, 2020, pág. 2), en la figura número 1 se observa la representación gráfica de un esquema simple de funcionamiento de recarga artificial y de forma general.

Figura 6. Esquema de recarga hídrica



Fuente: Elaboración propia/ejemplo de funcionamiento de un sistema de recarga.

La recarga artificial pretende contribuir, dentro de una factibilidad técnica, institucional, social y económica, a una gestión más racional del potencial hídrico que presenta una determinada cuenca o sistema de explotación. Los objetivos que persigue generalmente se engloban en dos grandes vertientes: aumento u optimización del volumen del recurso hídrico y la prevención o corrección del deterioro de la calidad del agua, su uso tiene varias aplicaciones como el Almacenamiento subterráneo de escurrimientos superficiales no regulados, Reducción o eliminación del descenso piezométrico², Control de hundimientos, Reducción de costos de transporte, almacenamiento y/o bombeo, Aprovechamiento de las propiedades del suelo y de la zona vadosa como elemento de tratamiento para agua residual tratada y la Dilución del excesivo contenido en nitratos, cloruros u otros constituyentes químicos. (González Fernando, 17, pág. 5)

Para llevar a cabo la recarga artificial, es importante considerar diversos criterios de posicionamiento geográfico, regional, local y geológico. La existencia de sitios y zonas permeables que permitan la infiltración al acuífero mediante pozos y estanques. Estos últimos requieren de una gran superficie, por lo que se realizó hincapié en que las condiciones geológicas de la cuenca impiden la infiltración con este método en prácticamente toda la zona del antiguo lago, pudiéndose realizar sólo en los flancos de las sierras y en la zona norte del Valle (acuífero Cuautitlán Pachuca). (González Fernando, 17, pág. 6), así mismo debe considerarse la existencia de volúmenes de agua disponibles para utilizarse en la recarga. Los volúmenes disponibles en la Ciudad de México corresponden principalmente a las aguas residuales tratadas provenientes de las plantas de tratamiento distribuidas en toda la ciudad, las cuales, en algunos casos, se recomienda se sujeten a un tratamiento adicional para que logren la calidad requerida para la recarga. Otra posible fuente es el agua de lluvia, utilizando dispositivos de captación. (González Fernando, 17), Otra condición necesaria para implementar cualquier tipo de dispositivo encomendado a la recarga artificial es disponer de agua para su infiltración. De manera general, se concluyó que los principales aspectos a considerar son: la localización de los puntos de toma, el caudal disponible y régimen temporal, así como las características de su calidad y variabilidad temporal, identificando dos fuentes principales: por un lado el agua superficial continua (agua fluvial) o discontinua (agua pluvial) y el agua residual tratada, la recarga artificial se puede practicar en cualquier tipo de formación permeable que tenga condiciones para almacenar y transmitir agua. (González Fernando, 17, pág. 9)

En México la incursión de este tipo de procedimientos para la recarga artificial del acuífero mediante la utilización del agua residual tratada ha tenido poco avance; apenas se trabaja para cambiar la reglamentación y operación de la Conagua a fin de asegurar que cada año haya un programa dedicado a la recarga de los mantos acuíferos para evitar hundimientos futuros. Cabe señalar que en la Ciudad de México inició un proceso experimental, *que deberá expandirse a otras zonas*, para recargar con aguas tratadas los mantos acuíferos, se trabaja ya en la recarga artificial del acuífero del **Valle de México** a través de la infraestructura existente, como la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

del **Cerro de la Estrella** y, el próximo año, se incorporará la planta del Bosque de Chapultepec, (Rafael, 2017) misma que a la fecha no se realizó.

En cuanto a las dos plantas de recarga existentes, la primera situada en la Alcaldía Iztapalapa (figura 4) centrada en un punto de alta densidad urbana, puesto que de ahí mismo obtiene el recurso de agua residual necesaria para su tratamiento y disposición para diversos usos, tomando solo una pequeña parte la cual se utiliza para su potabilización con un caudal de 20 lps, considero como un aspecto importante del proyecto informar a la sociedad en general a cerca de sus bondades y la necesidad de demostrar con hechos los beneficios que se tendrían con la recarga del acuífero con agua residual potabilizada.

Foto 1. Ubicación de la Planta de recarga artificial Cerro de la Estrella



Fuente: Elaboración Propia

El comportamiento de la planta, así como la confiabilidad de su producción de agua para recarga ante la sociedad civil, ha sido positivo que la misma lleva ya casi 10 años en operación continua.

Foto 2. Área post tratamiento



Fuente: SACMEX, Sistema de Aguas de la Ciudad de México

Foto 3. Área de infiltración



Fuente: SACMEX, Sistema de Aguas de la Ciudad de México

El segundo proyecto que también forma parte de la cuenca del valle de México, es planta piloto de tratamiento avanzado para la recarga artificial del acuífero, ubicada en Toluca de Lerdo (figura 5), esta procesa 20 lps. y a diferencia de la planta Cerro de la Estrella, esta se alimenta de toda la zona industrial, siendo procesos de tratamiento muy diferentes, pero con la misma finalidad avocada a la recarga de los acuíferos, sin embargo el agua procesada ayuda con el abastecimiento de las zonas urbanas que se encuentran aledañas a la misma zona industrial. El Gobierno del Estado de México, a través de la Comisión del Agua del Estado de México, ha considerado conveniente dar inicio a los trabajos para la recarga artificial del acuífero, con caudales provenientes del efluente, con tratamiento a nivel secundario, de la planta Toluca Norte. El caudal de la planta piloto se inyecta de manera directa al acuífero subyacente. (Korenfeld David, 2011, pág. 9)

Foto 4. Ubicación de la Planta de recarga artificial Toluca - Norte



Fuente: Elaboración Propia

Planta de Recarga Toluca - Norte



Foto 5. Planta de Tratamiento Toluca – Norte.

Fuente: Revista Digital Universitaria



Foto 6. Planta de Recarga Artificial Toluca – Norte.

Fuente: Revista Digital Universitaria



Foto 7. Inyección del agua para recarga Artificial.

Fuente: Revista Digital Universitaria

1.6 Teoría general de sistemas

El concepto de sistema es muy antiguo, los griegos ya planteaban la interacción de objetos de la realidad y como su comportamiento se manifestaba en una totalidad.

Busca formular principios válidos para sistemas en general (antes llamados objetos), sea cual fuere la naturaleza de sus componentes y las fuerzas interactivas o de organización presente en ella. En un sistema, el aumento de conocimientos aumentara las posibilidades de optimización y evolución del sistema mismo. (Thomas, 1993, pág. 3)

La T.G.S. Se fundamentan en tres premisas básicas:

- A) Los sistemas existen dentro de sistemas.
- B) Los sistemas son abiertos.
- C) Las funciones de un sistema dependen de su estructura.

Una de las principales peculiaridades de un sistema es la existencia de cualidades resultantes de la integración de los elementos y que se reconocen únicamente en la totalidad, superando las características individuales, pero sin negarlas en sí. (Thomas, 1993, pág. 11)

La complejidad primera y fundamental del sistema es asociar en sí la idea de unidad, por una parte, y la de diversidad o multiplicidad por la otra, que en principio se repelen y excluyen. Por lo que un sistema es una unidad global, no elemental, puesto que está constituido por partes diversas interrelacionadas.

Los sistemas se pueden agrupar en 5 clases:

1. Según la materialidad del objeto de estudios, físicos y abstractos
2. Según su comportamiento en deterministas y probabilísticos.
3. Según su grado de complejidad, de simples a complejos y en función de las interrelaciones y funciones que cumpla.
4. En relación con su entorno puede ser cerrado o abierto.
5. Según su gobierno pueden ser gobernados o autogobernados.

Sus principios son los procesos realizados en función del tiempo y que permiten la operatividad dentro del sistema, considerando los siguientes conceptos:

Flujos

Compuertas

Discontinuidades

Retroalimentación

Figura 7. Esquema del proceso de funcionamiento



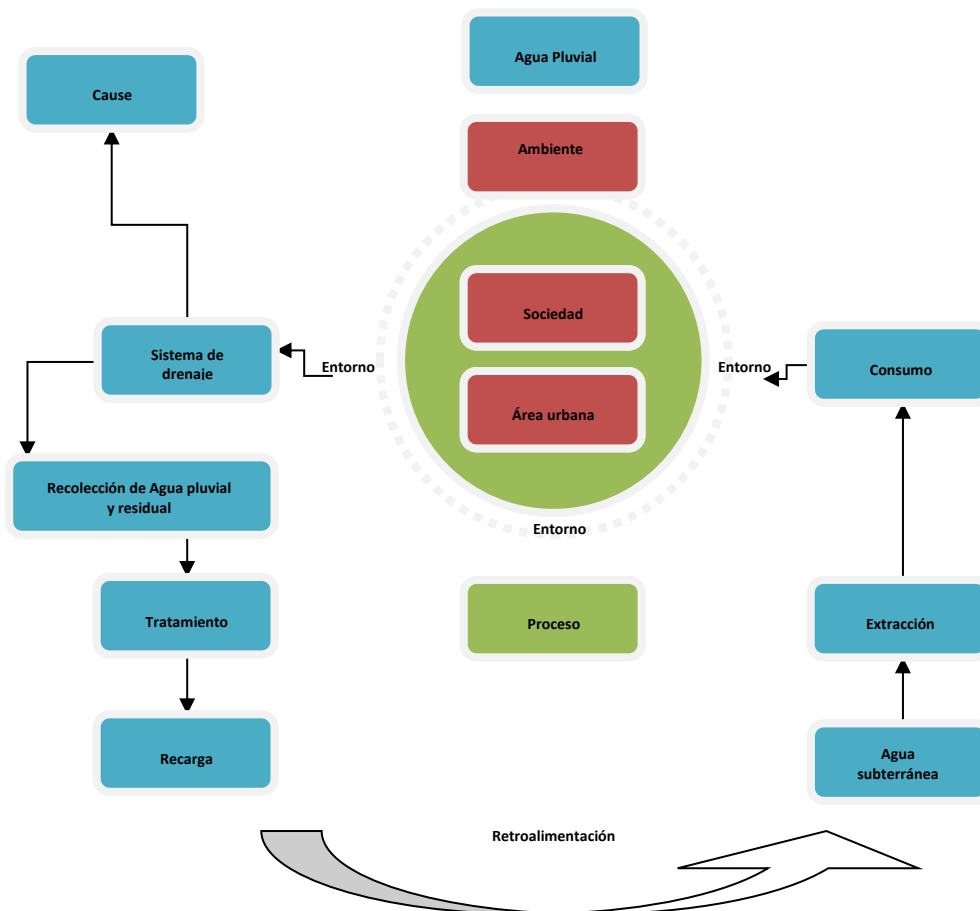
Fuente: Elaboración propia

La teoría de la sustentabilidad hídrica, tiene un principio fundamental, basado en un sistema aislado la cual contienen variables diversas que progresivamente y directamente generan una degradación en las aguas subterráneas, estas variables trabajan como un conjunto, como ejemplo en la **figura 8** tenemos la representación de esta interacción, donde la sociedad forman parte de un área urbana, al mismo tiempo esta puede ser parte de un sistema urbano (ciudad) y que en su conjunto representan el ambiente, ello sin perder de vista que dentro de esta parte, pero no en su interior, más bien en el perímetro, se encuentra la naturaleza (árboles, áreas ejidales, lagos, lagunas, vegetación, fauna, etc.) y que forma parte de su entorno, el cual se ve amenazado por los procesos de urbanización en su expansión y que a medida de su crecimiento requiere mayor demanda de recursos, en este caso nuestro enfoque es a la parte hidráulica, así bien, la creciente población requerirá de poco a poco de un alto consumo de agua, en donde el agua interactúa como materia prima, pero el consumo sería un de estas variable, por lo que podemos considerar como registro y medición lo que un área urbana puede llegar a consumir y que su escases está en función de otra variable que es representada por la población, ambas están en interacción continua; iniciando por la

extracción, que representa la salidas, considerando que el agua es obtenida de los estratos subterráneos o mantos acuíferos.

La extracción por sí solo no puede utilizarse para uso y consumo humano, por lo que esta primera forma parte de un proceso cíclico, donde posteriormente el agua debe ser procesada, para su destino hacia las áreas urbanas para usos comunes y cotidianos, utilizamos el agua para beber, para lavar los platos, para tomar una ducha, para tirar de la cisterna en el servicio, para cocinar y para muchos otros propósitos; pero ¿Qué pasa con el agua de uso? Al igual que la extracción y consumo del agua, el residuo de esta se canaliza hacia el drenaje para continuar como parte de los procesos a los causes y que forma parte de un cierre cíclico, ya esta no tiene ningún tratamiento para alimentar aguas subterráneas de donde se extrae. Aquí es donde inicia el proceso de sustentabilidad, dada una necesidad de recupera el recuso usado e incorporarlo a su ciclo hídrico como parte de lo que se consume, en este punto entra la teoría general de los sistemas la cual podemos utilizar como apoyo de todo un proceso de recuperación de los recursos naturales.

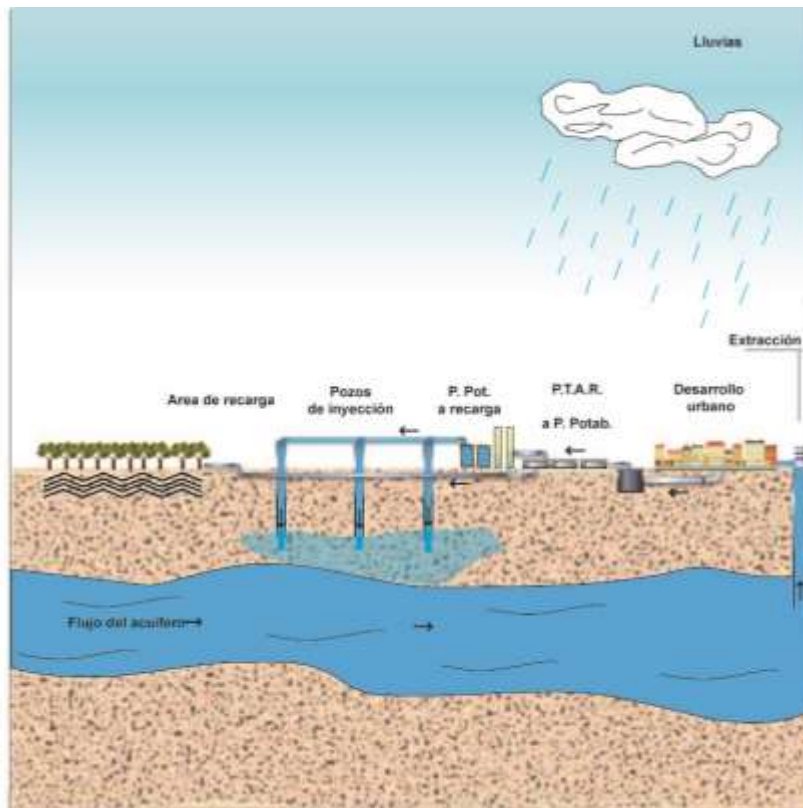
Figura 8. Proceso de consumo hídrico



Como podemos observar en la figura 8, el recurso hídrico tiene como destino final los cauces, pero que pasa cuando queremos reincorporarlo; en este sentido es necesaria la utilización de un sistema de retroalimentación que permita recolectar y tratar el agua usada para ser inyectada al ciclo hídrico, mediante la recarga artificial, para ayudar a mitigar el exceso de extracción, de tal manera que se genera todo un sistema cíclico, donde lo que se extrae, se regresa, tal vez no en la misma cantidad, pero si podemos sumar la parte pluvial puede ser un aliciente más eficaz en esta recuperación y apoyo hacia las áreas urbanas.

Para hacerlo ilustrativo, en la figura 9 se muestra la representación gráfica del esquema descrito en los párrafos anteriores.

Figura 9. Proceso de retroalimentación hídrico



Fuente: Elaboración propia

2.7.- Valorización de las temáticas.

Cada una de las temáticas postuladas representan el sustentáculo en forma parcial para determinar las condiciones que pueden afectar y también coadyubar para a la exploración del objetivo general, y que en su conjunto integran al propio objetivo del documento de investigación, sin embargo, en forma individual presentan una valorización específica en el comportamiento general de las áreas urbanas, es decir, y como ejemplo podríamos mencionar a la población, puede ser que en algunos casos sea un detonante para el consumo desmedido de agua, ello no quiere decir que el área donde se concentra una mayor población tenga las mejores condiciones para la selección de la recarga artificial de las aguas subterráneas, como puede ser el caso de la Ciudad de México, la cual tiene su propio recurso líquido y que se obliga a importarlo de otro estado a falta de capacidad hídrica para la recuperación de sus aguas subterráneas en su extensión territorial. De forma inversa puede ser un municipio tenga el suficiente líquido para abastecer a su población, y este puede verse afectado por localidades aledañas que no tienen bastante recurso líquido, obligando a desviar recurso hídrico para abastecer a otras zonas o regiones.

Por otra parte, la importancia de la población y vivienda para obtener el recurso de agua residual tratada y posteriormente sea procesada para la recarga artificial de los acuíferos, se presenta como una variable dependiente y como un potencial para producir el agua que deseamos tornar en potable para ser inyectada hacia las fuentes subterráneas.

En general diremos que cada zona, municipio o región puede tener diversas características de valoración, por sus condiciones geográficas, demográficas y de vivienda, recursos hídricos propios o no propios y hasta económicos, por lo que para el caso particular de la investigación se presentan tres temáticas importantes, por un lado, el aumento de población y la extensión territorial de ocupación de vivienda, y por otra parte sus características geológicas de permeabilidad, así como su factibilidad hídrica, los cuales se profundizan a lo largo del capítulo V de la investigación

Capítulo



Marco metodológico

Capítulo III. Marco metodológico

El trabajo de investigación se basa en la aplicación de un método de medición y fenomenológico desde el marco general de los sistema, por su retroalimentación continua, en donde el primero se desarrolla con el objetivo de obtener información numérica acerca de una propiedad o cualidad del objeto, proceso o fenómeno, donde se comparan magnitudes medibles y conocidas; mientras que el segundo, se fundamenta en el estudio de las experiencias de vida, respecto de un suceso, desde la perspectiva del sujeto; este método asume el análisis de los aspectos más complejos de la vida humana, de aquello que se encuentra más allá de lo cuantificable., partiendo de definición de los métodos seleccionados se han identificado actividades principales de inicio en la investigación (tabla 1), creando un orden de agrupación de las mismas, las cuales se dividen en 5 puntos básicos o etapas 1) investigación documental, 2) datos estadísticos y su análisis, 3) datos del análisis territorial, 4) análisis conceptual estadístico y espacial y 5) integración del documento. Para una mejor comprensión se ha creado un mapa de estas etapas con actividades generales y la relación de estas.

3.1 Etapas

Etapa 1 de la información e investigación.

Consistente en la recopilación de información bibliográfica sobre conceptos y teorías sobre el análisis del territorio mediante un diagnóstico y el cuidado del equilibrio ecológico por razón de los diferentes procedimientos relacionados con el tratamiento de agua y recarga artificial del acuífero, así como los marcos normativos para el sustento legal y su aptitud del proyecto, apoyado en instrumentos de carácter legal como son la Agenda 2030 en sus objetivos de desarrollo sostenible (ODS), informe Brundtlan, bibliográfica relacionada con los métodos de investigación cuantitativa y cualitativa, desarrollo urbano y crecimiento, consulta de los censos de población y vivienda, bibliográfica relacionada con crisis hídrica y su proceso de reúso, y recarga artificial de acuíferos, apoyada por con instituciones como la Comisión Nacional del Agua, así como teorías relacionadas con la retroalimentación para fundamentar la recarga hídrica.

Esta etapa tiene como resultante el respaldo de las teorías que le den viabilidad a la propia investigación, considerando como premisa el crecimiento urbano de la zona de estudio y sus municipios colindantes, la propia sustentabilidad urbana en materia hídrica, y la referencia de las zonas con posibilidad de uso hídrico del área seleccionada.

Etapa 2 de la información estadística.

Se compone de los datos duros como lo son, el crecimiento de la población, sus usos y costumbres, distribución de la población, conurbaciones y afectaciones, extracción, fuentes de abastecimiento de agua y consumos de agua de zona, apoyada por la recopilación y análisis de información estadística generada por órganos gubernamentales como lo es el Instituto Nacional de Geografía y estadística (censos de población), Consejo Nacional de Población (proyección de población), y plan de desarrollo municipal.

Se obtendrán resultados de los puntos críticos que presenten mayor aumento de expansión urbana registrados por número de habitantes, así como el conocimiento estadístico de la dirección poblacional, es decir, hacia donde presenta los mayores crecimientos las zonas y municipios en relación con la población y sus efectos de consumo hídrico relacionados con los niveles económicos.

Etapa 3 del análisis territorial.

Aquí se presenta la recopilación de la información espacial con relación a la parte urbana y su expansión territorial, también se analiza la situación hidrológica de la zona como lo son cuencas, aguas subterráneas, escurrimientos, causes y áreas de recarga. Apoyado en instancias gubernamentales como lo es el Instituto Nacional de Geografía y estadística (censos de población), Consejo Nacional de Población (proyección de población), y plan de desarrollo municipal.

En esta etapa se obtendrá la información territorial, observando y analizando los crecimientos municipales que serán de gran valor para identificar la afectación por falta de agua, impulsado por la demanda habitacional, apoyado en órganos gubernamentales el Instituto Nacional de Geografía y

estadística (Marco geoestadístico, mapas geográficos del medio físico), y plan de desarrollo municipal. La relación de explotación subterránea por su extracción en cuanto a la reducción de los acuíferos por sus niveles históricamente registrados, las zonas con mayor productividad en cuanto a la captación de escurrimientos y si presentan canalización de algún tipo para la recarga de los acuíferos.

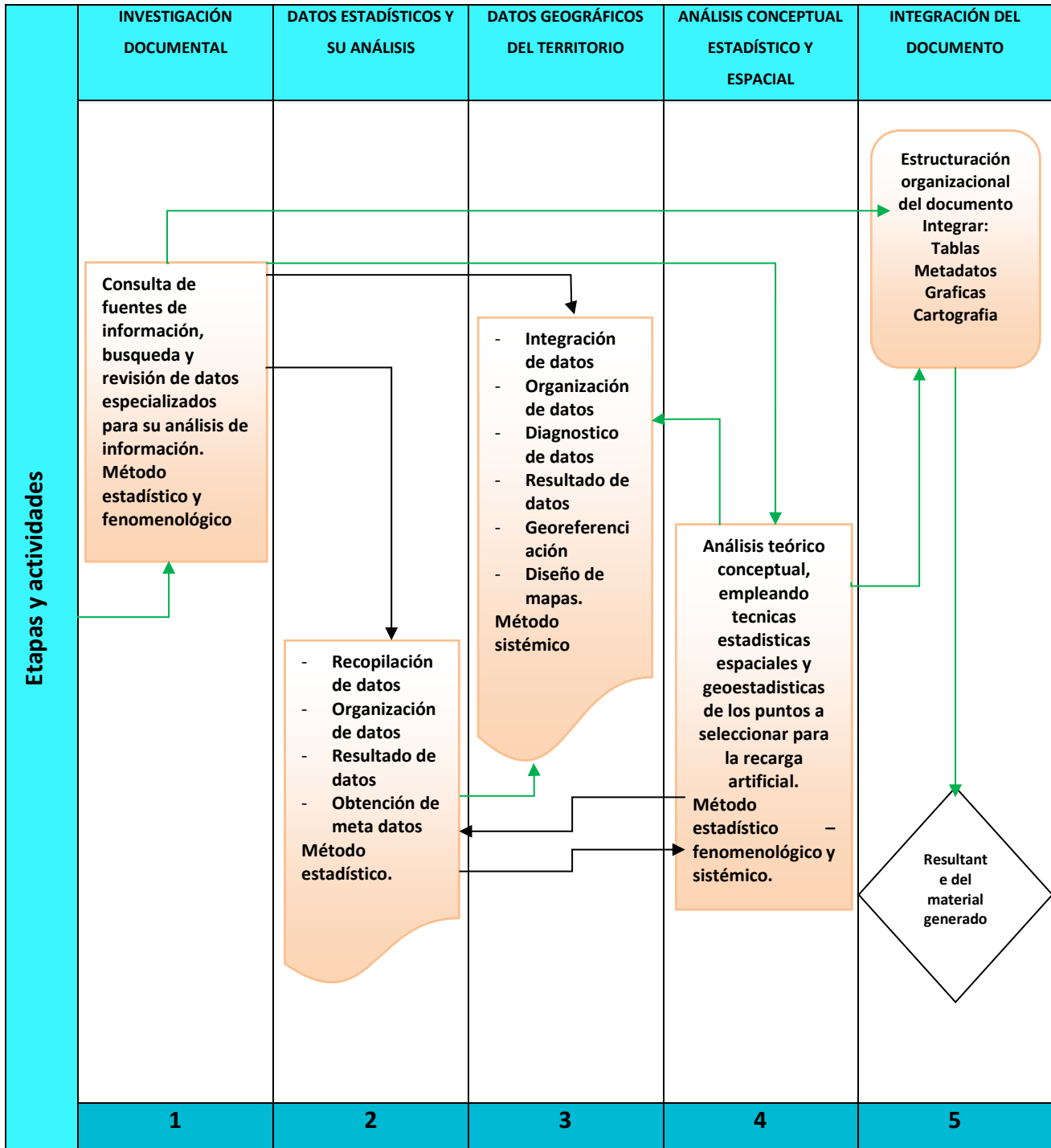
Etapa 4 análisis conceptual estadístico y espacial

Se cruza la información estadística y espacial, a un nivel más específico para obtener los puntos críticos geográficos, poblacionales e hídricos. órganos gubernamentales ya mencionados con apoyo de herramientas geo espaciales (Gis), para su proceso cartográfico y análisis del mismo.

Aquí se obtendrá la conjunción de toda la información recopilada para su análisis y resultados, la canalización de las áreas afectadas por la disponibilidad de agua, zonas déficit de agua y de más alto consumo, así como las zonas con conexión y no conexión del agua tanto en el área de estudio y sus municipios colindantes; las áreas que por sus características de suelo son factibles de uso de recarga, determinando los puntos físicos para la instauración del proyecto y su ubicación, con forme a su tipo de suelo, condiciones de aglomeración y expansión urbana.

Etapa 5 integración del documento.

Tabla 1. Diagrama de flujo del proceso metodológico



Fuente: Elaboración propia

Capítulo

IV

Marco Jurídico

Capítulo IV. Marco jurídico

LEGISLACIÓN DE CARÁCTER INTERNACIONAL.

4. **Agenda 2030** y los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Organización de las Naciones Unidas.

En 2015 fue adoptada la resolución denominada “Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible” , en la que se incluyeron 17 objetivos, ahora llamados Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), a estos 17 objetivos se asocian 169 metas y 230 indicadores. **El ODS 6:** “Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos” , abarca seis metas específicas y dos transversales para el año 2030:

- 6.1 Lograr el acceso universal y equitativo al agua potable a un precio asequible para todos.
- 6.3 Mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial.
- 6.4 Aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir considerablemente el número de personas que sufren falta de agua.
- 6.5 Implementar la gestión integrada de los recursos hídricos a todos los niveles, incluso mediante la cooperación transfronteriza, según proceda.
- 6.6 Para el año 2020, proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos.
- 6a Ampliar la cooperación internacional y el apoyo prestado a los países en desarrollo para la creación de capacidad en actividades y programas relativos al agua y el saneamiento, como los de captación de agua, desalinización, uso eficiente de los recursos hídricos, tratamiento de aguas residuales, reciclado y tecnologías de reutilización.

- 11.3 Para 2030, aumentar la urbanización inclusiva y sostenible y la capacidad para la planificación y la gestión participativas, integradas y sostenibles de los asentamientos humanos en todos los países.
- 11.6 Reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, lo que incluye prestar especial atención a la calidad del aire y la gestión de los desechos municipales y de otro tipo.
- 11.b Para 2020, aumentar el número de ciudades y asentamientos humanos que adoptan y ponen en marcha políticas y planes integrados para promover la inclusión, el uso eficiente de los recursos, la mitigación del cambio climático y la adaptación a él y la resiliencia ante los desastres, y desarrollar y poner en práctica, en consonancia con el Marco de Acción de Hyogo, la gestión integral de los riesgos de desastre a todos los niveles.
- 11.c Proporcionar apoyo a los países menos adelantados, incluso mediante la asistencia financiera y técnica, para la construcción de edificios sostenibles y resilientes utilizando materiales locales.

LEGISLACIÓN DE CARÁCTER FEDERAL.

4.1.- CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS

Artículo 27. La propiedad de las tierras y aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional corresponde originariamente a la Nación, la cual ha tenido y tiene el derecho de transmitir el dominio de ellas a los particulares, constituyendo la propiedad privada...

Son propiedad de la Nación las aguas de los mares territoriales en la extensión y términos que fije Derecho Internacional; las aguas marinas interiores; las de las lagunas y esteros que se comuniquen permanente o intermitentemente con el mar; las de los lagos interiores de formación natural que estén ligados directamente a corrientes constantes; las de los ríos y sus afluentes directos o indirectos, desde el punto del cauce en que se inicien las primeras aguas permanentes, intermitentes o torrenciales, hasta su desembocadura en el mar, lagos, lagunas o esteros de propiedad nacional; las de las corrientes constantes o intermitentes y sus afluentes directos o indirectos, cuando el cauce

de aquéllas en toda su extensión o en parte de ellas, sirva de límite al territorio nacional o a dos entidades federativas, o cuando pase de una entidad federativa a otra o cruce la línea divisoria de la República; la de los lagos, lagunas o esteros cuyos vasos, zonas o riberas, estén cruzadas por líneas divisorias de dos o más entidades o entre la República y un país vecino, o cuando el límite de las riberas sirva de lindero entre dos entidades federativas o a la República con un país vecino; las de los manantiales que broten en las playas, zonas marítimas, cauces, vasos o riberas de los lagos, lagunas o esteros de propiedad nacional, y las que se extraigan de las minas; y los cauces, lechos o riberas de los lagos y corrientes interiores en la extensión que fija la ley. Las aguas del subsuelo pueden ser libremente alumbradas mediante obras artificiales y apropiarse por el dueño del terreno, pero cuando lo exija el interés público o se afecten otros aprovechamientos; el Ejecutivo Federal podrá reglamentar su extracción y utilización y aún establecer zonas vedadas, al igual que para las demás aguas de propiedad nacional. Cualesquiera otras aguas no incluidas en la enumeración anterior, se considerarán como parte integrante de la propiedad de los terrenos por los que corran o en los que se encuentren sus depósitos, pero si se localizaren en dos o más predios, el aprovechamiento de estas aguas se considerará de utilidad pública, y quedará sujeto a las disposiciones que dicten los Estados.

III. Los Municipios tendrán a su cargo las funciones y servicios públicos siguientes:

a) Agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de sus aguas residuales;

4.2.- LEY DE AGUAS NACIONALES

ARTÍCULO 3. Para los efectos de esta Ley se entenderá por:

II. "Acuífero": Cualquier formación geológica o conjunto de formaciones geológicas hidráulicamente conectados entre sí, por las que circulan o se almacenan aguas del subsuelo que pueden ser extraídas para su explotación, uso o aprovechamiento y cuyos límites laterales y verticales se definen convencionalmente para fines de evaluación, manejo y administración de las aguas nacionales del subsuelo;

XXI. "Desarrollo sustentable": En materia de recursos hídricos, es el proceso evaluable mediante criterios e indicadores de carácter hídrico, económico, social y ambiental, que tiende a mejorar la calidad de vida y la productividad de las personas, que se fundamenta en las medidas necesarias para la preservación del equilibrio hidrológico, el aprovechamiento y protección de los recursos hídricos, de manera que no se comprometa la satisfacción de las necesidades de agua de las generaciones futuras;

XXXVIII. "Normas Oficiales Mexicanas": Aquellas expedidas por "la Secretaría", en los términos de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización referidas a la conservación, seguridad y calidad en la explotación, uso, aprovechamiento y administración de las aguas nacionales y de los bienes nacionales a los que se refiere el Artículo 113 de esta Ley;

XLIX. "Servicios Ambientales": Los beneficios de interés social que se generan o se derivan de las cuencas hidrológicas y sus componentes, tales como regulación climática, conservación de los ciclos hidrológicos, control de la erosión, control de inundaciones, recarga de acuíferos, mantenimiento de escurrimientos en calidad y cantidad, formación de suelo, captura de carbono, purificación de cuerpos de agua, así como conservación y protección de la biodiversidad; para la aplicación de este concepto en esta Ley se consideran primordialmente los recursos hídricos y su vínculo con los forestales;

ARTÍCULO 7. Se declara de utilidad pública:

I. La gestión integrada de los recursos hídricos, superficiales y del subsuelo, a partir de las cuencas hidrológicas en el territorio nacional, como prioridad y asunto de seguridad nacional;

II. La protección, mejoramiento, conservación y restauración de cuencas hidrológicas, acuíferos, cauces, vasos y demás depósitos de agua de propiedad nacional, zonas de captación de fuentes de abastecimiento, zonas federales, así como la infiltración natural o artificial de aguas para reabastecer mantos acuíferos acorde con las "Normas Oficiales Mexicanas" y la derivación de las aguas de una cuenca o región hidrológica hacia otras;

IV. El restablecimiento del equilibrio hidrológico de las aguas nacionales, superficiales o del subsuelo, incluidas las limitaciones de extracción en zonas reglamentadas, las vedas, las reservas y el cambio

en el uso del agua para destinarlo al uso doméstico y al público urbano; la recarga artificial de acuíferos, así como la disposición de agua al suelo y subsuelo, acorde con la normatividad vigente;

V. El restablecimiento del equilibrio de los ecosistemas vitales vinculados con el agua;

VII. El mejoramiento de la calidad de las aguas residuales, la prevención y control de su contaminación, la recirculación y el reúso de dichas aguas, así como la construcción y operación de obras de prevención, control y mitigación de la contaminación del agua, incluyendo plantas de tratamiento de aguas residuales;

ARTÍCULO 91. La infiltración de aguas residuales para recargar acuíferos requiere permiso de "la Autoridad del Agua" y deberá ajustarse a las Normas Oficiales Mexicanas que al efecto se emitan.

ARTÍCULO 91 BIS. Las personas físicas o morales que descarguen aguas residuales a las redes de drenaje o alcantarillado deberán cumplir con las Normas Oficiales Mexicanas y, en su caso, con las condiciones particulares de descarga que emita el estado o el municipio.

Los municipios, el Distrito Federal y en su caso, los estados, deberán tratar sus aguas residuales, antes de descargarlas en un cuerpo receptor, conforme a las Normas Oficiales Mexicanas o a las condiciones particulares de descarga que les determine "la Autoridad del Agua", cuando a ésta compete establecerlas.

4.3.- NORMAS OFICIALES MEXICANA

NORMA Oficial Mexicana NOM-014-CONAGUA-2003, Requisitos para la recarga artificial de acuíferos con agua residual tratada.

NORMA Oficial Mexicana NOM-015-CONAGUA-2007, Infiltración artificial de agua a los acuíferos, características y especificaciones de las obras y del agua.

NORMA Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental, agua para uso y consumo humano- Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.

NORMA Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental, agua para uso y consumo humano- Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.

NORMA Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997, 1997. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público. México.

4.4.- LEY GENERAL DE EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y PROTECCIÓN AL AMBIENTE

ARTÍCULO 7o.- Corresponden a los Estados, de conformidad con lo dispuesto en esta Ley y las leyes locales en la materia, las siguientes facultades:

I.- La formulación, conducción y evaluación de la política ambiental estatal;

II.- La aplicación de los instrumentos de política ambiental previstos en las leyes locales en la materia, así como la preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente que se realice en bienes y zonas de jurisdicción estatal, en las materias que no estén expresamente atribuidas a la Federación;

VIII.- La regulación del aprovechamiento sustentable y la prevención y control de la contaminación de las aguas de jurisdicción estatal; así como de las aguas nacionales que tengan asignadas;

IX.- La formulación, expedición y ejecución de los programas de ordenamiento ecológico del territorio a que se refiere el artículo 20 BIS 2 de esta Ley, con la participación de los municipios respectivos;

XI.- La atención de los asuntos que afecten el equilibrio ecológico o el ambiente de dos o más municipios;

XIII.- La vigilancia del cumplimiento de las normas oficiales mexicanas expedidas por la Federación, en las materias y supuestos a que se refieren las fracciones III, VI y VII de este artículo;

XV.- La promoción de la participación de la sociedad en materia ambiental, de conformidad con lo dispuesto en esta Ley;

XVIII.- La formulación, ejecución y evaluación del programa estatal de protección al ambiente;

XX.- La atención coordinada con la Federación de asuntos que afecten el equilibrio ecológico de dos o más Entidades Federativas, cuando así lo consideren conveniente las Entidades Federativas respectivas;

XXI.- La formulación y ejecución de acciones de mitigación y adaptación al cambio climático, y

XXII.- La atención de los demás asuntos que en materia de preservación del equilibrio ecológico y protección al ambiente les conceda esta Ley u otros ordenamientos en concordancia con ella y que no estén otorgados expresamente a la Federación.

ARTÍCULO 8o.- Corresponden a los Municipios, de conformidad con lo dispuesto en esta Ley y las leyes locales en la materia, las siguientes facultades:

I.- La formulación, conducción y evaluación de la política ambiental municipal;

II.- La aplicación de los instrumentos de política ambiental previstos en las leyes locales en la materia y la preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente en bienes y zonas de jurisdicción municipal, en las materias que no estén expresamente atribuidas a la Federación o a los Estados;

VII.- La aplicación de las disposiciones jurídicas en materia de prevención y control de la contaminación de las aguas que se descarguen en los sistemas de drenaje y alcantarillado de los centros de población, así como de las aguas nacionales que tengan asignadas, con la participación que conforme a la legislación local en la materia corresponda a los gobiernos de los estados;

X.- La participación en la atención de los asuntos que afecten el equilibrio ecológico de dos o más municipios y que generen efectos ambientales en su circunscripción territorial;

XII.- La vigilancia del cumplimiento de las normas oficiales mexicanas expedidas por la Federación, en las materias y supuestos a que se refieren las fracciones III, IV, VI y VII de este artículo;

XIII.- La formulación y conducción de la política municipal de información y difusión en materia ambiental;

XV.- La formulación, ejecución y evaluación del programa municipal de protección al ambiente;

XVI.- La formulación y ejecución de acciones de mitigación y adaptación al cambio climático, y

XVII.- La atención de los demás asuntos que en materia de preservación del equilibrio ecológico y protección al ambiente les conceda esta Ley u otros ordenamientos en concordancia con ella y que no estén otorgados expresamente a la Federación o a los Estados.

ARTÍCULO 88.- Para el aprovechamiento sustentable del agua y los ecosistemas acuáticos se considerarán los siguientes criterios:

I. Corresponde al Estado y a la sociedad la protección de los ecosistemas acuáticos y del equilibrio de los elementos naturales que intervienen en el ciclo hidrológico;

II.- El aprovechamiento sustentable de los recursos naturales que comprenden los ecosistemas acuáticos deben realizarse de manera que no se afecte su equilibrio ecológico;

III.- Para mantener la integridad y el equilibrio de los elementos naturales que intervienen en el ciclo hidrológico, se deberá considerar la protección de suelos y áreas boscosas y selváticas y el mantenimiento de caudales básicos de las corrientes de agua, y la capacidad de recarga de los acuíferos, y

IV.- La preservación y el aprovechamiento sustentable del agua, así como de los ecosistemas acuáticos es responsabilidad de sus usuarios, así como de quienes realicen obras o actividades que afecten dichos recursos.

ARTÍCULO 89.- Los criterios para el aprovechamiento sustentable del agua y de los ecosistemas acuáticos, serán considerados en:

I. La formulación e integración del Programa Nacional Hidráulico;

II. El otorgamiento de concesiones, permisos, y en general toda clase de autorizaciones para el aprovechamiento de recursos naturales o la realización de actividades que afecten o puedan afectar el ciclo hidrológico;

III. El otorgamiento de autorizaciones para la desviación, extracción o derivación de aguas de propiedad nacional;

IV.- El establecimiento de zonas reglamentadas, de veda o de reserva;

- V.- Las suspensiones o revocaciones de permisos, autorizaciones, concesiones o asignaciones otorgados conforme a las disposiciones previstas en la Ley de Aguas Nacionales, en aquellos casos de obras o actividades que dañen los recursos hidráulicos nacionales o que afecten el equilibrio ecológico;
- VI.- La operación y administración de los sistemas de agua potable y alcantarillado que sirven a los centros de población e industrias;
- VII.- Las previsiones contenidas en el programa director para el desarrollo urbano de la Ciudad de México respecto de la política de reúso de aguas;
- VIII.- Las políticas y programas para la protección de especies acuáticas endémicas, amenazadas, en peligro de extinción o sujetas a protección especial;
- IX.- Las concesiones para la realización de actividades de acuicultura, en términos de lo previsto en la Ley de Pesca, y
- X.- La creación y administración de áreas o zonas de protección pesquera.
- XI.- Todas aquellas prácticas de diferentes sectores productivos que afecten la calidad del agua superficial y subterránea.

LEGISLACIÓN DE CARÁCTER ESTATAL Y MUNICIPAL.

4.5.- LEY DEL AGUA PARA EL ESTADO DE MÉXICO Y MUNICIPIOS

Artículo 1.- Esta Ley es de orden público e interés social, de aplicación y observancia general en el Estado de México, y tiene por objeto normar la explotación, uso, aprovechamiento, administración, control y suministro de las aguas de jurisdicción estatal y municipal y sus bienes inherentes, para la prestación de los servicios de agua potable, drenaje y alcantarillado, saneamiento, y tratamiento de aguas residuales, su reúso y la disposición final de sus productos resultantes.

Artículo 2.- La presente Ley persigue los siguientes objetivos:

IV. El control de la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas de jurisdicción estatal y municipal;

IX. La implementación de acciones que propicien la recarga de acuíferos en el Estado y el manejo sustentable de sus recursos hídricos;

Artículo 7.- Para los efectos de esta Ley, la jurisdicción que corresponde respectivamente al Estado y a los municipios sobre los recursos hídricos, se define por lo siguiente:

h) Las aguas tratadas que lo hayan sido en plantas de tratamiento estatales u operadas y mantenidas por el Estado.

d) Las aguas tratadas que lo hayan sido en plantas de tratamiento municipales u operadas y mantenidas por los municipios.

Artículo 8.- Se declara de utilidad pública para esta Ley:

I. La planeación, estudio, proyección, ejecución, rehabilitación y mantenimiento, ampliación, aprobación y supervisión de las obras y servicios necesarios para la operación y administración de los sistemas de agua potable, alcantarillado, tratamiento y disposición de aguas residuales; además de la infraestructura hídrica que se destina para la acuicultura y al uso agrícola, agroindustrial, pecuario y de conservación ecológica;

II. El restablecimiento del equilibrio de los ecosistemas vitales vinculados con el agua;

IV. La captación, regularización, potabilización, desalación, conducción, distribución, prevención y control de la contaminación de las aguas; así como el tratamiento de las aguas residuales que se localicen dentro de los Municipios del Estado y que no sean de jurisdicción federal; así como el reusó de las mismas;

V. El mejoramiento de la calidad de las aguas residuales, la prevención y control de su contaminación, la recirculación y el reusó de dichas aguas, así como la construcción y operación de obras de prevención, control y mitigación de la contaminación del agua, incluyendo plantas de tratamiento de aguas residuales;

Artículo 16.- La Secretaría tendrá las siguientes facultades:

VII. Impulsar medidas para el tratamiento de las aguas residuales y su reusó, así como para prevenir y revertir la contaminación o la degradación de los cuerpos de agua;

Artículo 46.- La Programación Hídrica es de carácter obligatorio para la gestión integral del agua en el Estado. La planeación, formulación, promoción, instauración, ejecución y evaluación de esta programación, comprenderá:

IV. La formulación de estrategias, planes y programas de cuenca, regionales y municipales, para la adecuada explotación, uso, aprovechamiento del agua su tratamiento y reuso, así como su manejo sustentable;

Artículo 53.- Las autoridades del agua impulsarán la construcción de la infraestructura hidráulica que permita el aprovechamiento del agua pluvial para la recarga de acuíferos y fomentarán la construcción y conservación de instalaciones alternas que sustituyan al drenaje cuando éste no pueda construirse.

Artículo 46.- La Programación Hídrica es de carácter obligatorio para la gestión integral del agua en el Estado. La planeación, formulación, promoción, instauración, ejecución y evaluación de esta programación, comprenderá:

IV. La formulación de estrategias, planes y programas de cuenca, regionales y municipales, para la adecuada explotación, uso, aprovechamiento del agua su tratamiento y reusó, así como su manejo sustentable;

IV. La formulación de estrategias, planes y programas de cuenca, regionales y municipales, para la adecuada explotación, uso, aprovechamiento del agua su tratamiento y reusó, así como su manejo sustentable;

Artículo 84.- La Comisión, el municipio o el organismo operador, según corresponda, en los términos de las disposiciones legales aplicables, podrán convocar a los sectores social y privado, para la construcción y operación de plantas de tratamiento de aguas residuales, bajo la modalidad de concesión en los términos de la presente Ley y otras disposiciones aplicables. De igual forma, podrán concesionar o vender aguas residuales para su tratamiento y aprovechamiento. Las aguas tratadas se destinarán preferentemente a la inyección y a usos no consuntivos.

Artículo 85.- Tratándose de infraestructura intermunicipal para el tratamiento de aguas residuales, en términos de lo dispuesto en el Reglamento y a solicitud del organismo operador intermunicipal, la Comisión asumirá el servicio de tratamiento de aguas residuales. Al organismo operador intermunicipal corresponderá el cumplimiento de las disposiciones relativas a las descargas en sus sistemas de drenaje. La Comisión fijará las condiciones particulares de descarga.

Artículo 90.- Las autoridades del agua promoverán las medidas y acciones necesarias para proteger los recursos hídricos del Estado, en cantidad y calidad, y coadyuvarán con las autoridades competentes en la vigilancia y aplicación de las disposiciones legales en materia de equilibrio ecológico y protección al ambiente, de prevención y control de la contaminación del agua y de los ecosistemas relacionados.

Artículo 91.- Las autoridades del agua impulsarán las acciones que sean necesarias para mantener y, en su caso, restablecer el equilibrio entre disponibilidad y aprovechamiento de los recursos hídricos, considerando los diversos usos y usuarios, y favorecer el manejo sustentable en el proceso de la gestión integral del agua.

Artículo 92.- Los desarrolladores de nuevos conjuntos habitacionales, industriales y de servicios están obligados a construir instalaciones para la recolección de agua pluvial y, al tratamiento de aguas residuales para su conducción en los términos de la legislación aplicable, para ser aprovechada en el riego de áreas verdes o aquellas actividades que no requieran la utilización de agua potable.

Artículo 94.- La Comisión, los municipios y los organismos operadores procurarán inyectar al subsuelo el mayor volumen posible de agua tratada, de una calidad que satisfaga lo establecido por las normas oficiales mexicanas, especialmente en zonas donde se localicen centros de población que se abastezcan de agua potable proveniente de acuíferos sobreexplotados.

Artículo 95.- En los centros de población que se abastezcan de agua proveniente de acuíferos sobreexplotados, la Comisión, los municipios y/o los organismos operadores, como corresponda, promoverán la participación de los sectores social y privado en la construcción de sistemas de tratamiento, mediante el otorgamiento de la concesión respectiva, y la inyección de su efluente, previa certificación de su calidad de acuerdo con las normas oficiales en la materia.

4.6- CONSIDERACIONES FINALES

México es un país que se ha mantenido distante de las situaciones ambientales en cuanto a la realización de proyectos sustentables y más relacionados con la recarga artificial, hasta hace un par de décadas atrás incursiono en la implementación de la recarga de los acuíferos, con un enfoque mayormente legal generado por la motivación de actores internacionales, este tipo de proyectos con iniciativa hacia la recuperación de la naturaleza provocada por el deterioro de la humanidad, dieron como resultado la agenda 2030, donde se contempla como parte de sus objetivos una preocupación

y procuración hacia el entorno del medio ambiente y la sustentabilidad del mismo. Gracias a este tipo de iniciativas se han creado instrumentos legales para su aplicación, en donde 193 países han adquirido tales compromisos hacia la restauración ambiental.

Derivado de lo anterior México en materia hidráulica, ha venido impulsando reglamentaciones sustentables, para la recarga de los acuíferos con una administración gubernamental o administradas por un tercero y que proviene desde la propia Constitución de los Estados Unidos Mexicanos, así bien para efectos de una regularización más específica se tiene la Ley de Aguas Nacionales la cual dispone de un enfoque relacionado con la preservación y equilibrio ecológico, y la necesidad de poder hacer acciones en la recarga de las aguas subterráneas con objeto de recuperar sus niveles respectivos en, sea por medios pluviales o bien de reúso de las aguas residuales, en artículo 7 numeral II, 91 que relaciona la calidad del agua a efecto de que esta sea utilizada para restauración de las cuencas o acuíferos subterráneos, por otra parte la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente plantea como una obligación la implementación de políticas de equilibrio ambiental, formulación de programas a nivel estatal y municipal con esta misma causa, obligando a estas instancias a tener una total participación en el cuidado, uso y manejo hídrico, situación es respaldada dentro del marco normativo estatal (Ley del Agua para el Estado de México y Municipios), y que influye para los municipios de manera obligatoria, pero que a esta altura del marco normativo, ya implica la atención y participación social, para el mejoramiento de sus condiciones .

Capítulo



Análisis y diagnóstico del sitio

Capítulo V. Análisis y diagnóstico del sitio

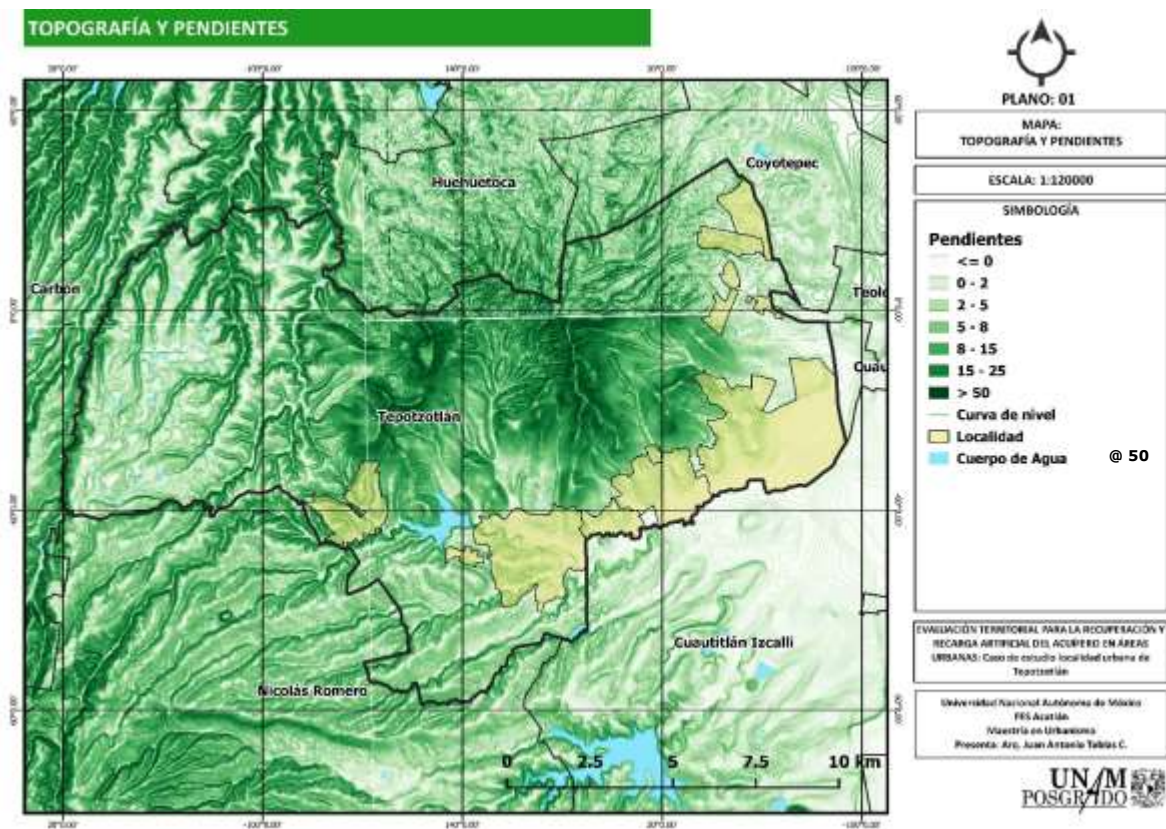
El presente capítulo se enfoca en el estudio y análisis de las diferentes condiciones de carácter natural de tipo topográfico, geológico, edafológico, hídrico y clima, así como el crecimiento poblacional, áreas urbanas y sus proyecciones de crecimiento, además de sus condiciones de infraestructura, del cual se obtendrá la información necesaria para la investigación

5. MEDIO FÍSICO NATURAL

5.1.- Topografía y pendientes

El conocimiento de las pendientes es importante para determinar los puntos altos y bajos del territorio municipal de Tepotzotlán, en el plano presentado se visualiza que está conformado por una

Plano 1. Topografía y pendientes.



Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI

gama de color en tonalidad verde, donde el blanco representa las áreas planas con pendientes de cero por ciento, mientras que las tres tonalidades siguientes, van del dos a quince por ciento de pendiente, presentando una mejor aptitud para uso habitacional, y que claramente vemos como el desarrollo urbano de este municipio se ha asentado y expandido al sobre este margen o línea topográfica de esta característica, posteriormente siguen las pendientes más pronunciadas que van del quince al veinticinco por ciento, donde estas ya presentan ocupación habitacional.

Finalmente encontramos las pendientes de veinticinco y más de cincuenta por ciento, donde su utilidad ya no es recomendada para usos habitacionales, sin embargo, son un potencial gigantesco para la captación de lluvia, debido a que son áreas que por su conformación topográfica generan venas de conducción, las cuales se usan para canalizar los escurrimientos hídricos y que sirven para la recarga de los acuíferos, ya sea de orden natural o artificial.

5.2.- Geología

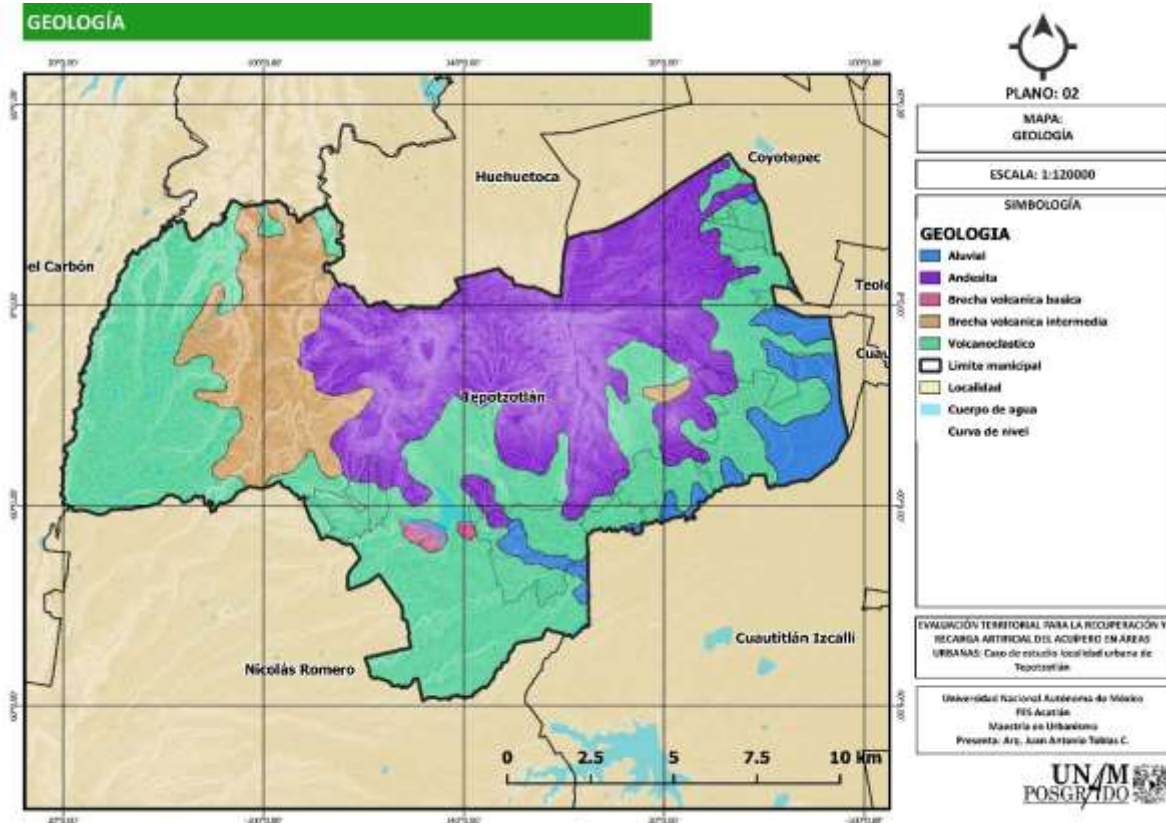
En esta región podemos observar diversas formaciones geológicas, la primera está constituida por rocas extrusivas, las segundas de tipo basáltico, y las terceras, son producto de erupciones volcánicas, derivado de ello la geología del municipio presenta depósitos de diversos tipos de materiales, como el aluvial que se encuentra básicamente en la parte sureste del municipio en una baja porción del territorio, y que va adjunto a material creciente de tipo volcanoclasico, localizado sobre el eje central de este a oeste en su mayor parte del municipio, en la zona norte se presenta material de tipo andesita producto de roca volcánica y básicamente está en las partes más altas, en otros puntos de la zona oeste del municipio con mucho menor elevación se localiza brecha volcánica básica e intermedia.

Tabla2. Perfil geológico de zona

Tipología de geológica	Características	Interpretación	Resistencia Kg/cm ²
Ígnea extrusiva	Generadas por actividad volcánica, formando masas de rocas, y de gran dureza.	Materiales de construcción.	1500 a 3000
Aluvial	Formado por el arrastre de material mediante corrientes de agua.	Agrícola y zonas de conservación.	0 a 1.5 hasta 2

Fuente: (Bazant, 2013, pág. 137)

Plano 2. Geología



Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI

La importancia de las cartas geológicas nos permite conocer los recursos naturales con que cuenta un país y son una de las bases fundamentales para su desarrollo económico, social y cultural. Su estudio, ubicación y evaluación permiten conocer la disponibilidad de materias primas y energéticos para la planeación del desarrollo, y ofrecen al individuo el conocimiento de su entorno natural, lo que le permitirá interactuar con el medio ambiente y cuidar de su preservación y equilibrio ecológico. El conocimiento racional de estos recursos ofrece la posibilidad de señalar la vocación económica de las distintas regiones de un país y de crear nuevas alternativas de uso adecuadas a las condiciones prevalecientes y a la disponibilidad de dichos recursos. Todos los recursos naturales ocupan un lugar en la Tierra, y es posible ubicarlos geográficamente a través de mapas o cartas, en donde se podrán medir, cuantificar y analizar. La ubicación y representación de los citados recursos ofrece la

posibilidad de entender su origen, su magnitud, su distribución y la relación que existe entre ellos. (INEGI, 2005, pág. 1)

En el manejo hidrológico, la geología tiene un papel fundamental en las zonas urbanas, debido a que permite definir con mayor precisión los puntos adecuados para la recarga artificial de los acuíferos, que están en función del material que conforma el subsuelo para una buena irrigación al interior del mismo, así como el trazo de líneas de conducción para su traslado. Para ser permeable, un material debe ser poroso, es decir, debe contener espacios vacíos o poros que permitan un paso fácil del fluido a través del material. A su vez, tales espacios deben estar interconectados para que el fluido disponga de caminos para pasar a través del material.

En el caso de Tepetzotlán, esta cuenta básicamente con tres tipos de materiales como se dijo anteriormente, y cada uno de ellos responde a diferentes necesidades hídricas de permeabilidad, que a continuación se describen.

Tabla 3. Perfil geológico de zona

Tipología de geológica	Características
Aluvial	Tienen consideraciones de retención de agua, por lo que no permiten fácilmente el paso de los fluidos por la estrecha granulometría del material.
Andesita	Andesita Es una roca de composición intermedia en su contenido de sílice por lo que su contenido de gases no es tan alto como para generar una roca muy porosa. Sin embargo, La naturaleza estratificada de estas rocas favorece la acumulación de agua en los planos de estratificación. Porosidad secundaria se produce por la formación de las diaclasas columnares, que corresponden a columnas de base poligonal formadas durante el enfriamiento de la lava
Volcánica	Es una variedad volcánica de composición sólida y compacta, mas no estrecha La permeabilidad en una columna de roca volcánica es diferente si se mide vertical u horizontalmente. La permeabilidad horizontal depende de los espacios que se forma entre los diferentes flujos, mientras que la permeabilidad vertical depende del fracturamiento que ocurre cuando la lava se encuentra parcialmente solidificada.

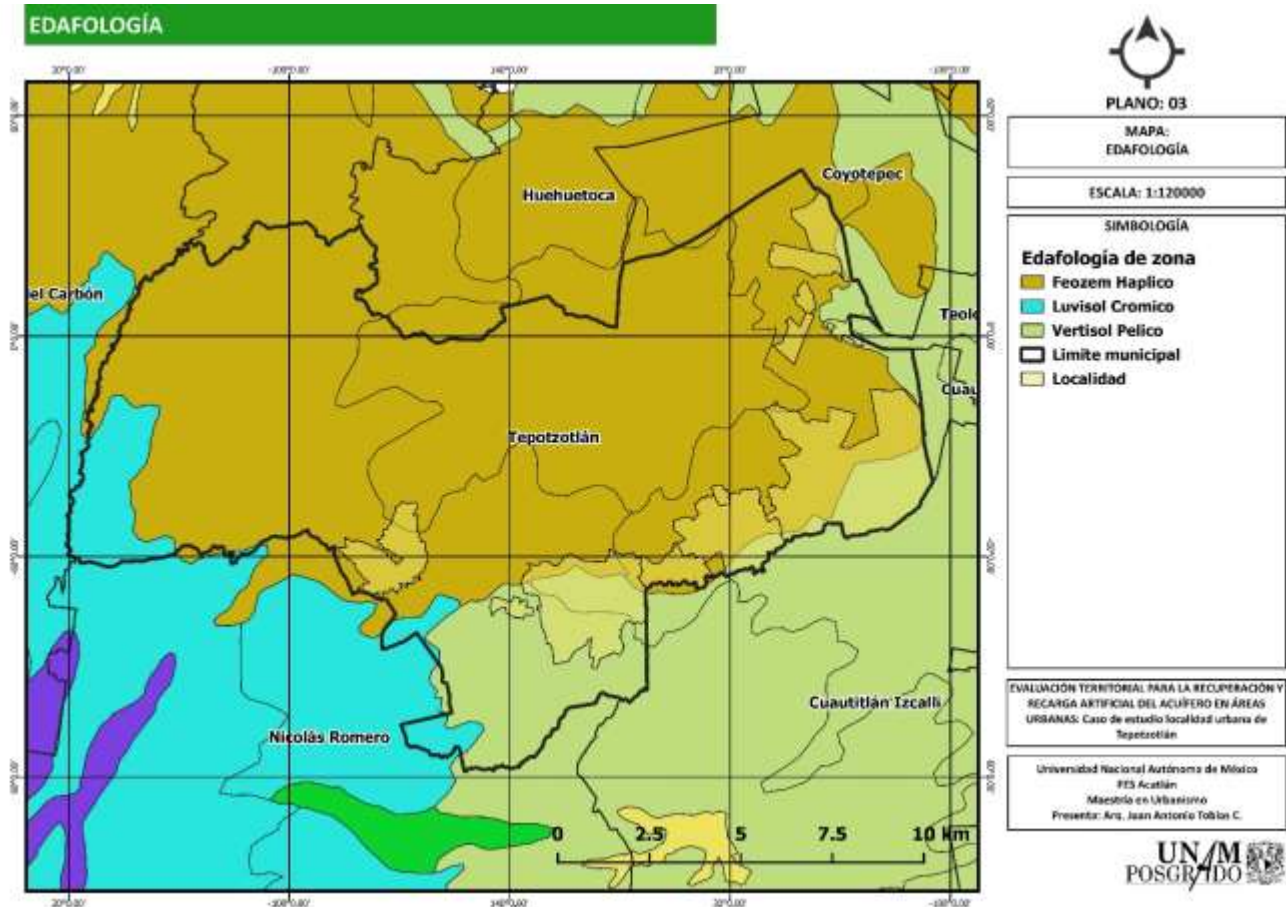
Fuente: (Espinoza, 2010, págs. 11, 12)

La permeabilidad está en función del método que se desea elegir, sea por ciénega en terrenos planos como son los aluviales, aunque es muy lenta su permeabilidad; también por pozos de absorción los cuales no son de gran profundidad, pero pueden ser perfectamente ubicados donde el material de andesita o volcánico presenta la suficiente permeabilidad para su uso, por ultimo tenemos pozos de inyección con profundidades media y alta, dependiendo de la estratigrafía del subsuelo y de las aguas subterránea, y al igual que los pozos de absorción pueden ubicarse en los mismos materiales.

5.3.- Edafología

En la zona en estudio predominan dos unidades de suelos, que son Feozem Háplico y Vertisol Pélico, los primeros se localizan principalmente en la parte norte del municipio con una mayor extensión de

Plano 3. Edafología



Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI

suelo y corresponden a las partes altas de la Sierra de Tepetztlán, así también en las partes más bajas y planas se encuentran los Vertisoles, donde ocupan una superficie menor en relación al primero, y finalmente en la zona oeste del municipio se localiza en una porción de área muy reducida, de suelos tipo Luvisol Crómico; estos tipos de suelo presentan diversas características que a continuación se describen.

Tabla 4. Perfil Edafológico de zona

Suelos	Características	Uso recomendable
Feozem Háptico	Con horizonte A Mólico, con fertilidad de moderada a alta y ricos en materia orgánica con color oscuro.	Aptos para actividad pecuaria y condicionados al desarrollo urbano
Luvisol Crómico	Suelos con horizontes A Ocrico o Umbrico y B Argillico, ricos en nutrientes, de color rojizo intenso, ó color claro y de fertilidad moderada.	Destinado para la agricultura y pastizales cultivados. Condicionado para el desarrollo urbano.
Vertisol Pélico	Suelos con textura arcillosa y pesada que se agrietan notablemente cuando se secan. Presentan dificultades para su labranza, pero con manejo adecuado son aptos para una gran variedad de cultivos. Si el agua de riego es de mala calidad, pueden salinizarse o alcalinizarse. Su fertilidad es alta y de color negro.	Aptos para actividades agropecuarias condicionados a construcciones y redes de infraestructura por su fisuración.

Fuente: (Bazant, 2013, pág. 137) (Orozco Santoyo, 1977, págs. 9, 10 y 12)

Los suelos están en función del clima y la vegetación originada en la zona de estudio, dadas las condiciones de los suelos, la principal utilidad del en el municipio es de uso agropecuario. La mayoría de los suelos son altamente productivos para la agricultura.

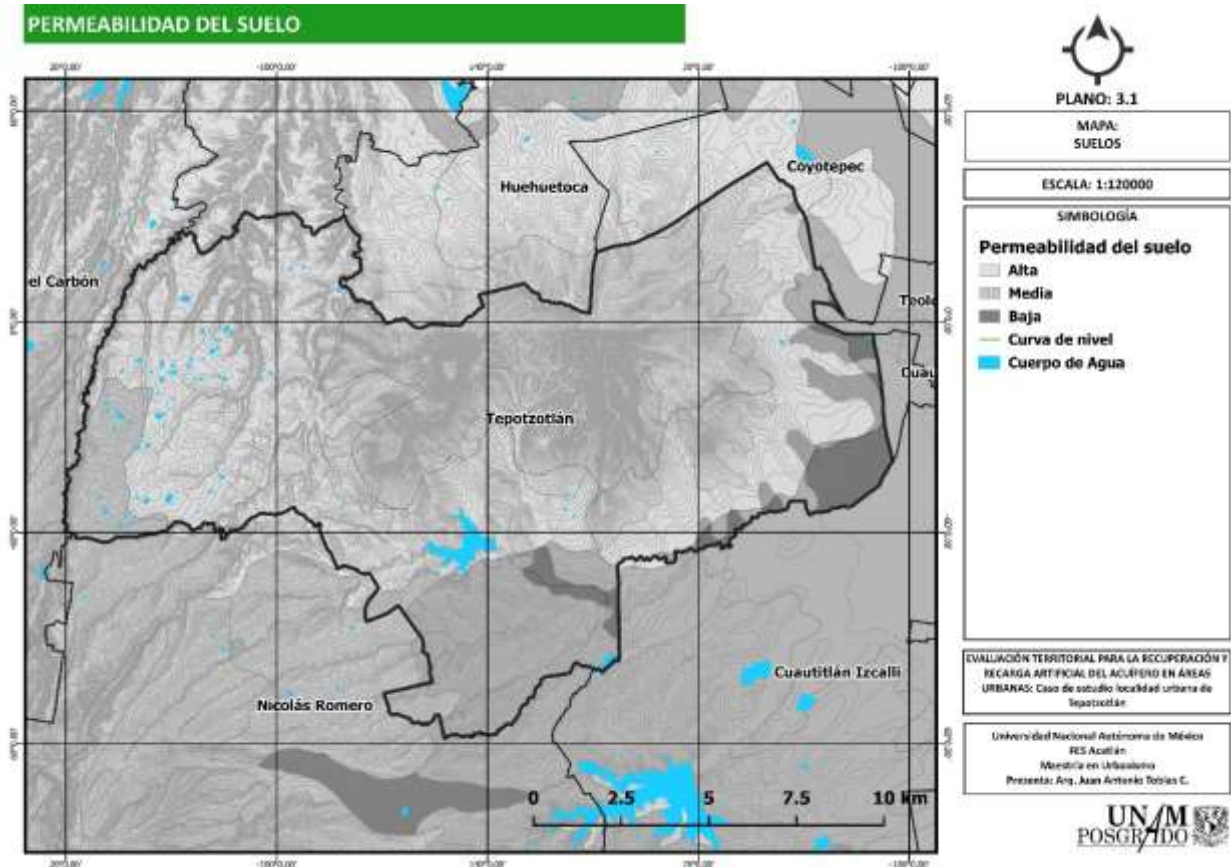
El conocimiento de los suelos es de gran ayuda para la localización de zonas de recarga sean naturales o artificiales como pueden ser ciénagas, estanques, lagos etc., siempre y cuando se opte por este tipo de sistemas de recarga. La permeabilidad en terrenos de tipo Feozem es alta y de buena conducción, los vertisoles son suelos mayormente saturados con baja permeabilidad al igual que los luvisoles.

En la lámina siguiente se presenta la caracterización de la permeabilidad de los suelos, considerando las condiciones geológicas y edafológicas, presentando los sitios donde hay una mayor posibilidad de hacer una selección de sitios para la recarga artificial de acuíferos en función del suelo y subsuelo, para el sustento hídrico urbano.

Como puede observarse las áreas de baja permeabilidad o nula corresponde a las tonalidades más oscuras, sienta estas en la parte noreste del municipio, mientras que en las partes bajas con pendientes aproximadas de 5 al 15 por ciento que representa el eje horizontal del municipio son de

alta posibilidad, con media posibilidad encontramos los puntos que se encuentran en los cerros que van de 15 por ciento en adelante.

Plano 4. Permeabilidad de los suelos

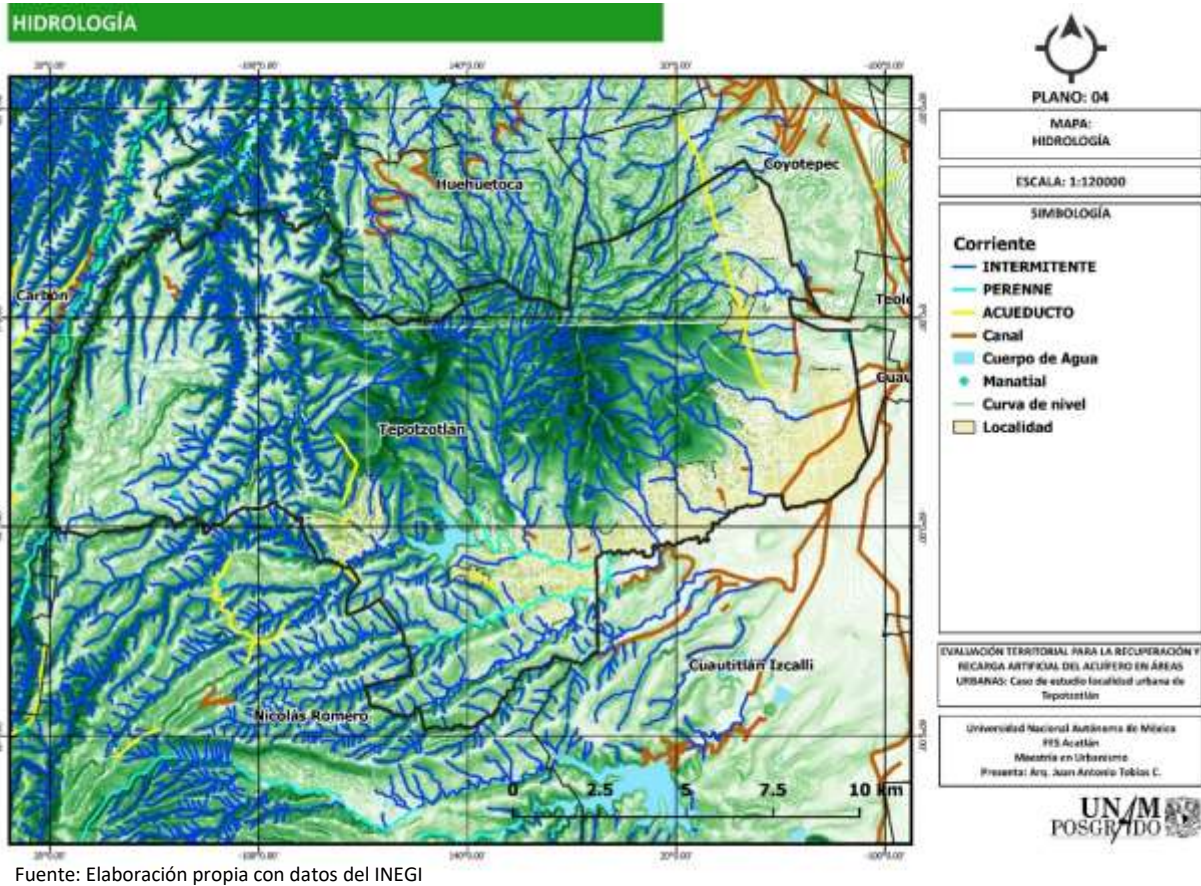


Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI

5.4.- Hidrología

Tepetzotlán es un municipio que a lo largo de su extensión territorial cuenta con bastante recurso hídrico entre los cuales encontramos como los más importantes: la presa de la Concepción con capacidad de 12, 500,000 m³, de la cual se derivan los ríos Hondo de Tepetzotlán y el canal de la margen izquierda (Zanja Real). Otros: La cadena de manantiales del Gavillero; el río de Lanzarote y más cincuenta bordos, (pequeñas presas) que sirven de abrevaderos y para la cría de peces, la Región

Plano 5. Hidrología



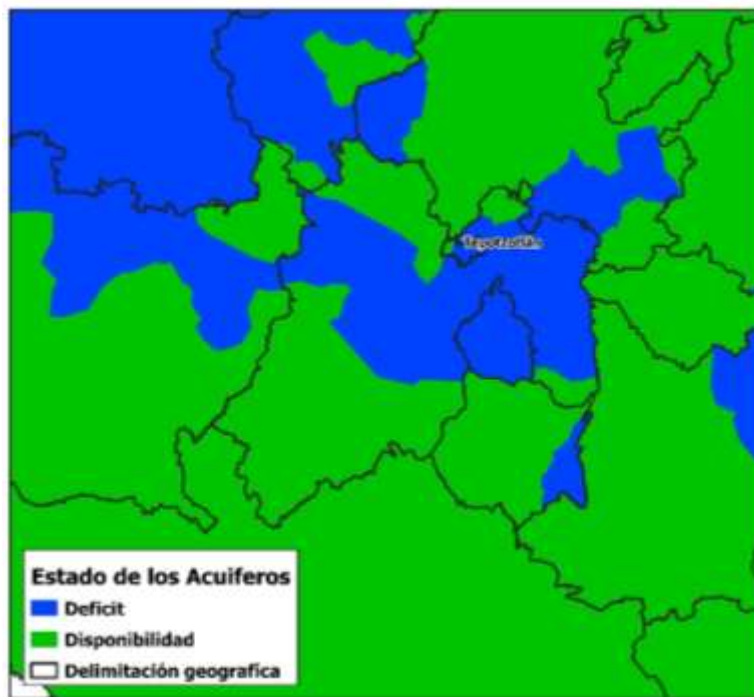
hidrológica de Pánuco, Cuenca: Río Moctezuma, las Subcuenca de Tepotzotlán, R. El Salto, R. Cuautitlán, además de sus corrientes de agua como son las Perennes: De La Mano, Hondo de Tepotzotlán, Río La Presa, Río La Salitrera y Río Los Arcos y las intermitentes: Agua Caliente, Alcaparrosa, Chiquito, El Arcón, El Capulín, El Esclavo, El Oro, Lanzarote, Los Gavilanes y San Pablo, así como los cuerpos de agua de tipo perennes: La Concepción y El Rosario. (Tepotzotlán, 2019, pág. 86)

A pesar de tener varios puntos de aprovechamiento hídrico, no todo el recurso es utilizado, para cuestiones de captación y traslado a otros puntos, debido a sus altos costo de infraestructura, así también la contaminación de los causes ha orillado a la perdida de este recurso. La contaminación del agua se origina por la descarga de aguas residuales municipales (de vivienda) y no municipales

(sector industrial) sin previo tratamiento y la presencia de residuos sólidos. (Tepetzotlán, 2019, pág. 205)

De acuerdo a los datos de calidad del agua de monitoreo de CONAGUA realizado en 2015, el Río Tepetzotlán, se encuentra en semáforo verde y en calidad aceptable en las mediciones. Así mismo la descarga de aguas residuales municipales: ((AGUA POTABLE) (cantidad de m3)). Al momento de la descarga NO se le brinda ningún tipo de tratamiento. (Tepetzotlán, 2019, pág. 205)

Plano 6. Acuíferos del Estado de México



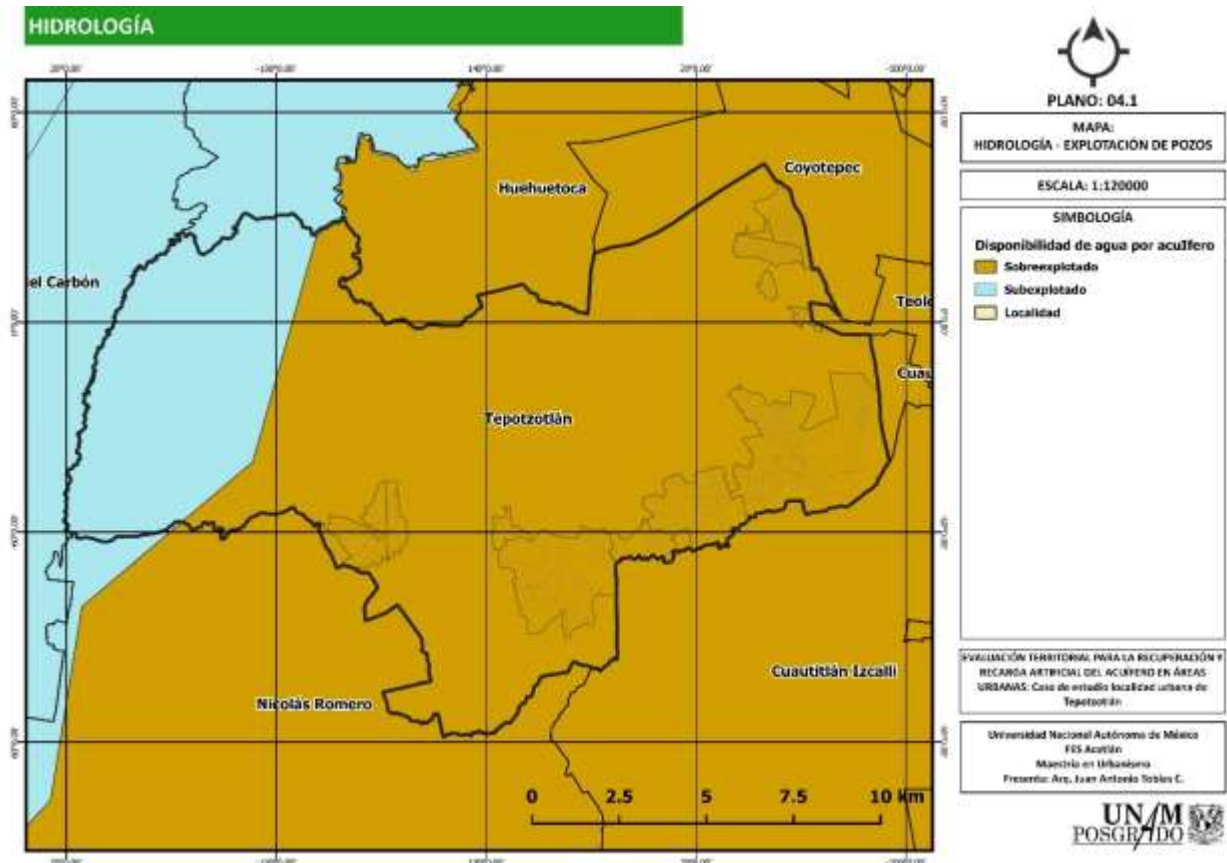
Por otra parte, según datos de la Comisión Nacional del Agua, los acuíferos que circundan sobre el margen de la Cuenca del Valle de México presentan problemas en su uso y operación de extracción, por lo que el municipio de Tepetzotlán se encuentra ubicado dentro de las áreas con déficit de agua dentro de las aguas subterráneas, así como la alta extracción de agua del subsuelo (pozos sobreexplotados), ya que en su -

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA

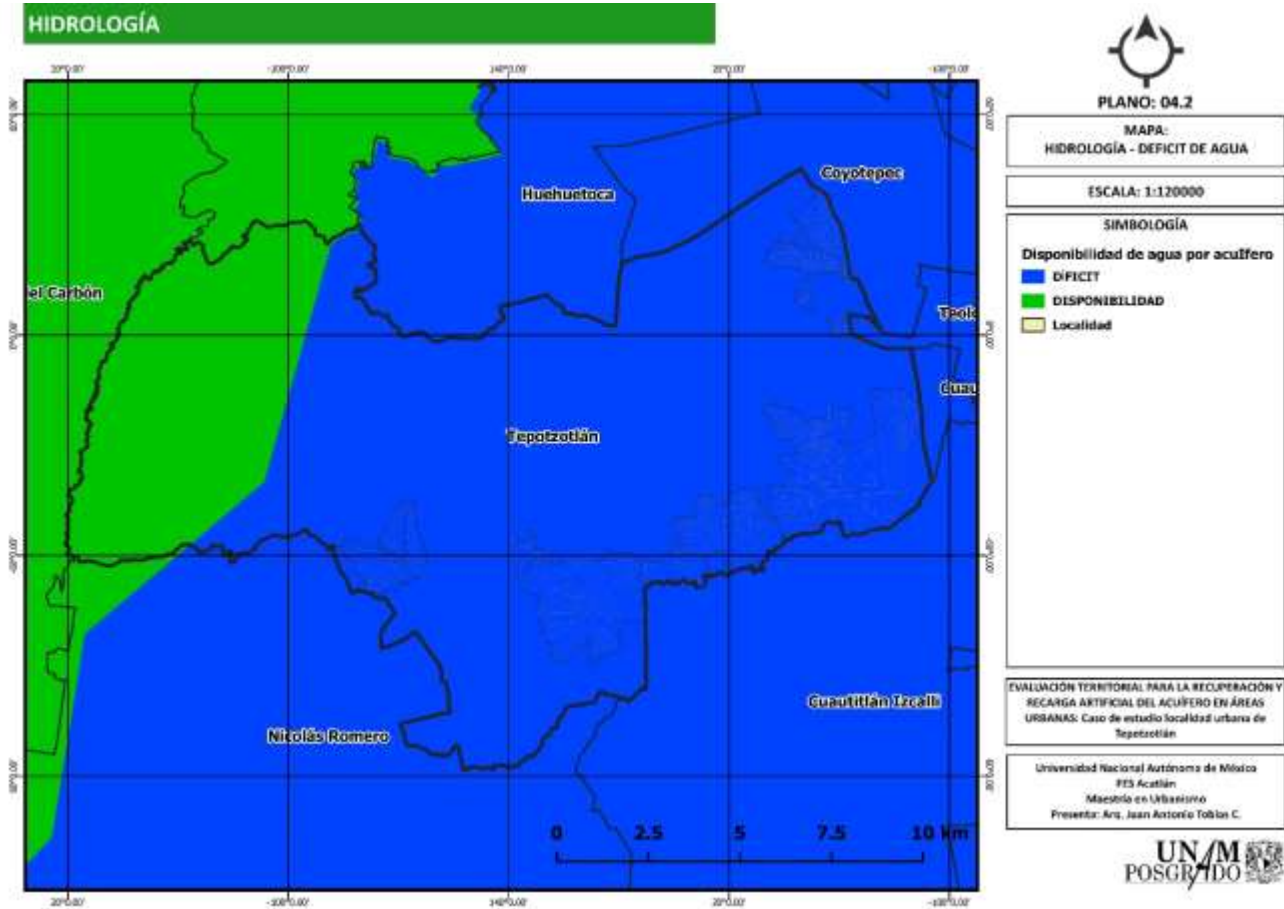
conjunto con otros municipios como es el caso de Cuautitlán Izcalli, el cual ha tenido una alta expansión urbana en las últimas décadas, han afectado parte los acuíferos subterráneos de la zona, esto representa una extracción intensa por la demanda urbana con base a las necesidades de uso y consumo de agua, tanto de la parte habitacional y la industrial, por lo que esta área en particular la misma Comisión Nacional del Agua, lo considera como zonas con déficit de recurso; el municipio de

Tepotzotlán, así como su municipio adjunto de Cuautitlán Izcalli no cuenta con una infraestructura efectiva para un sistema de recarga artificial, que aporte sustentabilidad al entorno urbano.

Plano 7. Extracción de aguas subterráneas



Plano 8. Déficit de agua en aguas subterráneas



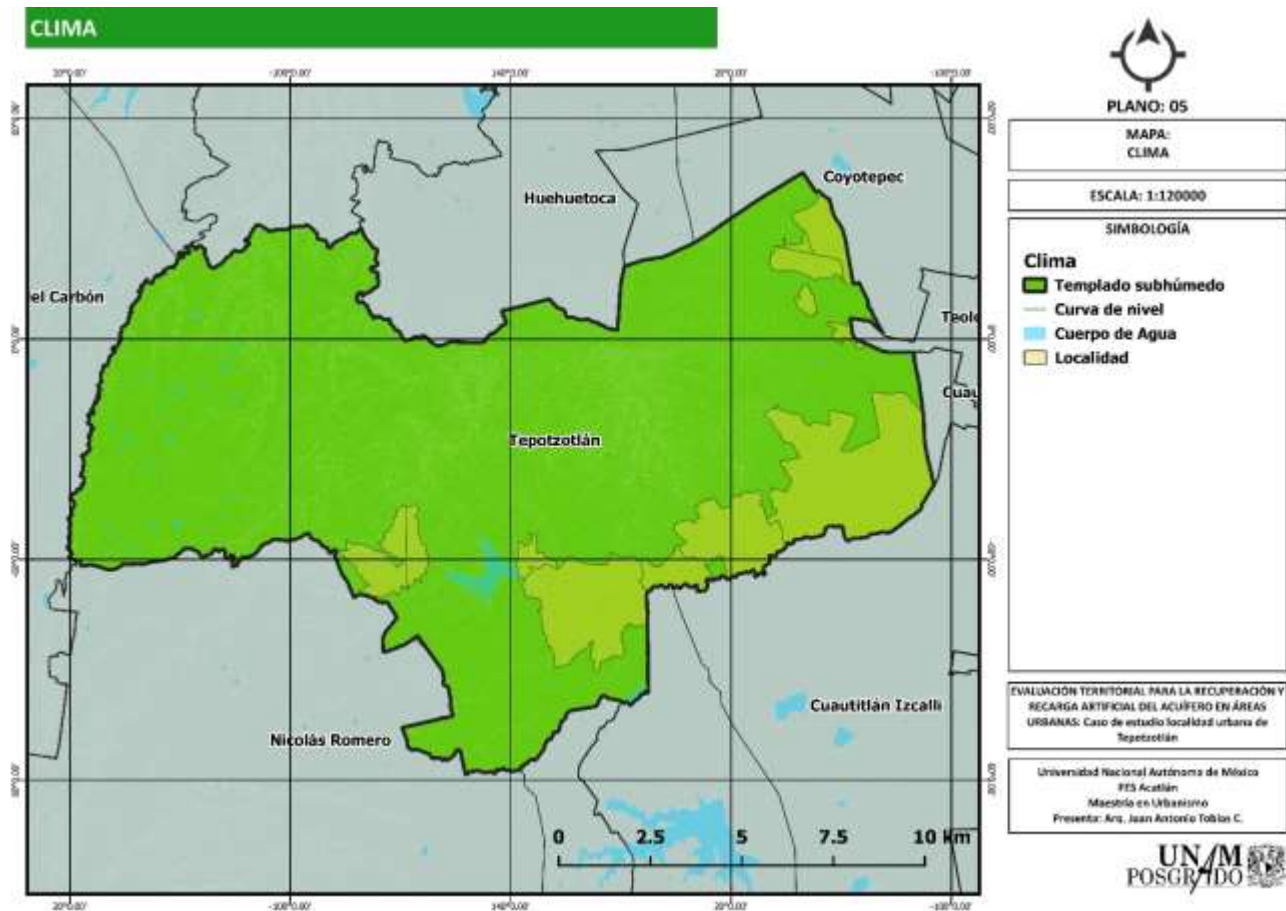
Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI

5.4.- Clima

El clima en el municipio es Templado subhúmedo con lluvias en verano de humedad media (56.59%), templado subhúmedo con lluvias en verano de mayor humedad (22.33%) y templado subhúmedo con lluvias en verano de menor humedad (21.08%) y heladas en invierno. La temperatura media es de 16°C, la máxima extrema de 30°C y la mínima extrema es de 3.3°C. La evaporación es de 1551.47, la lluvia mínima en 24 horas es de 50.5 mm, la precipitación total 703.2 mm, los vientos dominantes tienen su curso de noreste-oeste (N-E-WL-C).

Por otra parte, sí bien es cierto que la investigación se sustenta en la recarga de las aguas subterráneas, sea por medios pluviales o aguas residuales, no es una limitante para el desarrollo y desempeño del proyecto planteado, ya que este se basa principalmente en la recolección del agua que se suministra y consumen en las viviendas, para su respectivo reciclamiento e inyección al subsuelo, sin embargo cabe aclarar que la recolección de agua pluvial podría modificar los procesos de tratamiento, en cuanto al volumen de agua para ciertos meses del año.

Plano 9. Clima de Tepetzotlán



Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI

5.2. Dinámica demográfica, vivienda y suelo

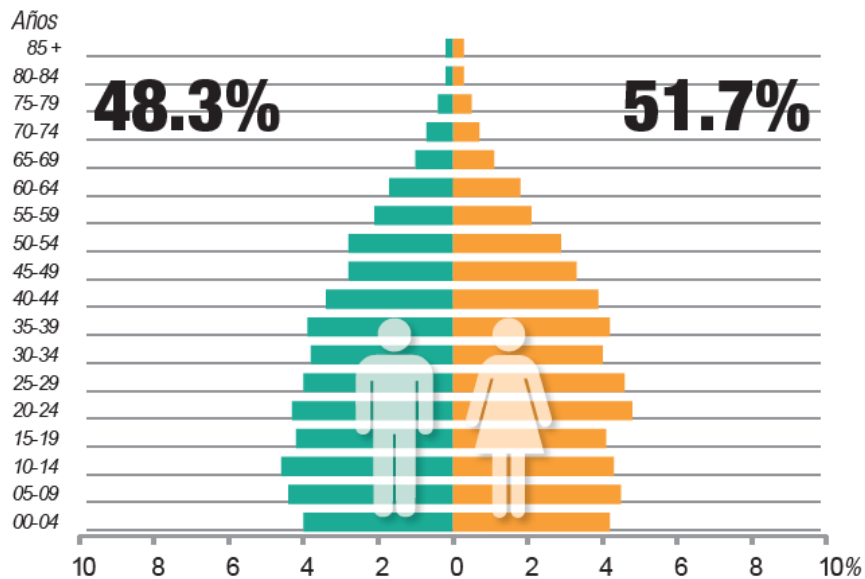
Dadas las condiciones de la extensión de las aguas subterráneas extraídas, para el sustento del desarrollo urbano y que van a lo largo de varios municipios, como lo es el caso que se presenta en Tepetzotlán, el cual comparte el acuífero denominado CUAUTITLÁN-PACHUCA, con el municipio de

Cuautitlán Izcalli, trataremos la situación demográfica que prevalece en la actualidad con estos dos municipios, con el objeto de analizar y entender su crecimiento poblacional y urbano.

5.2.1.- Población

Mediante la información de los censos de población y vivienda, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), con el propósito de actualizar las estadísticas sociodemográficas a mitad del periodo entre los censos de 2010 y 2020, realizó en 2015 la Encuesta Intercensal, con el objeto de generar información estadística que proporcione estimaciones sobre el volumen, la composición y distribución de la población y de las viviendas del territorio nacional (INEGI, 2016, pág. 3), así el municipio de Tepetzotlán cuenta con una población total de 88,559 habitantes de los cuales 43,521 son hombres y 45,038 mujeres respecto al censo 2010 y para el 2015 de acuerdo a los datos del INEGI e IGECEM;. esta corresponde a 94,198 habitantes, lo que representa 0.55% del total de población del Estado de México, y que se divide en 48.3 % en hombres y el 51.7 a la mujer.

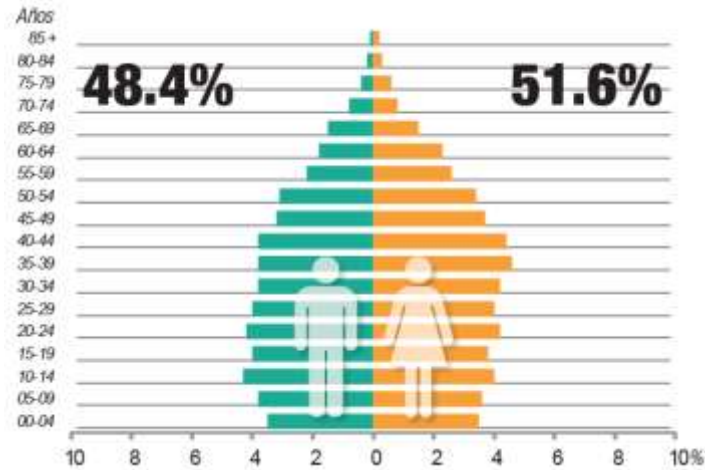
Gráfica 2. Pirámide demográfica de Tepetzotlán



Fuente: Encuesta intercensal de INEGI

Por otra parte, el municipio de Cuautitlán Izcalli cuenta con una población total de 511,675 habitantes de los cuales 248,552 son hombres y 263,123 mujeres respecto al censo 2010 y para el 2015 corresponde a 531,041 habitantes.

Gráfica 3. Pirámide demográfica de Cuautitlán Izcalli

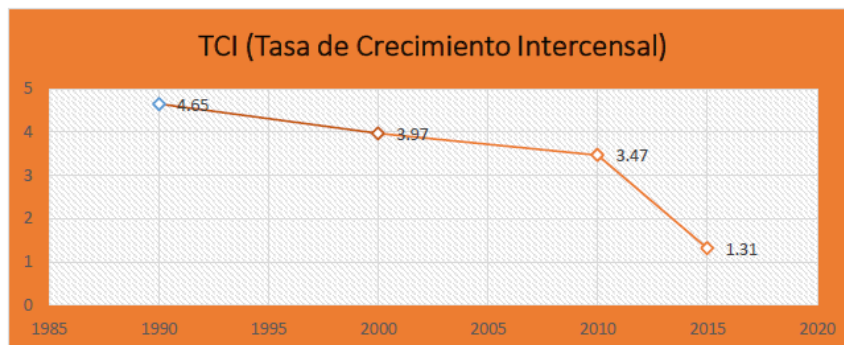


Fuente: Encuesta intercensal de INEGI

5.2.2 Crecimiento poblacional

Tepetzotlán es un municipio que al paso de los años ha presentado un crecimiento poblacional moderado. A pesar de que en las últimas 3 décadas tenía una tasa promedio de 4.03 (1990 a 2010), de 2010 a 2015 mantuvo una tasa de crecimiento de 1.3 que está muy por debajo de su histórico intercensal como se observa en la siguiente gráfica, sin embargo, su población se duplicado en casi 2.375 veces en un periodo de 25 años (1990-2015), con una densidad poblacional actual de 471.5 hab/km².

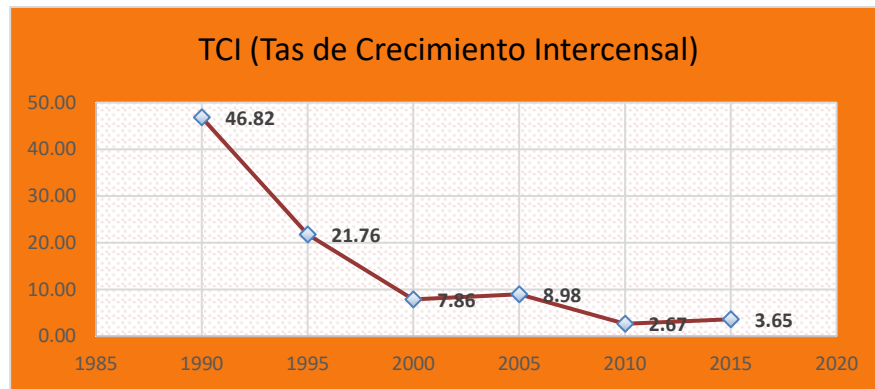
Gráfica 4. Tasa de crecimiento de Tepetzotlán 1990 – 2010 - 2015



Fuente: IGECM. Dirección de Estadística elaborado con información del INEGI. Censo General de Población y Vivienda, 2000. Censo de Población y Vivienda, 2010. Encuesta Intercensal, 2015.

En lo que respecta a Cuautitlán Izcalli, fue creado en el año 1973, lo que conlleva a que el primer conteo como municipio se realizó en 1980, elaborado por INEGI, arrojando una población de 173,754 habitantes, para 1990 se presentó un fuerte incremento de población con el 46% (326,750 habitantes), para 1995 creció el 21.76% (417,647 habitantes) el año que ha tenido menor crecimiento se presenta en 2010 con 2.67% (511,675 habitantes), actualmente de acuerdo con la encuesta intercensal 2015 el municipio cuenta con 531,041 habitantes, sin embargo, su población se duplicado en casi 1.625 veces en un periodo de 25 años (1990-2015) con una densidad de población de 4,815 hab/km2.

Gráfica 5. Tasa de crecimiento de Cuautitlán Izcalli 1990 – 2010 - 2015



Fuente: IGECEM. Dirección de Estadística elaborado con información del INEGI. Censo General de Población y Vivienda, 2000. Censo de Población y Vivienda, 2010. Encuesta Intercensal, 2015.

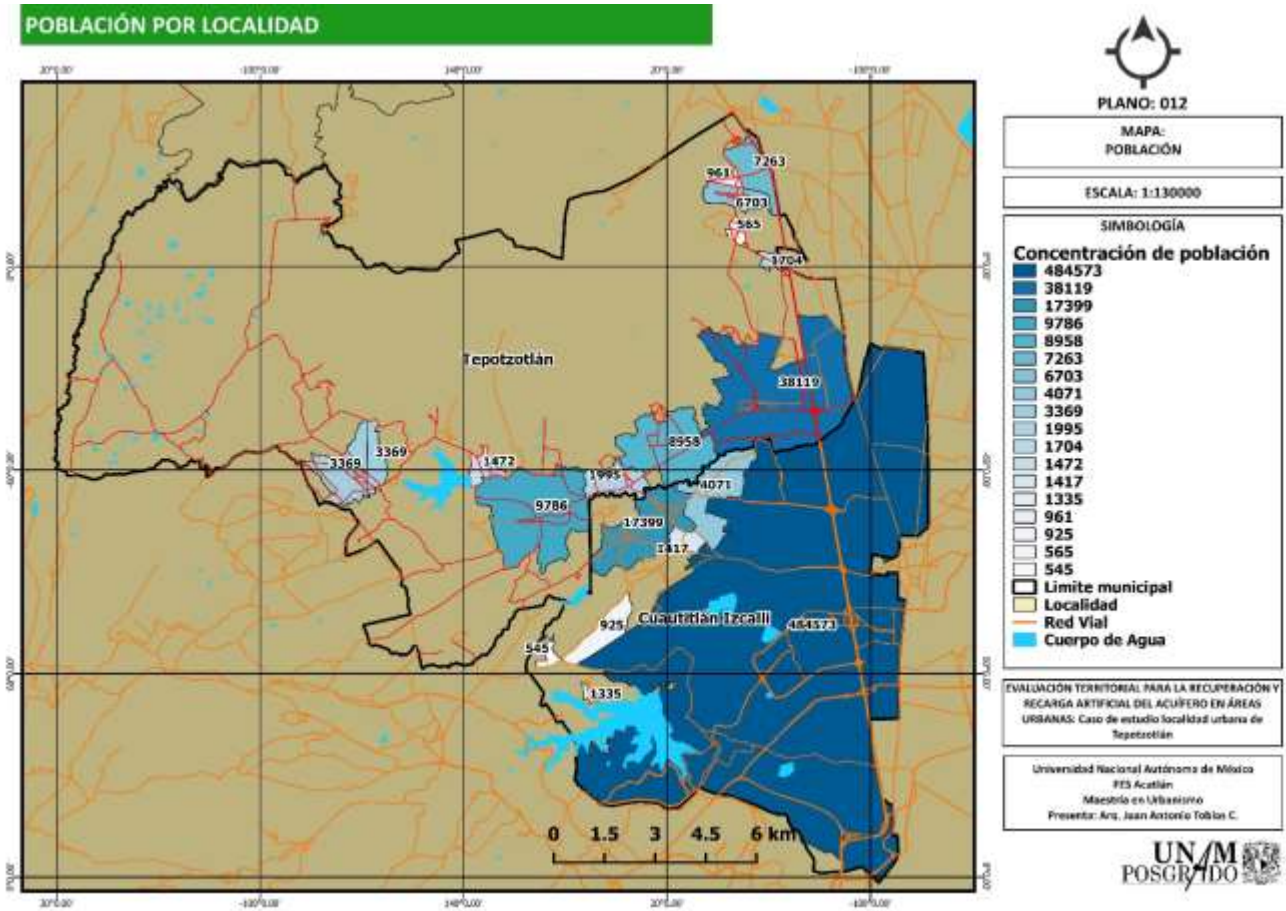
De seguir así con las últimas tendencias de crecimiento del conteo intercensal 2015 estaríamos hablando que cada 10 años la población de Tepetzotlán crecería 11,278 habitantes y la de Cuautitlán Izcalli sería de 38,732 por lo que en 30 años su población tendría un aumento adicional de 33,834 y de 116,196 habitantes respectivamente, y una demanda de viviendas total de casi 37,500.

Tabla 5. Crecimiento de Tepetzotlán y Cuautitlán Izcalli 1980 - 2010

Municipio	Año censal				Encuesta Intercensal
	1980	1990	2000	2010	2015
Tepetzotlán	27,099	39,647	62,280	88,559	94,198
Cuautitlán Izcalli	173,754	326,750	453,298	511,675	531 041

Fuente: Elaboración propia con datos del censo de población y vivienda INEGI

Plano 10. Concentración de población



Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI

En la lámina superior observamos la repartición de la población por localidad, donde los tonos más oscuros representan una alta concentración de la población, y los tonos más claros son las áreas que tienen una población muy baja. Esta parte es importante para definir el movimiento de la población por su relación de masas, es decir, la concentración de habitantes sumado con la conectividad vial entre los municipios, nos puede indicar hacia donde influyen sus actividades económicas, de movilidad y de consumo del agua, aunque claramente percibimos que el municipio de Cuautitlán Izcalli tiene una mayor población la cual indudablemente genera una participación en la afectación de los acuíferos de su entorno, impactando de esta forma al municipio de Tepotzotlán cuyas aguas subterráneas son compartidas ente ambos, y sin perder de vista que la obtención del recurso se realiza mediante la extracción por medio de pozos. Por otra parte, cualquiera de estos municipios por

su alta concentración poblacional, tiene el potencial para poder hacer algún tipo de proyecto de recuperación de aguas residuales y la recarga artificial del acuífero.

5.2.3 Dinámica Económica

Las actividades de una región, municipio o localidad, determinan los procesos realizados para producir bienes o servicios dentro de los ámbitos de desarrollo urbano, mediante factores de producción, sea de carácter primario, secundario o terciario, y satisfacen las necesidades de la sociedad con la finalidad de conseguir un beneficio, estas sirven para generar riquezas y contribuyen a la economía de un país. Sin embargo, pueden ser un indicador para determinar la cantidad de consumo de agua y uso en la parte urbana, es por ello que en este apartado analizaremos cuales son los sectores económicos que pueden tener mayor injerencia en el consumo de agua.

La actividad de la población de Tepetzotlán y Cuautitlán Izcalli, nos va dando un margen de que tanto se pueden mover los sectores de la economía, por su volumen de habitantes inmersos en cada actividad económica, tal es el caso que el sector de los servicios que tiene un volumen de población

Tabla 6. Población económicamente activa 2017

Municipio	Población ocupada por sector de actividad económica				
	PEA	Total	Agropecuario, silvicultura y pesca	industria	servicios
Tepetzotlán	44,653	42,497	913	15,309	26,052
Cuautitlán Izcalli	255,307	242,980	610	62,805	178,550

Fuente: Elaboración propia con datos del IGECEM/Información socioeconómica básica regional del Estado de México

con mayor participación que otros sectores, pero estas actividades no necesariamente dependen de un alto uso y consumo de agua, según datos de la CONAGUA, los porcentajes de consumo promedio que se tienen registrados por actividades económicas, en primera instancia se encuentra el uso agrícola ocupa el primer lugar con el 68.23% de este volumen, le siguen en importancia el uso público con el 14.52%, el uso industrial con el 7.41%, el uso múltiple con 6.50% y los demás usos que no alcanzan el 2%. (SEMARNAT, Edición 2016, págs. 77-85)

Por otro lado, el Producto Interno Bruto (PIB) para 2017 alcanzó la cifra de 86,255.6 millones de pesos, en términos reales entre Tepetzotlán y Cuautitlán Izcalli, y está conformado por 181.51 millones del sector agropecuario, 22,734.14 millones de pesos del sector industrial, 61,185.82 millones de pesos del sector servicios.

Tabla 7. Producto interno bruto (millones de pesos)

Municipio	PIB municipal			
	PEA	Agropecuario, silvicultura y pesca	industria	servicios
Tepetzotlán	16,792.77	131.68	5,752.86	10,472.79
Cuautitlán Izcalli	69,461.83	49.83	16,981.28	50,713.03

Fuente: Elaboración propia con datos del IGECEM/Información socioeconómica básica regional del Estado de México

Los municipios con una mayor aportación en la generación del PIB en la región son Cuautitlán Izcalli con 69 461.83 millones de pesos y Tepetzotlán con 16 792.77 millones de pesos. Los municipios antes mencionados concentran el 90.57% del PIB de la región Cuautitlán Izcalli. (IGECEM, 2017)

La tendencia del sector de servicios a pesar de ser la de mayor jerarquía, en cuanto volumen de producción, no necesariamente representa un consumo hídrico agravante en el consumo de agua urbano, así pues la industria se desarrolla de forma disímil, ya que ambos municipios cuentan con una alta capacidad industrial, y según los datos del plan de desarrollo municipal de Tepetzotlán mencionan que ***“El suministro de agua potable en bloque que se destina a la población, a la industria, y en actividades particulares, se hace mediante un total de 15 pozos, ubicados en diferentes puntos del territorio municipal, de los cuales 2 se encuentran inactivos, 4 de ellos para fines industriales, y 9 para atender la demanda de la población, con lo cual se entrega un volumen aproximado de 372,776 M3 por mes.”*** (Tepetzotlán, 2019, pág. 210) para el caso de Cuautitlán Izcalli, ***“el abastecimiento de agua potable, se lleva a cabo a través de 52 pozos, 25 sistemas de bombeo***

y 11 derivaciones del Macro Circuito Cutzamala.” (Izcalli, 2020, pág. 413), los otros 17 forman parte del sistema de extracción del municipio.

De acuerdo al último Censo Económico de 2017, las Unidades Económicas registradas Tepetzotlán son de un total de 3,645 y para Cuautitlán Izcalli con 18,265, distribuidas de la siguiente forma:

Tabla 8. Unidades económicas de Tepetzotlán y Cuautitlán I.

Municipio	Unidades Económicas			
	Sector Primario	Sector secundario	Sector Terciario	Total
Tepetzotlán	1	322	3,322	3,645
Cuautitlán Izcalli	1	1,566	16,698	18,265

Fuente: Elaboración propia con datos de los PDUM de Tepetzotlán y C. Izcalli

En el concentrado expresado por unidades económicas, nuevamente es claro el predominio de los sectores terciarios, y subsecuentemente los secundarios.

5.2.4 Vivienda

El presente análisis se apoyó Mediante la información de los censos de vivienda, del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), entre los censos de 1990, 2010 y 2015 con la Encuesta Intercensal. Al corte de 2015 el municipio de Tepetzotlán ha registrado un total de 25,547 viviendas particulares de las cuales el 84.99% son habitadas, el 8.94% son deshabitadas y el 6.06% son de uso temporal; mientras que el municipio de C. Izcalli tiene un total de 148,877 viviendas.

Tabla 9. Incremento de viviendas en el periodo 1990 - 2015

Municipio	Periodo de tiempo			Veces de crecimiento 25 años
	1990	2010	2015	
Tepetzotlán	7,667	21,193	25,547	3.31
Cuautitlán Izcalli	67,582	131,150	148,877	2.20

Fuente: Elaboración propia con datos del censo de población y vivienda Encuesta intercensal 2015 INEGI

Así mismo las viviendas que se ubican en estos nuncios cuentan en su gran mayoría con los servicios primarios tanto de agua como drenaje, sin embargo, para Tepetzotlán se puede advertir que en sus servicios de agua entubada en bajo, y esto se debe a que a la fecha cuenta bastantes áreas alejadas de tipo rural, donde si podemos encontrar comunidades marginadas, y que seguramente son grupos indígenas y en algunos otros casos lugares demasiados distantes, lo mismo pasa con la situación de la conexión a drenaje, donde encontramos lugares que el agua residual es vertida a los ríos.

Tabla 10. Viviendas que cuentan con servicios - 2015

Municipio	Total, de viviendas particulares	Cuentan con agua entubada	Cuentan con conexión de drenaje
Tepetzotlán	25,329	90.06	96.7
Cuautitlán Izcalli	148,877	97.16	98.73

Fuente: Elaboración propia con datos del censo de población y vivienda, Encuesta intercensal 2015 INEGI

En cuanto al municipio de C. Izcalli este tiene casi una cobertura total, y las diferencias que se observan, prácticamente son en su área más lejas, ya que este municipio cuenta con ya pocas áreas rurales y alguna que otra área marginada, que con independencia de los servicios se abastecen por medios propios.

Por último es de enfatizar que en los últimos veinticinco años (1990-2015) el crecimiento de ambos municipios ha sido relevante en cuanto a la creación de vivienda, siendo que Tepetzotlán aumento en 17,662 nuevas viviendas dentro de este lapso de tiempo, lo que representa una reproducción de 3.1 veces respecto de las viviendas originadas en 1990, por otro lado en el municipio de Cuautitlán Izcalli presento un incremento de 81,295 nuevas viviendas en la misma línea de tiempo pero este tiene un crecimiento de 2.20 veces más respecto a 1990, es decir, a pesar de tener una menor población el municipio de Tepetzotlán, este presenta una tendencia de crecimiento de 1.11 veces más que Cuautitlán Izcalli, probablemente este incremento es debido a que los espacios dentro de C. Izcalli inician un proceso de saturación y que seguramente en un futuro serán las próximas áreas absorbidas por la mancha urbana.

5.2.5.- Crecimiento del territorio

El consumo de los recursos es provocado por la expansión urbana, la vivienda como tal genera una necesidad de requerir espacios naturales para su implementación, que en algún momento fueron áreas de equilibrio para la biodiversidad, y que ahora son de carácter urbano, puesto que el crecimiento de la población requiere de una demanda de espacio para su estancia; en las últimas 3 décadas la Zona Metropolitana del Valle de México, ha sido testigo del crecimiento de la mancha urbana, afectando poco a poco todas aquellas áreas libres que servían para el uso sustentable del ciclo hídrico; como ejemplo, se presenta un seguimiento cartográfico del crecimiento urbano del área metropolitana y sus alrededores, basado en una línea de tiempo que va del año 1995 al 2015. En esta se mide la densidad de población por color, identificando en amarillos todos aquellos espacios que tiene una población baja pero que hacen ya uso del suelo, y que se consideran como parte de una mancha urbana, y en el extremo encontramos las áreas con mayor densidad de población, las tonalidades verdes de mayor intensidad, sin embargo en la comparativa de estos mapas situados en distintas líneas de tiempo, encontramos que con independencia de la densidad que pueda tener una área, hay localidades o municipios que tiene una media densidad poblacional, pero su extensión territorial urbana puede ser muy muy extendida.

Plano 11. Proyección del crecimiento urbano de la ZMVM



Fuente: centrourbano.com / mapa de crecimiento con forme a las proyecciones de población de CONAPO



Fuente: centrourbano.com / mapa de crecimiento con forme a las proyecciones de población de CONAPO

En cuanto respecta al municipio de Tepetzotlán ya se presenta un efecto singular de expansión aunado a su vecino colindante de C. Izcalli, lo cuales a lo largo del tiempo han crecido en su densidad de población y cada vez abarcando mayor área territorial. Las siguientes laminas satelitales demuestran cómo se ha desarrollado el crecimiento de ambas localidades al paso de 3 décadas.

Foto 8. Crecimiento de Tepetzotlán y C. Izcalli



Tepetzotlán y C. Izcalli 1990

Fuente: Google Heart pro.



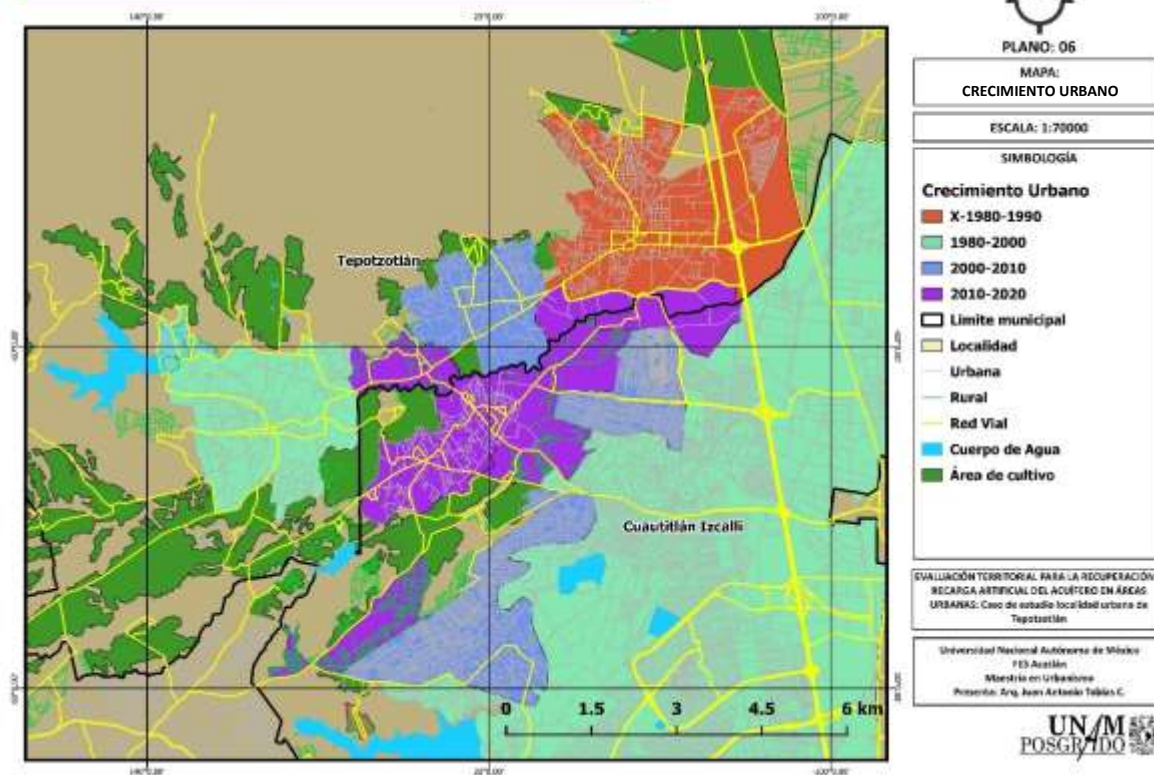
Tepetzotlán y C. Izcalli 2020

Fuente: Google Heart pro.

El crecimiento municipal de Tepetzotlán y Cuautitlán Izcalli se vieron impactados en la década de los ochentas, en este punto entre 1980 a 2000 se crea el primer segmento urbano, que finca la base para la planeación de estos municipios, cabe mencionar que, a consecuencia del terremoto del 1985, en este punto inicia a generarse un incremento de población considerable, principalmente en C. Izcalli el cual afectaría posteriormente al municipio de Tepetzotlán respecto al segundo segmento de urbanización que se presenta entre el año 2000 y 2010, cuando se inicia con la planeación en la parte colindante de los municipios; por último se tiene planeado entre 2010 y 2020, áreas que en su momento fueron para cultivo y que actualmente se tienen destinadas para el crecimiento urbano.

Plano12. Crecimiento urbano

CRECIMIENTO URBANO POR ETAPAS (EXPANSIÓN TERRITORIAL)



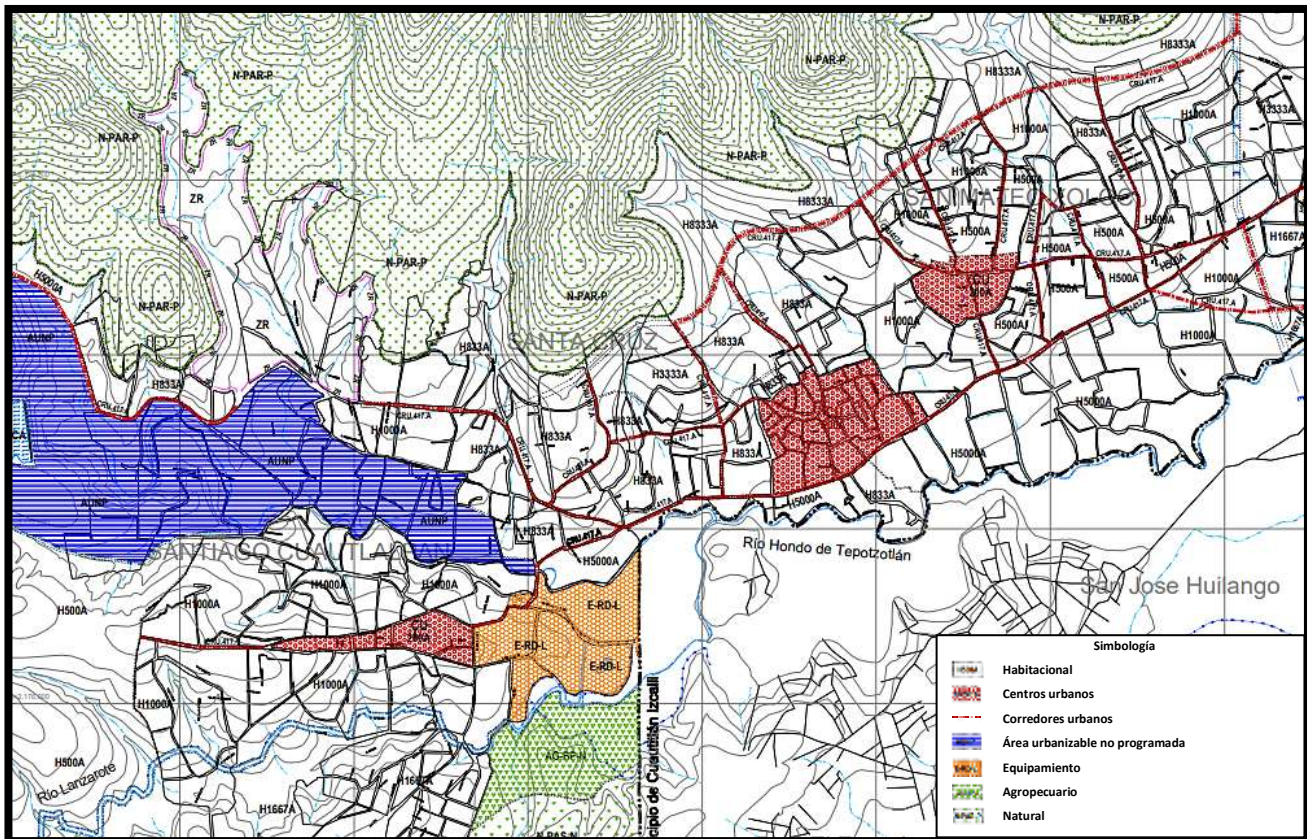
Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI

Cabe mencionar que las calles coloreadas en línea gris representan todas las localidades urbanas, así pues, las líneas verdes son los puntos que se consideran como áreas rurales, las cuales ya se ve una tendencia de urbanización que se representa con el color púrpura, y que probablemente posterior a 2020 se incorporaran como zona urbana. Así también observamos como se puede apreciar en las imágenes satelitales, como paulatinamente han sido absorbidas las áreas de cultivo por el crecimiento de las zonas urbanas y que ya son realmente la minoría en C. Izcalli, sin embargo, el área de Tepetzotlán, presenta muchas más áreas de esta índole, pero que talvez en un futuro las zonas rurales más cercanas a la zona urbana de Tepetzotlán, serán integradas por el efecto de saturación del suelo urbano en el municipio adjunto.

5.2.6 Usos del suelo

El uso de suelo del municipio de Tepetzotlán presenta en su gran mayoría un uso habitacional en baja y median densidad dentro de la zona centro y a lo largo del territorio, a este último se suman actividades primarias y terciarias, en color azul se prevé la proyección de suelo urbanizable para un futuro crecimiento, así mismo en toda la extensión del del polígono podemos localizar usos de _

Plano 13. Uso del suelo zona centro y suroeste



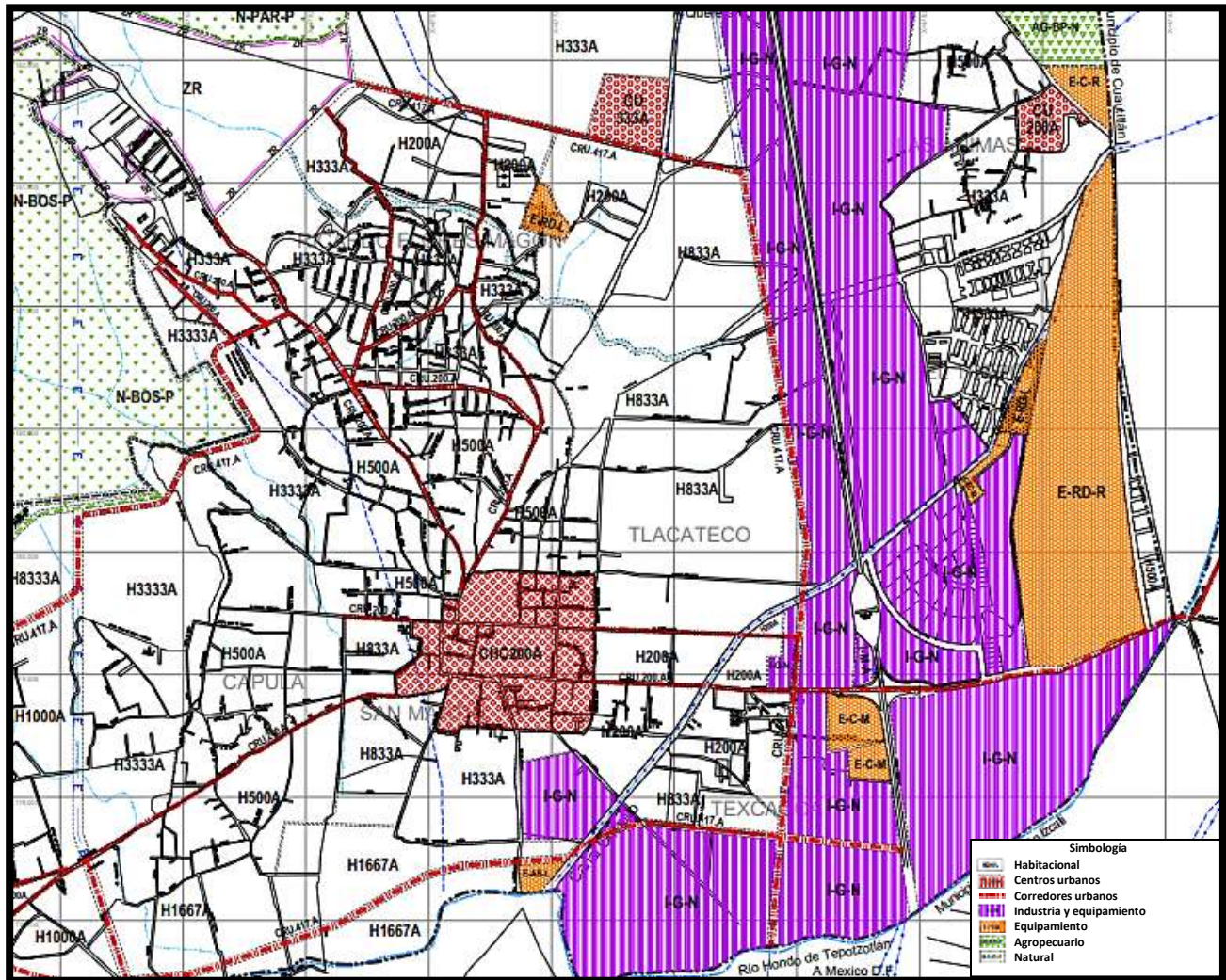
H200A	Actividades terciarias, vivienda de media densidad y manufactura	H833A	Actividades terciarias, vivienda de media densidad
H500A	Actividades terciarias, vivienda de baja densidad y manufactura	H3333A	Actividades terciarias y vivienda de baja densidad
H833A	Actividades terciarias, vivienda de baja densidad y manufactura	H5000A	Actividades terciarias y vivienda de baja densidad
H1000A	Actividades terciarias, vivienda de baja densidad y manufactura	H8333A	Actividades terciarias y vivienda de baja densidad
H1667A	Actividades terciarias y vivienda de baja densidad		

CU200A	(centro urbano) Vivienda de media densidad, comercio, oficinas, servicios especializados, centro de abasto y comerciales, alimentos, educación, equipamiento y cultura.
CU333A	(centro urbano) Vivienda de media densidad, comercio, oficinas, servicios especializados, centro de abasto y comerciales, alimentos, educación, cultura, equipamiento, bodegas, salud, deportes, hospedaje, parques.
CU5003A	(centro urbano) Vivienda de media densidad, comercio, oficinas, servicios especializados, centro de abasto y comerciales, alimentos, educación, cultura, equipamiento, bodegas, salud, deportes, hospedaje, parques, central de autobús, comunicaciones, manufactura, agricultura y ganadería.

Fuente: secretaría de desarrollo urbano y metropolitano/Plan de desarrollo municipal de Tepetzotlán

suelos dirigidos a la educación, comercio, deportes, cultura, equipamiento y recreación, en términos generales están abocados a los servicios. Los corredores urbanos están localizados en la zona centro del municipio y la parte industrial catalogada como mediana y grande, se encuentra al margen de la autopista México-Querétaro.

Plano 14. Uso del suelo zona centro y este

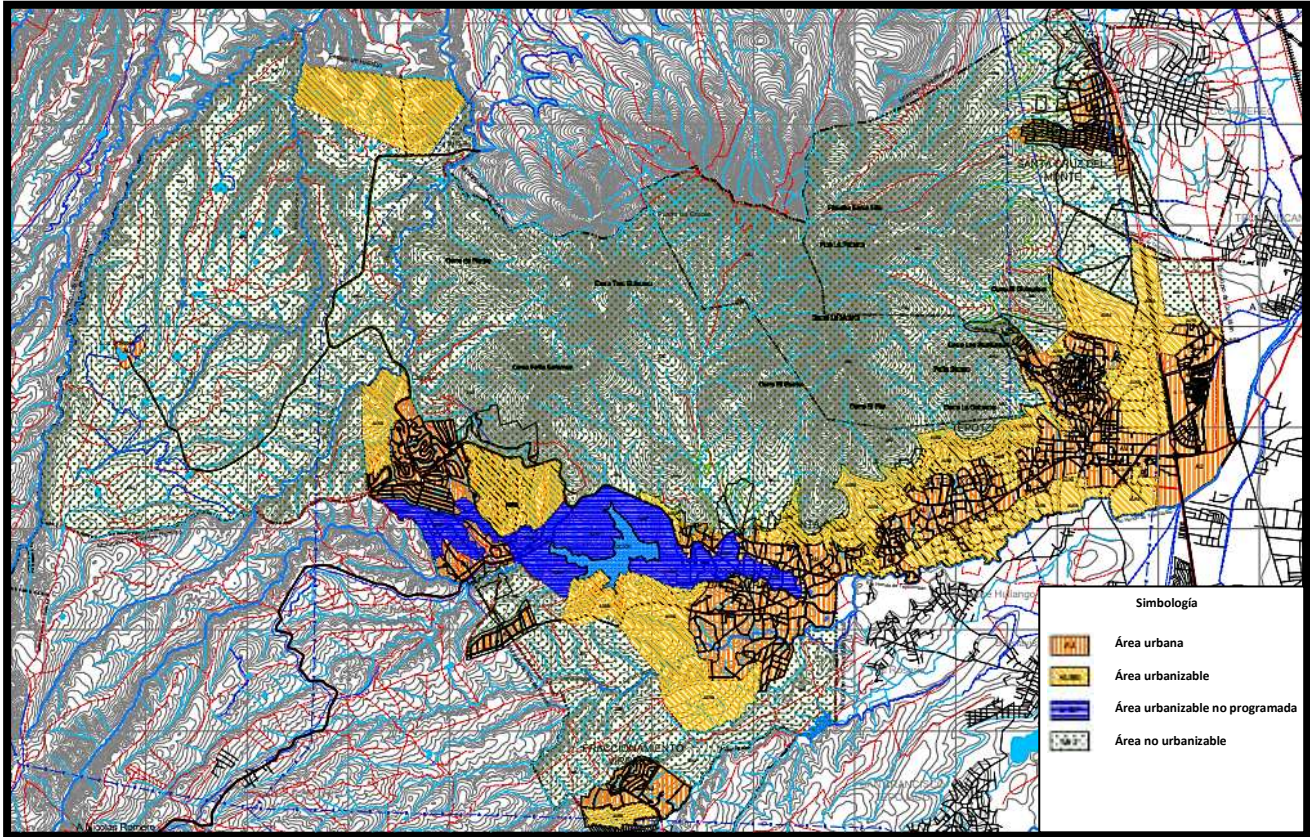


H200A	Actividades terciarias, vivienda de media densidad y manufactura	H833A	Actividades terciarias, vivienda de media densidad
H500A	Actividades terciarias, vivienda de baja densidad y manufactura	H3333A	Actividades terciarias y vivienda de baja densidad
H833A	Actividades terciarias, vivienda de baja densidad y manufactura	H5000A	Actividades terciarias y vivienda de baja densidad
H1000A	Actividades terciarias, vivienda de baja densidad y manufactura	H8333A	Actividades terciarias y vivienda de baja densidad
H1667A	Actividades terciarias y vivienda de baja densidad		

CU200A	(centro urbano) Vivienda de media densidad, comercio, oficinas, servicios especializados, centro de abasto y comerciales, alimentos, educación, equipamiento y cultura.
CU333A	(centro urbano) Vivienda de media densidad, comercio, oficinas, servicios especializados, centro de abasto y comerciales, alimentos, educación, cultura, equipamiento, bodegas, salud, deportes, hospedaje, parques.
CU5003A	(centro urbano) Vivienda de media densidad, comercio, oficinas, servicios especializados, centro de abasto y comerciales, alimentos, educación, cultura, equipamiento, bodegas, salud, deportes, hospedaje, parques, central de autobús, comunicaciones, manufactura, agricultura y ganadería.

Fuente: secretaría de desarrollo urbano y metropolitano/Plan de desarrollo municipal de Tepetzotlán

Plano 15. Uso del suelo zona centro y este



Fuente: secretaría de desarrollo urbano y metropolitano/Plan de desarrollo municipal de Tepetzotlán

Por último, cabe mencionar que el municipio de Tepetzotlán pretende una expansión a mediano y largo plazo, puesto que ya inicia contemplando la ocupación de estos espacios, a pesar de no estar aun definidos en cuanto a la etiqueta de suelo será, así bien lo podemos visualizar en plano general de ocupación del suelo, y que sin duda el uso que tendrá mayor predominio será primeramente el rubro de uso habitacional, seguido por el sector terciario de servicios.

5.3. Medio urbano

5.3.1.- Infraestructura vial

El municipio de Tepotzotlán cuenta con una amplia infraestructura de vialidades y puntos de interconexión en conjunto con el municipio de C. Izcalli y que sirven para una comunicación rápida y eficiente, con ello se garantiza el desplazamiento intermunicipal de sus habitantes, generando una accesibilidad a lo largo de la zona suroeste del municipio, motivo por el cual esta zona ha presentado incrementos de expansión urbana, ya que históricamente el único punto de acceso era por la entrada de la autopista México – Querétaro, siendo la única forma de llegar hasta el otro extremo del mismo, actualmente se tiene el libramiento sur que también da conectividad directamente con la autopista y zonas industriales de Tepotzotlán, y facilita el ingreso de la población colindante hacia la parte suroeste del municipio. Otra de las avenidas importantes es el paseo de los insurgentes que posteriormente se convierte en Paseo de las buganvillas avenida insurgentes y que recorre por todas las localidades urbana. Entre las vialidades principales del municipio de Tepotzotlán se encuentran las siguientes.

Vialidades primarias

Carretera - Autopista México – Querétaro.

Carretera Tepotzotlán – Villa Nicolás Romero (recorre Santiago Cuautlalpan, Barrio la Luz, La Concepción y Cañada de Cisneros).

Avenida - Paseo de las Baganvillas (recorre los Barrio Capula, poblado de San Mateo Xóloc, poblado de Santa Cruz y poblado de Santiago Cuautlalpan).

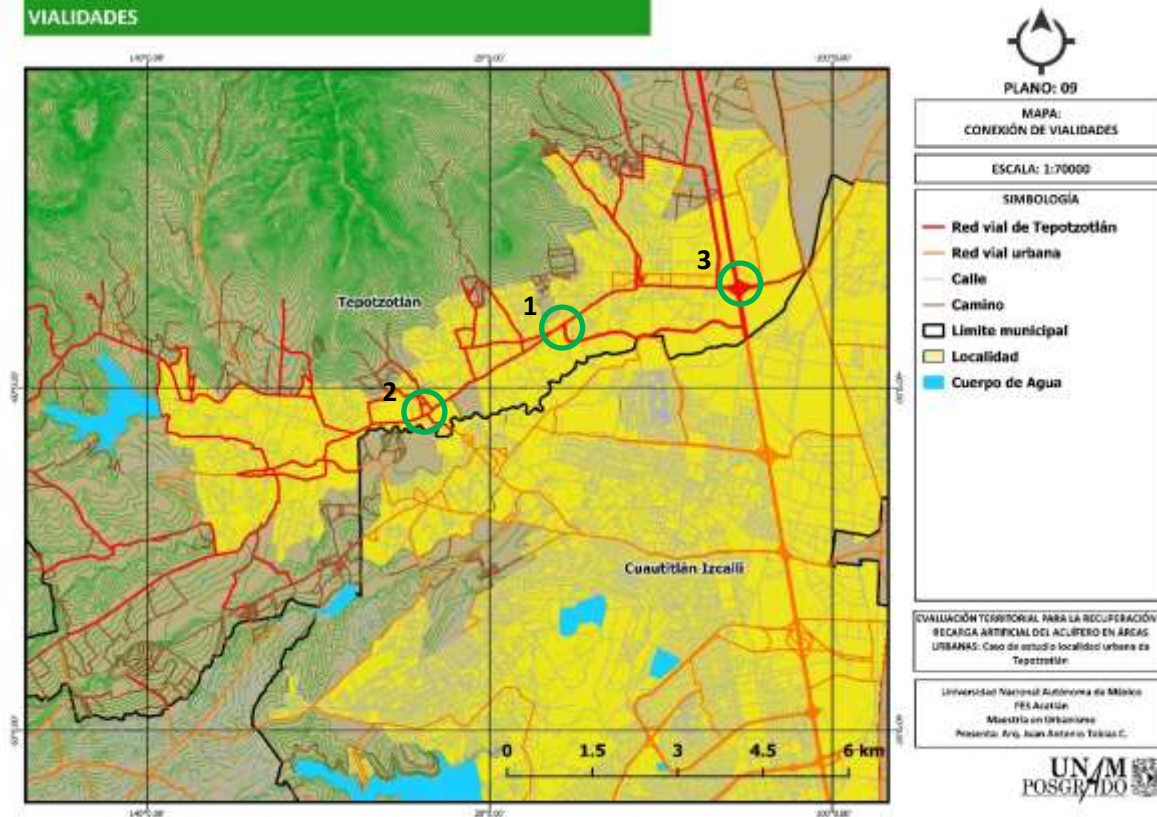
Avenida - Libramiento Norte (recorre Barrio Tlacateco y Colonia Ricardo Flores Magón).

Boulevard - Libramiento Sur (recorre Barrio Capula, Barrio Texcacoa y Barrio San Martín).

Avenida - Av. Insurgentes (recorre Barrio Texcacoa, Barrio San Martín y Barrio de Capula).

Avenida - Av. Lic. Benito Juárez (recorre Barrio Tlacateco y Barrio San Martín).

Plano 16. Interconexión de vialidades



Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI

El punto uno y dos, son intersecciones viales que han ayudado en gran cantidad a la movilidad urbana entre ambos municipios, el primero corresponde al libramiento sur en interconexión con la avenida de los Insurgentes, y el segundo punto que se conecta con avenida buganvillas deriva su origen en avenida Chalma, que interconecta con la autopista México – Querétaro, y un tercer punto es la entrada principal de municipio de Tepotzotlán, la cual da una accesibilidad directa a la nueva zona industrial que se encuentra colocada en la parte Sureste del municipio. Como puede observarse, de no ser por los puntos uno y dos, el municipio de Tepotzotlán permanecería aislado y seguramente su crecimiento urbano hubiera sido muy distinto del actual, así bien las interconexiones viales realizadas dentro de las últimas dos décadas han permitido crear una dinámica económica con mucho mayor movilidad, para una conectividad efectiva hacia las arterias principales, desembocando con la vialidades importantes como la autopista México – Querétaro, por lo que debe tenerse presente que ha ayudado a reducir tiempos de traslado para los sectores tanto primario, secundario y terciario, ya

sea hacia la Ciudad de México, Naucalpan, Atizapán, Tlalnepantla, Cuautitlán, Cuautitlán Izcalli, y hacia Querétaro; además de generar un impulso económico para las áreas más rezagadas por su limitación y ubicación geográfica entre los municipios colindantes, que en su momento a falta de movilidad urbana, no presentaban crecimiento, tanto de población como económico.

5.3.2.- Infraestructura hidráulica

En el municipio de Tepetzotlán el suministro de agua potable en bloque que se destina a la población, a la industria, y en actividades de servicios, se hace mediante un total de 15 pozos, ubicados en diferentes puntos del territorio municipal, de los cuales **2 se encuentran inactivos**, 4 de ellos para fines industriales, y 9 para atender la demanda de la población, el agua que se distribuye a la población es de un volumen aproximado de **372,776 M3 por mes** a toda la población. (Tepetzotlán, 2019, pág. 210), para el caso de Cuautitlán Izcalli, “el abastecimiento de agua potable, se lleva a cabo a través de 52 pozos.” (Izcalli, 2020, pág. 413), los cuales originan un gasto promedio de **1,070.02 l.p.s.** y se encuentran distribuidos en los alrededores del Río Cuautitlán en el Ramal Atlamica y el sistema Cutzamala cubre un gasto promedio de **489.69 l.p.s.**

Por otra parte, la red de infraestructura hidráulica de Tepetzotlán presenta una cobertura hidráulica regular, al tener una eficiencia de casi un 90% en cuanto al suministro, mientras que Cuautitlán Izcalli tiene un porcentaje de cobertura del 97.16, según los datos reportados de la encuesta intercensal 2015 y sus planes de desarrollo urbano municipal.

Tabla 11. Viviendas que cuentan con servicio de agua - 2015

Viviendas de Tepetzotlán con disponibilidad de agua				
	Total	Agua entubada		
		Disponen	No disponen	No especificado
Viviendas	24,547	22,108	2,303	136
Viviendas de Cuautitlán Izcalli con disponibilidad de agua				
Viviendas	148,877	144,649	4,228	-

Fuente: Elaboración propia con datos del censo de población y vivienda, Encuesta intercensal 2015 INEGI y PMDU Tepetzotlán y C. Izcalli

En cuanto a las fuentes de abastecimiento, como ya se mencionó al principio de este apartado, el municipio cuenta actualmente con un total de 13 pozos en operación, los cuales distribuyen el agua de la siguiente forma:

Tabla 12. Fuentes de agua del municipio de Tepetzotlán

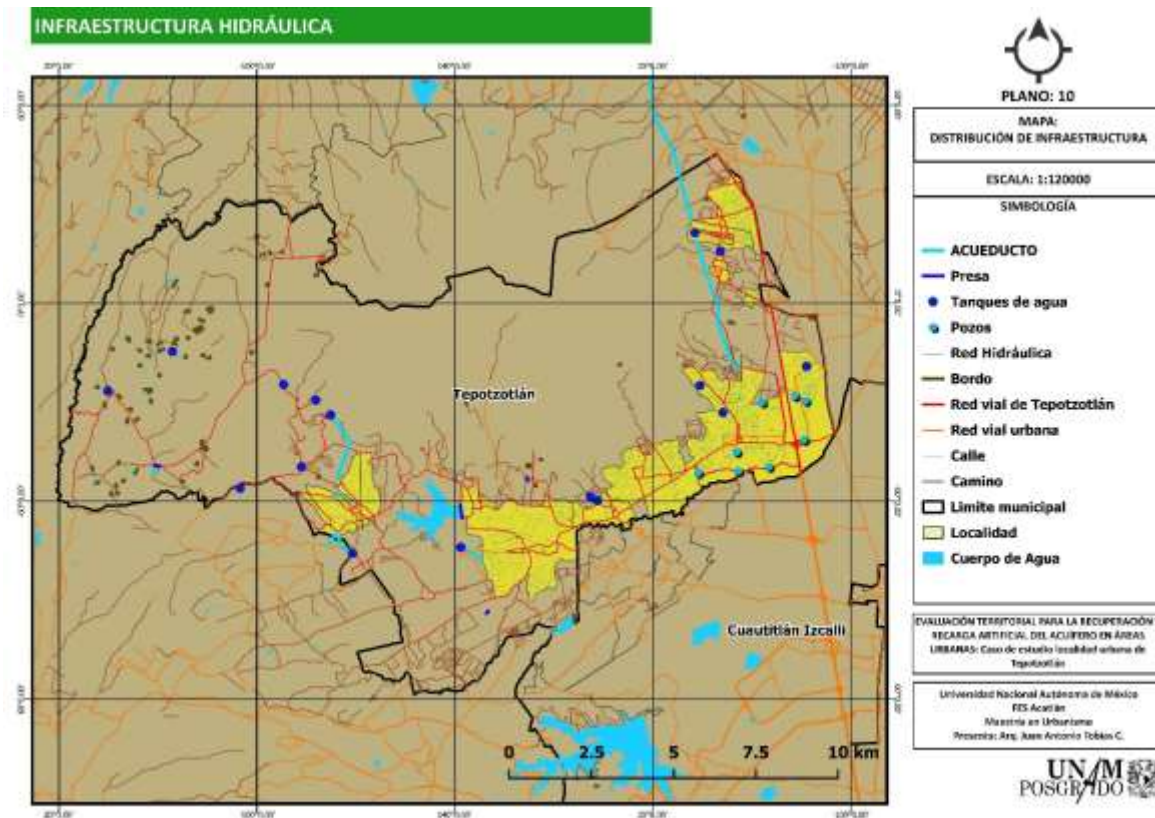
Consecutivo	Nombre	Operado	Aforo L.P.S.	Condición	Uso
1	Pozo N° 2	Municipio	3	En operación	Habitacional
2	Pozo N° 3	Municipio	30	En operación	Industrial
3	Pozo N° 4	Municipio	5	En operación	Habitacional
4	Pozo N° 5	Municipio	30	En operación	Habitacional
5	Pozo N° 6	Municipio	15	En operación	Industrial
6	Pozo N° 7	Municipio	14	En operación	Industrial
7	Pozo N° 8	Municipio	15	En operación	Habitacional
8	Pozo N° 9	Municipio	13	En operación	Habitacional
9	Pozo N° 10	Municipio	13	En operación	Industrial
10	Pozo N° 11	Municipio	3	En operación	Habitacional
11	Pozo N° 12	Municipio	2	En operación	Habitacional
12	Pozo N° 13	Municipio	10	En operación	Habitacional
13	Pozo N° 14	Municipio	10	En operación	Habitacional
TOTAL			163		

Fuente: Elaboración propia con datos del censo de población y vivienda, Encuesta intercensal 2015 INEGI y PMDU Tepetzotlán y C. Izcalli

Según los datos proporcionados por los planes de desarrollo urbano, y con base a los gastos de los pozos que tienen los municipios, su población cuenta con una dotación per cápita diaria para el municipio de Tepetzotlán que asciende a 131.9 litros por habitante al día, mientras que para Cuautitlán Izcalli es de 174 litros por habitante al día (para el caso de Cuautitlán Izcalli, debido a que no son tan puntuales sus datos, está en función de la dotación global que proporciona el municipio).

La estructura hidráulica urbana del municipio se basa sobre la extracción de agua del subsuelo mediante 9 pozos de uso habitacional, que en algunos casos se inyecta directo a la red con su respectivo tratamiento, ya que la calidad del agua extraída es permisible conforme a las normas oficiales, y otra parte se envía a tanque de agua, sobre todo en las zonas altas Tepetzotlán, para ser

Plano 17. Infraestructura hidráulica de Tepetzotlán



Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI

distribuida posteriormente a la red de agua potable, aunque cuenta con acueductos de agua la cual en sus inicios se transportaba desde el estado de Hidalgo, estos ya no están en funcionamiento por las necesidades de escasas de agua en otros municipios, sin embargo, se cuenta con fuentes naturales de captación como lo es la presa la concepción, y que genera un aporte para la recarga natural del subsuelo, para beneficio de las áreas urbanas adyacentes.

El municipio de Tepetzotlán según el censo de población y vivienda registrado el año 2010, el 91.85% de viviendas disponen de servicio de agua potable, además de contar con 7 macro medidores para el abasto de una población de 19,464 viviendas, existen algunas localidades o poblados que tienen comités de agua potable que administran de forma independiente el suministro a su población. (Tepetzotlán, 2019, pág. 210)

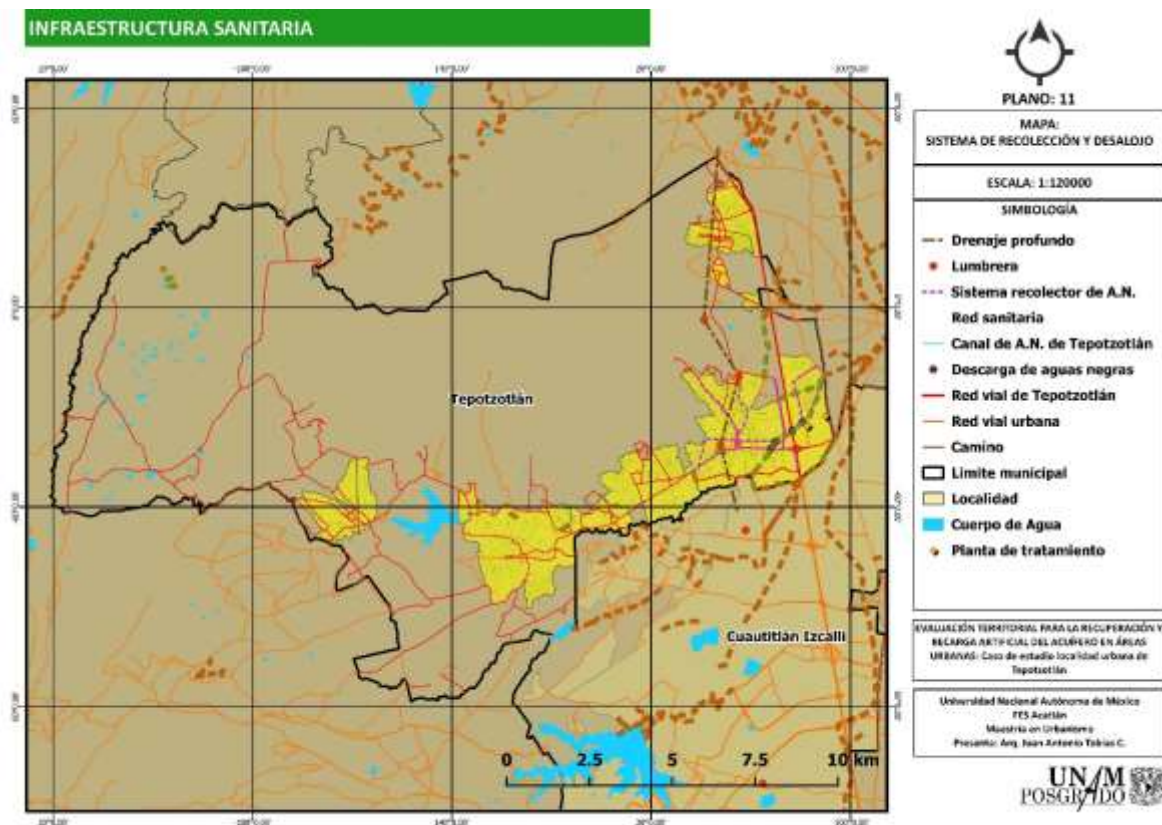
Como se puede advertir, ambos municipios dependen directamente de la extracción de agua del subsuelo, presentando un panorama que puede ser agravante a mediano plazo por las condiciones de sobre explotación que la Comisión Nacional de Agua menciona sobre en el acuífero Cuautitlán - Pachuca, y al ser Tepetzotlán un municipio aun joven en cuanto al incremento poblacional, en un par de décadas podrían presentarse los primeros signos de falta de agua, sumado al crecimiento de los municipios colindantes, ya que el acuífero número XIII, es compartido con otros municipios, y estados, agudizando los niveles de le agua subterránea.

5.3.3.- Infraestructura sanitaria

La estructura sanitaria con que cuenta el municipio es bastante eficiente, ya que tiene un sistema de drenaje profundo por su elevación y que desemboca hacia la zona de Pachuca Hidalgo. La recolección de toda el agua residual se hace mediante 11 colectores que van a lo largo del municipio sobre el trayecto de las avenidas principales como son:

1. Av. Insurgentes con un diámetro de 60 cm y una longitud de 3,950 m.
2. Av. Benito Juárez con un diámetro de 60 cm y una longitud de 3,200 m.
3. Av. Adolfo López Mateos con un diámetro de 60 cm y una longitud de 2,800 m.
4. Av. Eva Sámano con un diámetro de 60 cm y una longitud de 1,700 m.
5. Colector del Río Seco con diámetros de 50 y 60 cm y una longitud de 1,200 m
6. Libramiento Norte con un diámetro de 50 cm y una longitud de 2,100 m.
7. Río Chiquito con un diámetro de 50 cm y una longitud de 1,950 m.
8. Colector las Ánimas con un diámetro de 60 cm y una longitud de 2,550 m.
9. Colector El Trébol con un diámetro de 60 cm y una longitud de 1,800 m.
10. Colector Zona Industrial con un diámetro de 60 cm y una longitud de 2,550 m.
11. Colector Xochitla con un diámetro de 60 cm y una longitud de 2,600 m.

Plano 18. Estructura sanitaria



Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI

En cuanto a la infraestructura de la red sanitaria del municipio de Tepetzotlán conforme a los datos de la encuesta intercensal 2015 menciona que, de un total de 24,547 mil viviendas, 507 no disponen de conexión a la red de drenaje, lo que representa una eficiencia del 98 por ciento en cuanto al sistema de conexión de drenaje, por lo que representa las 507 viviendas, ubicadas casi en su mayoría en los pueblos altos del municipio, que no cuentan con el servicio de drenaje, ya sea por las características topográficas de la comunidad y por su lejanía, se han implementado los tanques sépticos sobre todo en zonas rurales para captación de aguas residuales, entre las comunidades que utilizan las fosas son el Pueblo de Cañada de Cisneros, Fraccionamiento Granjas Hogar, Pueblo de San Miguel Cañadas, Fraccionamiento Las Cabañas y la Colonia los Dolores. (Tepetzotlán, 2019, pág. 219)

Tabla 13. Viviendas que cuentan con servicio de drenaje - 2015

Viviendas de Tepetzotlán con disponibilidad de drenaje				
	Total	Agua entubada		
		Disponen	No disponen	No especificado
Viviendas	24,547	23,761	507	279
Viviendas de Cuautitlán Izcalli con disponibilidad de drenaje				
Viviendas	148,877	146,986	1,891	-

Fuente: Elaboración propia con datos del censo de población y vivienda, Encuesta intercensal 2015 INEGI y PMDU Tepetzotlán y C. Izcalli

Uno de los principales problemas que afronta el municipio de Tepetzotlán es la contaminación del agua y se origina por la descarga de aguas residuales municipales (de vivienda) y no municipales (sector industrial) sin previo tratamiento y la presencia de residuos sólidos (Tepetzotlán, 2019, pág. 205) en gran medida se debe a la falta de conexión de las partes más lejanas en las áreas urbanas centrales, además de tener un efecto negativo en el subsuelo por la permeabilidad de estas aguas que pudieran llegar a la masa central de las aguas subterráneas y degradarlas. A pesar de lo anterior según datos de calidad del agua de 5000 sitios de monitoreo de CONAGUA realizado en 2015, el Río Tepetzotlán, se encuentra en semáforo verde y en calidad aceptable en las mediciones de DBO, DQO y SST. Así mismo, al momento de la descarga **no se le brinda ningún tipo de tratamiento**. Se observa grandes acumulaciones de residuos sólidos urbanos, de manejo especial e incluso peligrosos en los ríos: Río Chiquito, Río Hondo, Presa la Concepción principalmente. (Tepetzotlán, 2019, pág. 205)

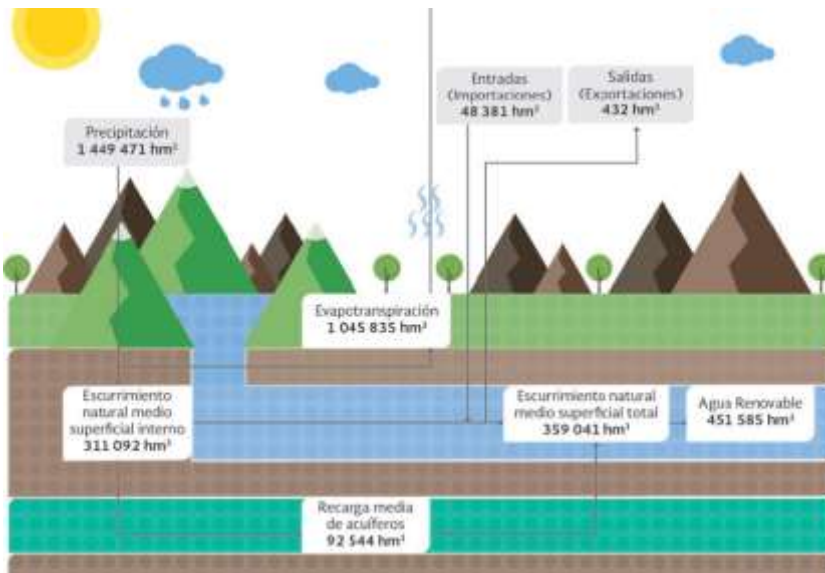
Debido a que el municipio no cuenta con un sistema de medición para las aguas residuales, tomaremos en consideración lo mencionado en el Manual de Agua Potable y Saneamiento emitido por la CONAGUA, el cual dice lo siguiente: la mayoría de los autores e investigadores están de acuerdo en que la aportación es un porcentaje del valor de la dotación, ya que existe un volumen de líquido que no tributa a la red de alcantarillado, como el utilizado para el consumo humano, riego de jardines, lavado de coches, etc. Considerando lo anterior, se adopta como aportación de aguas negras el 75% de la dotación de agua potable (en l/hab/día), considerando que el 25% restante se consume antes de llegar a las atarjeas. (CONAGUA, 2007, pág. 40), para el caso de la investigación, esta solo se basa

en las áreas urbanas habitacionales, por lo que en este caso el aporte de agua residual para el municipio de Tepetzotlán es de 9,319,400 litros/día.

El municipio en la actualidad no cuenta con un sistema de tratamiento de sus aguas residuales desde hace más de 8 años aproximadamente, ya que la planta tratadora que realizaba estos trabajos fue abandonada y su reparación, **por lo que no se cuenta con ningún programa de reaprovechamiento e agua residual tratada**; por el momento el agua pluvial y residual se desemboca en el llamado Rio Hondo denominado cárcamo del trébol, y una parte de estas agua negras se entrega al parque Xochitla para su tratamiento y aprovechamiento para sus jardines, no se cuenta con información sobre los M3 entregados. (Tepetzotlán, 2019, pág. 217).

5.4. Áreas con problemática de agua.

Figura 10. Esquema de distribución del agua.



Fuente: Estadísticas de agua en México 2018 CONAGUA

Anualmente México recibe aproximadamente 1 449 471 millones de metros cúbicos de agua en forma de precipitación. De esta agua, se estima que el 72.1% se evapotranspira y regresa a la atmosfera, el 21.4% escurre por los ríos o arroyos, y el 6.4% restante se infiltra al subsuelo de forma natural y recarga los acuíferos. (SEMARNAT, 2018, pág. 33) Es

decir, que tan solo 92,544 millones de metros cúbicos se infiltran de forma natural, lo que es considerado en el volumen nacional total de agua como una recarga media, y no es suficiente para mantener el sistema subterráneo en niveles óptimos.

Según datos de la Comisión Nacional de Aguas el acuífero número XIII, denominado Cuautitlán-Pachuca, donde se ubican los municipios de Tepetzotlán y Cuautitlán Izcalli ha presentado incrementos en la demanda de volumen concesionado, ya que en tan solo 8 años se ha requerido de un caudal excedente de 57.5 m³/s, y un consumo total de 468.7m³/s, sin embargo, también toda esta región hídrica se ha declarado en cero debido a que no se tiene más agua de los niveles hídricos dentro de las aguas subterráneas.

Tabla 14. Distribución del agua.

Clave	Nombre	Sobreexplotado	Año	Volumen concesionado REPDA	Disponibilidad de agua subterránea (hm ³)	Recarga Media (hm ³)
1508	Cuautitlán-Pachuca	*	2010	405.5	.0	356.7
1508	Cuautitlán-Pachuca	*	2015	415.1	.0	356.7
1508	Cuautitlán-Pachuca	*	2018	462.7	.0	356.7

Fuente: CONAGUA. 2015. Subdirección General Técnica / Sistema Nacional de Información del Agua (SINA).

Así mismo el acuífero de la región XIII presenta un volumen considerable de extracción, sin embargo, se ve contrastado con su tasa de recarga natural de 356.7 hm³, la cual es muy por debajo de su recuperación lo que representa una caída en los niveles de agua subterráneas urbanas, ha esto hay que sumarle que no se cuenta con otro tipo de método de recarga.

Por otra parte, como se observa en la tabla inferior, ambos municipios basan su dotación de agua con base a fuentes de extracción por medio del subsuelo, y que en suma se genera un aporte total de 76 pozos profundos entre Tepetzotlán y Cuautitlán Izcalli, eso nos representa un gasto total de 1,782 litros por segundo, y si lo traducimos en forma permanente de 24 horas, representa una extracción hídrica de 153,964,800 millones de litros al día para el sostén de las actividades cotidianas en las zonas urbanas y una parte en lo rural, la cual yace casi extinta por el crecimiento acelerado en tan solo 30 años.

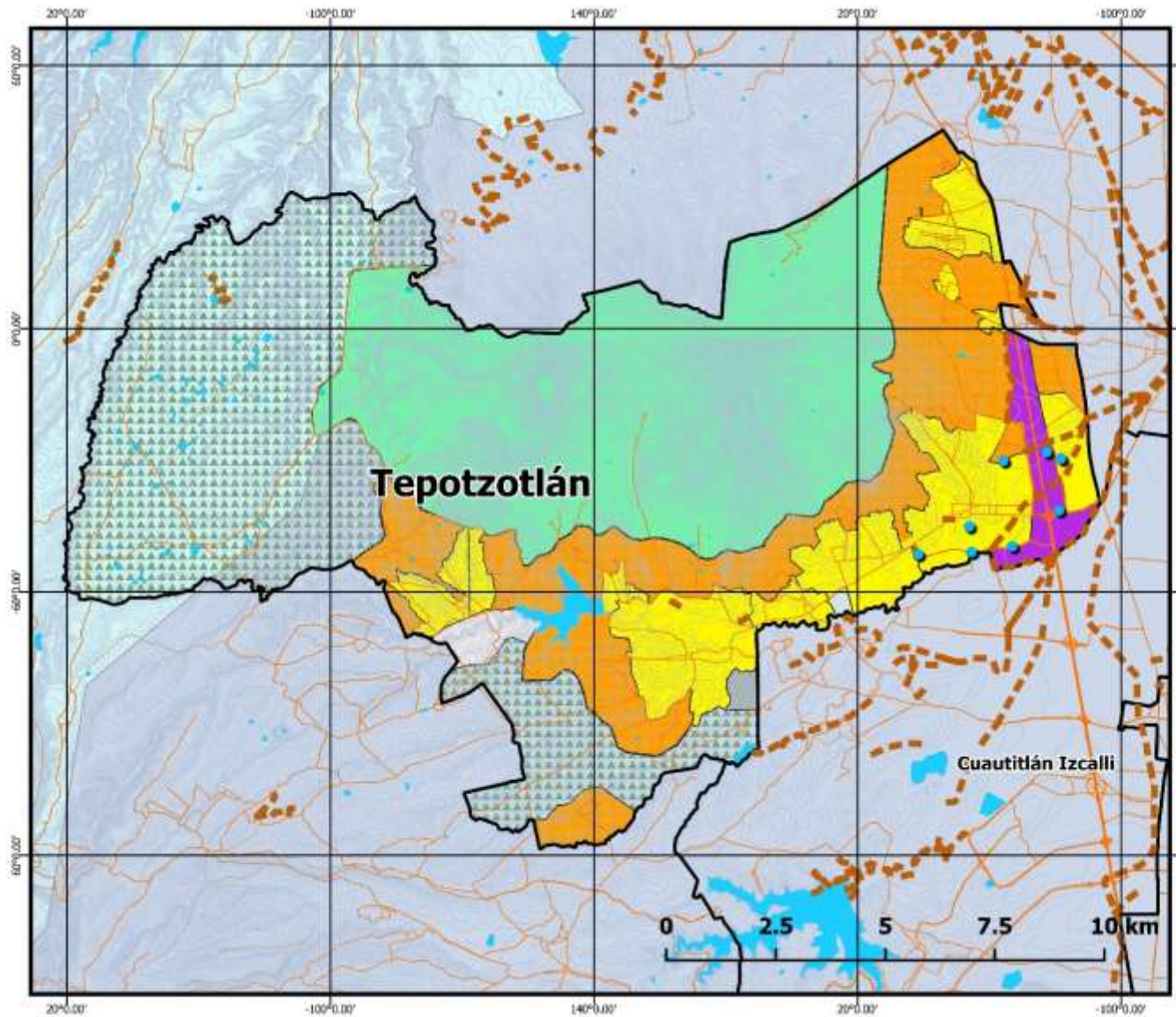
Tabla 15. Crecimiento de la demanda hídrica.

Municipio	Pozos	uso	l.p.s	otras fuentes	usos	l.p.s
1985						
Tepetzotlán	13	70% agrícola	90	3.0	agrícola	10
Cuautitlán-Izcalli	42	urbano	702	1.0	agrícola	15
1995						
Tepetzotlán	13	40% agrícola - 20% industria	90	3.0	agrícola	20
Cuautitlán-Izcalli	48	urbano	760	1.0	agrícola	15
2010						
Tepetzotlán	13	70% urbano - 30% agrícola	110	3.0	industria	60
Cuautitlán-Izcalli	52	urbano	1070	8.0	rural-urbano	489
2018						
Tepetzotlán	13	85% urbano - 15% agrícola	163	3.0	industria	60
Cuautitlán-Izcalli	52	urbano	1070	8.0	rural-urbano	489

Fuente: Cuaderno estadístico municipal de Tepetzotlán y Cuautitlán Izcalli – años 1985, 1995, 2010 y 2018 y sus planes de desarrollo municipales.

Como síntesis es inevitable el crecimiento de la mancha urbana y en tan solo un par de generaciones tendrá un impacto de alto costo en las aguas del subsuelo, siendo la materia prima de las áreas urbanas, ya que es indiscutible el aumento progresivo de la demanda hídrica y la extracción de esta, y que, sí no se anticipan acciones necesarias para mantener las aguas del subsuelo, posiblemente estas zonas geográficas entren en un conflicto de crisis hídrica para sostener las áreas urbanas, causando efectos de alto impacto como la actual ciudad de México.

PLANO SINTESIS




PLANO: 11
MAPA:
PLANO SINTESIS

ESCALA: 1:120000

SIMBOLOGÍA

- Industria**
- Área de recarga alta**
- Área de recarga media**
- Area protegida**
- Área urbanizable**
- Área urbana actual**
-  **Calle**
-  **Limite municipal**
-  **Cuerpo de Agua**
-  **Área de cultivo**
-  **Curva de nivel**
-  **Canal de aguas residuales**
-  **Pozos urbanos**
- Acuífero sobreexplotado**
- Acuífero subexplotado**

EVALUACIÓN TERRITORIAL PARA LA RECUPERACIÓN Y RECARGA ARTIFICIAL DEL ACUÍFERO EN ÁREAS URBANAS: Caso de estudio localidad urbana de Tepetzotlán

Universidad Nacional Autónoma de México
 FES Acatlán
 Maestría en Urbanismo
 Presenta: Arq. Juan Antonio Tobías C.



5.6.- Tabla 16. ANÁLISIS FODA

TEMA Y SUBTEMA CLAVE	FORTALEZAS	OPORTUNIDADES	DEBILIDADES	AMENAZAS
Geología	Buena aptitud por el tipo de suelos para la recarga de los acuíferos.	Creación de programas sustentables por la recarga natural o artificial de los acuíferos, en convenio con la Federación y el estado.	Por sus altos costos no materializarse.	Abatimiento de las aguas subterráneas por el impacto de extracción de otros municipios en el mismo acuífero compartido.
Hidrología	Potencial para la recolección de lluvia por su clima templado.	Programas para la construcción y protección de puntos de captación de agua de lluvia.	Desaprovechamiento de las fuentes de captación por su lejanía y falta de interés.	Las pocas fuentes son contaminadas por los asentamientos irregulares.
Vivienda y Crecimiento del territorio	Cuenta con gran extensión territorial para su expansión.	Detonante para crecimiento económico de la construcción para la zona y sus ramas asociadas.	No se contemplan desarrollos planeados.	Desarrollo desordenado, invasión en zonas protegidas.
Vialidades	Comunicación accesible con municipios colindantes.	Generar vialidades que conecten de manera articulada a las localidades lejanas para su desarrollo económico y expansión del territorio.	Falta de capacidad vial al verse rebasado por el tránsito vehicular.	Deterioro acelerado de las arterias principales.
Red de agua potable	Se cuenta con cobertura del 91.8% de la red municipal de agua potable.	Fortalecer la conectividad de agua potable mediante programas federales de infraestructura hidráulica.	Las fuentes de abastecimiento están contaminadas debido a la degradación de las zonas que concentran los escurrimientos y los cauces que la trasportan.	El riesgo de quedarse sin disponibilidad de recurso hídrico debido a que las fuentes se conviertan en aguas negras. Lo que ocasionará la búsqueda de exploración para más puntos de extracción de agua.
drenaje	Se cuenta con cobertura del 96%	Fortalecimiento de programas de sustentabilidad entre gobierno federal y estatal para la implementación de plantas de tratamiento de aguas residuales.	Baja infraestructura de captación y tratamiento de aguas residuales. Actualmente la planta publica que tiene el municipio se encuentra fuera de operación.	Descargas residuales a ríos y contaminación de las aguas subterráneas, motivado por el crecimiento irregular.

Dado los resultados que arroja el estudio del diagnóstico, y si bien es cierto que el análisis FODA refleja una gran falta de aprovechamiento hídrico por la carencia de instalaciones, el municipio de Tepotzotlán preserva un alto potencial del vital líquido, pero que al mismo tiempo este no ha sido explotado debidamente para la canalización de sus aguas subterráneas, probablemente por su elevado auge de agua el propio municipio no ha requerido de la necesidad de implementar procedimientos sustentables de recuperación de aguas residuales y aprovechamiento de captación de agua pluvial, sin embargo, dadas las condiciones que está presentando su extensión territorial, este se encuentra en una transformación de expansión poblacional y vivienda, como sea viene visualizando en sus estadísticas de esta materia, situación que es apreciable en los cambios de uso de suelo que están proyectados por la administración de 2019 – 2021 al considera una mayor expansión del suelo habitacional; efecto que se está formando por la alta conurbación que se viene generando en el municipio de Cuautitlán Izcalli, lo que tal vez en un par de décadas presentara una mayor aceleración de la ocupación de suelo habitacional, y que paulatinamente presentara una merma considerable para el recurso hídrico del municipio de Tepotzotlán; no hay que perder de vista que los puntos de selección de recarga no solamente representan a un municipio o localidad, por todo lo contrario, al ser grandes extensiones acuíferas bajo el suelo, es competencia del orden federal y estatal, así como municipal, la participación compartida para salvaguardar las aguas profundas. Por otro lado, los estudios gubernamentales realizados por la Comisión Nacional del Agua presentan indicios de una baja recuperación de los acuíferos subterráneos, concluyendo que la lenta recuperación de los niveles hídricos es propiciada en función de la alta demanda poblacional, por petición propia de los organismos municipales operadores del agua, acelerando su extracción con poca recuperación de los niveles debido a la falta de programas de infraestructura sustentable.

En cuanto a su infra estructura vial para recolección de agua de lluvia, esta se encuentra en condiciones deficientes, pero es importante denotar que puede ser de gran utilidad, si es rehabilitada, aprovechando la topografía natural de los escurrimientos urbanos y la conducción por medio de sus canaletas hacia puntos de concentración como pueden ser lagunas de captación.

5.7.- Tabla 17. ESBOZO DE EVALUACIÓN

No.	OBJETIVOS	ESTRATEGIAS	LINEAS DE ACCIÓN
1	Ampliar la captación pluvial para depositarlas en zonas inundables naturales o artificiales y puntos de recarga mediante pozos de absorción.	Mejoramiento de infraestructura hidráulica urbana en vialidades y zonas urbanas por medio de la construcción de captadores, rehabilitación de canales y canaletas en vialidad, para conducir las a zonas de recarga.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mantenimiento y mejoramiento de canaletas en vialidades. 2. Canalización de aguas pluviales en una porción hacia áreas de recarga o pozos de absorción en puntos urbanos estratégicos, 3. Realizar proyectos de captación para conducción del agua pluvial. 4. Identificar zonas de inundación para su aprovechamiento en la recarga natural y de inyección.
2	Eficientizar el desalojo de aguas negras y pluviales en áreas urbana, con independencia líneas de conducción para el aprovechamiento y recuperación de agua.	Planificación de proyectos con carácter urbano sustentable para canalizar el agua residual de las áreas urbanas hacia la planta.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Censar las áreas urbanas, para conocer los puntos donde puedan aplicar la recolección de agua residual. 2. Verificar puntos de interconexión con la red municipal. 3. Inducción de líneas de conducción de aguas residuales a la planta a la planta de tratamiento.
3	Recuperación de agua mediante la recolección de agua residual.	Creación de planta de tratamiento de agua residual, desalojada por las zonas urbanas y su potabilización para la inyección y recarga artificial del acuífero, mediante pozo profundo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Planteamiento de un sitio para una planta de tratamiento de aguas residuales en áreas urbanas. 2. Convenir con el gobierno estatal y/o federal la construcción y operación de micro plantas tratadoras de agua y su potabilización. 3. Convenir para el tratamiento de agua con sector privado y público.
4	Planear el crecimiento urbano ordenado y sustentable.	Actualización de ordenamientos urbanos para nuevas áreas a desarrollar.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Impulsar un sistema de planeación, apegado a los objetivos de desarrollo sostenible. 2. Disminuir el impacto ambiental y climático mediante la aplicación de sistemas sustentables. 3. Definir con carácter legal y sustentable las disposiciones relacionadas con la separación de líneas de conducción. 4. Convenir para el tratamiento de agua con sector privado y público.

Capítulo

VI

**Propuesta de zonificación para la recuperación
y recarga artificial del acuífero en áreas urbanas**

Capítulo VI. Propuesta de zonificación para la recuperación y recarga artificial del acuífero en áreas urbanas

Estrategias.

En el presente capítulo se implementa una propuesta del funcionamiento de la recarga artificial del acuífero en áreas urbanas, en función del medio físico, población, vivienda, vialidades, así como la elaboración del análisis realizado de sus fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (FODA), el planteamiento de objetivos, estrategia y sus líneas de acción; estas dos últimas es la resultante que define los puntos para el desarrollo de la propuesta.

6.- Estrategias

6.1.- Mejoramiento de infraestructura hidráulica urbana en vialidades y zonas urbanas por medio de la construcción de captadores, rehabilitación de canales y canaletas en vialidad, para conducirlos a zonas de recarga.

Uno de los principales problemas que se detectaron en las visitas de campo es la canalización de agua de lluvia al costado de las vialidades por medio de las canaletas de desalojo, muchas de estas se ven deterioradas, otras han desaparecido en algunos tramos y gran parte de las que se encuentran en funcionamiento están obstruidas, así mismo el municipio no cuenta con puntos controlados de captación y lagunas de filtración por lo que en la mayor parte del recorrido se observa que el agua se canaliza directamente al drenaje, desaprovechando el recurso hídrico natural por precipitación pluvial, por lo que una de las iniciativas de la primera estrategia es:

Foto 9. Obstrucción del paso del agua pluvial sobre cunetas



Fuente: Elaboración propia.

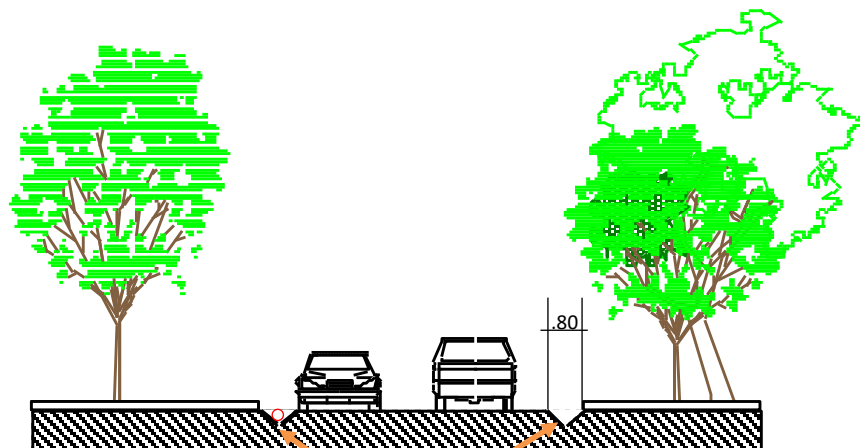
Foto 10. Secciones entubadas obstruidas



Fuente: Elaboración propia.

1. Mantenimiento y mejoramiento de canaletas en vialidades principales como son la avenida insurgente, con prolongación paseo de las buganvillas para mejora del desalzo de aguas pluviales, aprovechando esta infraestructura existente de la forma más conveniente, y no sea necesario la creación de una separación de redes, de manera que se canalicen directamente a puntos de recarga.

Figura 11. Perfil vial



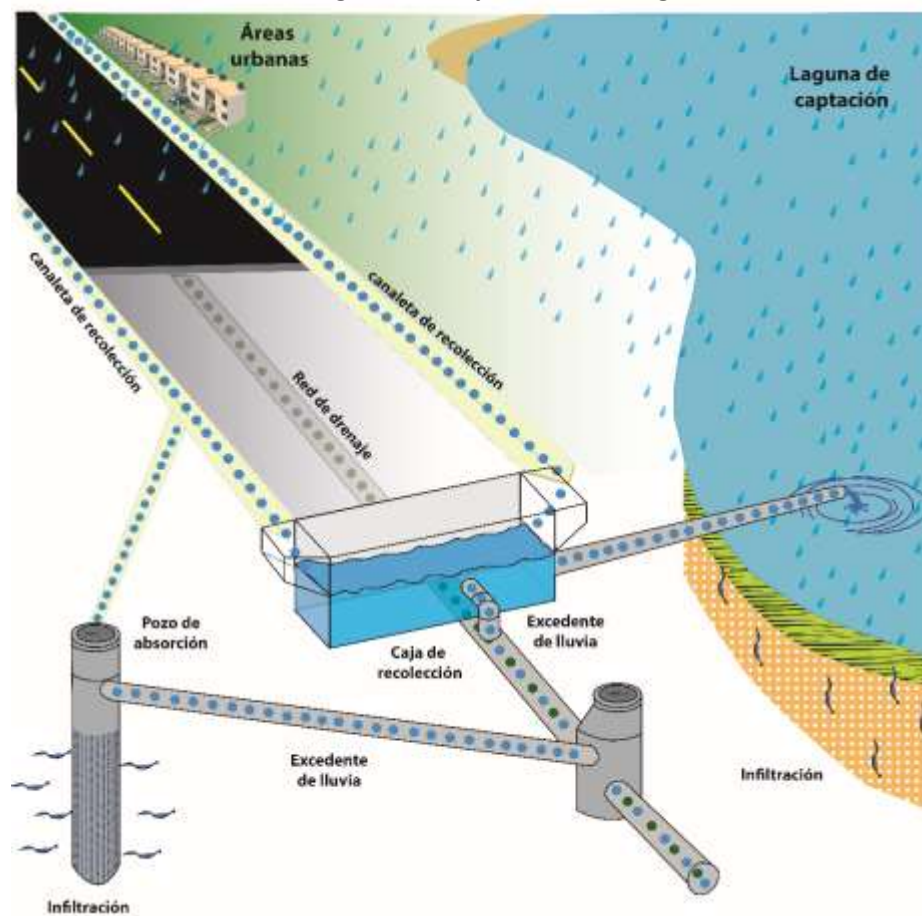
Fuente: Elaboración propia.

Limpieza y rehabilitación de canaletas, así como desalzo de líneas entubadas de conducción sobre canaletas.

Debido a que la red primaria de desalojo de aguas residuales se ubica al margen de la carretera principal, la cual corre a través toda la extensión del municipio, esta recolecta el agua de lluvia y se conjunta con el agua residual, por lo que se está desaprovechando parte de la infraestructura vial como son las canaletas en vialidades, para la conducción pluvial sin necesidad de mezclarla con el agua residual, de esta forma se otra línea de acción enfocada a:

2. Dada las buenas condiciones de permeabilidad que presenta el suelo del municipio de Tepetzotlán se propone la canalización de aguas pluviales en un porcentaje hacia áreas de recarga controladas y pozos de absorción con profundidades medias en puntos urbanos estratégicos, sobre la línea de conducción principal ubicada sobre la avenida insurgente, con prolongación paseo de las buganvillas y así evitar obras adicionales.

Figura 12. Esquema de recarga

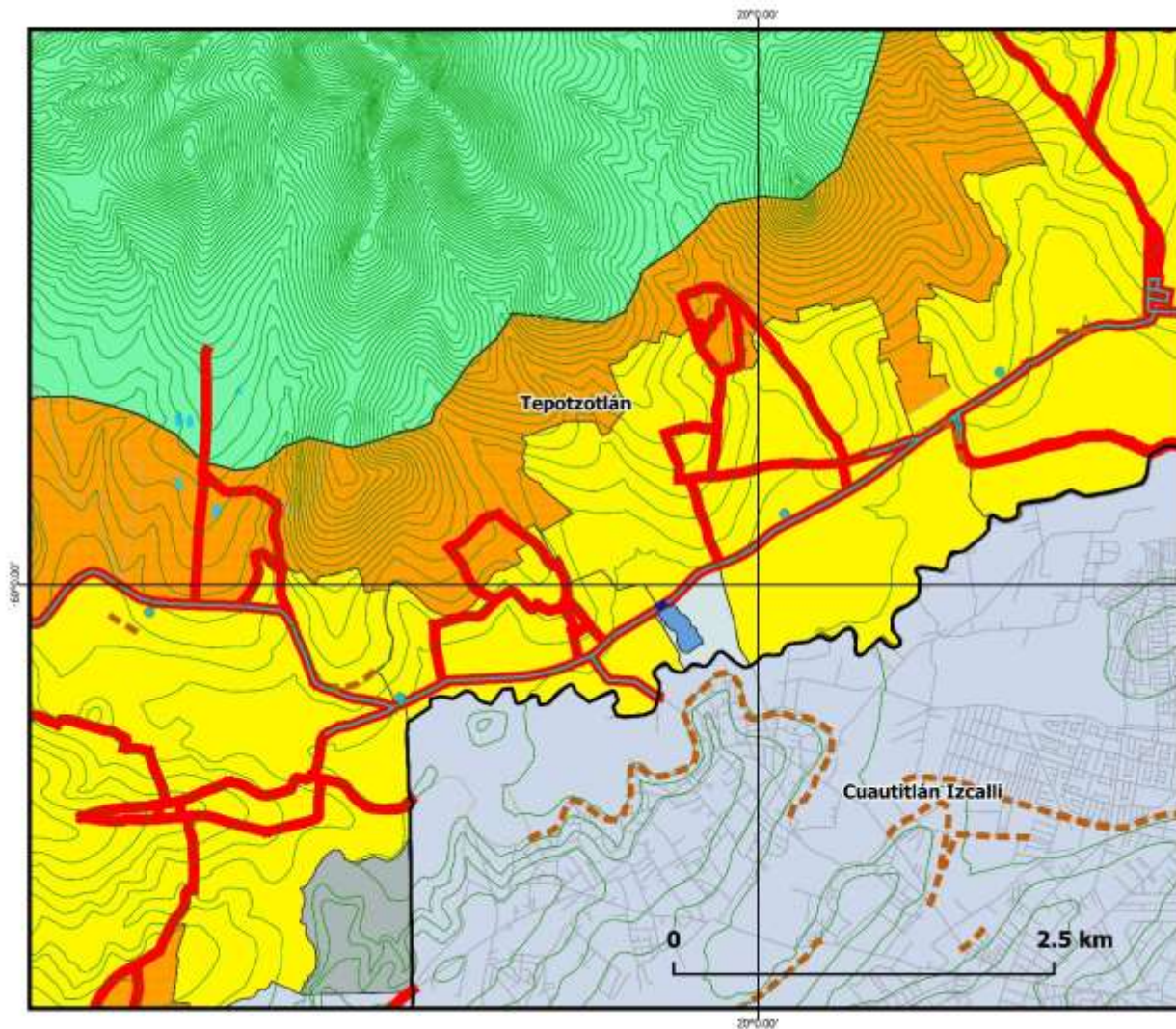


Fuente: Elaboración propia.

3. Identificar zonas de inundación para su aprovechamiento en la recarga natural y de inyección.

El municipio presenta una topografía diversa motivada por sus condiciones geográficas, que puede ser en forma inicial de 3 a 4 por ciento, hasta muy accidentada, alcanzando más de un 40 por ciento. Los puntos más eficientes del municipio para la concentración de agua por medio de lagunas de captación se presentan hacia la zona norte, colindante con el municipio de Cuautitlán Izcalli.

ESTRATEGIA DE RECOLECCION DE AGUAS PLUVIALES



PLANO: 11

MAPA:
PLAN DE RECARGA

ESCALA: 1:120000

SIMBOLOGÍA

- Área de recarga alta
- Área de recarga media
- Área protegida
- Área urbanizable
- Área urbana actual
- Acuífero sobreexplotado
- Acuífero subexplotado
- Limite municipal
- Cuerpo de Agua
- Curva de nivel
- Canal de aguas residuales
- Pozos de absorción
- Línea de recolección pluvial
- Laguna de filtración
- Cajas de recolección
- Red vial

EVALUACIÓN TERRITORIAL PARA LA RECUPERACIÓN Y RECARGA ARTIFICIAL DEL ACUÍFERO EN ÁREAS URBANAS: Caso de estudio localidad urbana de Tepotzotlán

Universidad Nacional Autónoma de México
FES Acatlán
Maestría en Urbanismo
Presenta: Arq. Juan Antonio Tobias C.



6.2.- Planificación de proyectos con carácter urbano sustentable para canalizar el agua residual de las áreas urbanas hacia la planta.

Aprovechando su medio natural como lo es la topografía de zona, para la captación de las aguas residuales dentro de los sistemas urbanos, es importante obtener un buen desempeño por gravedad y minimizar los costos en obras adicionales como lo es, la necesidad de construir elementos como un cárcamo de rebombeo y evitar niveles que puedan generar contrapendientes.

1. Censar las áreas urbanas, para conocer los puntos donde se pueda aplicar la recolección de agua residual urbana, para ello se propone la colonia San Mateo Xoloc, por sus condiciones topográficas, poblacional, vivienda y suelos permeables.

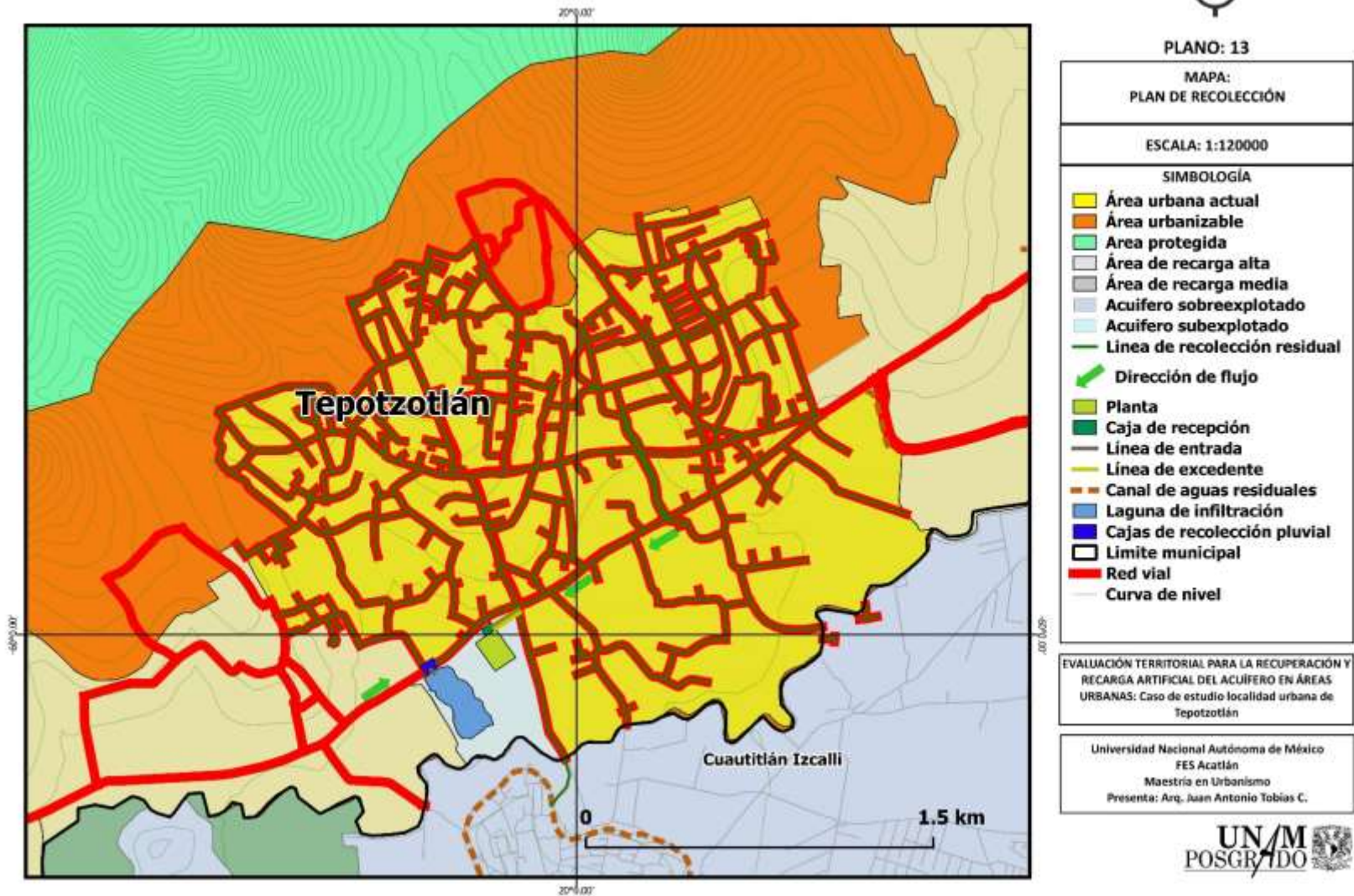
Figura 13. Perfil topográfico de la colonia San Mateo Xoloc.



Fuente: Google Earth pro

2. Verificar puntos de interconexión con la red municipal por lo que se propone como punto de convergencia para la captación de aguas residuales de la red municipal, sobre la calle San Mateo debido a que en este punto se conduce la línea de descarga municipal directamente a la red principal de drenaje compartida con el municipio de Cuautitlán Izcalli.
3. Inducción de líneas de conducción de aguas residuales a la planta a la planta de tratamiento, tranzando el paso de las líneas de alimentación y salida de excedente en la caja de recepción de aguas residuales, hacia la interconexión de la red municipal de drenaje.

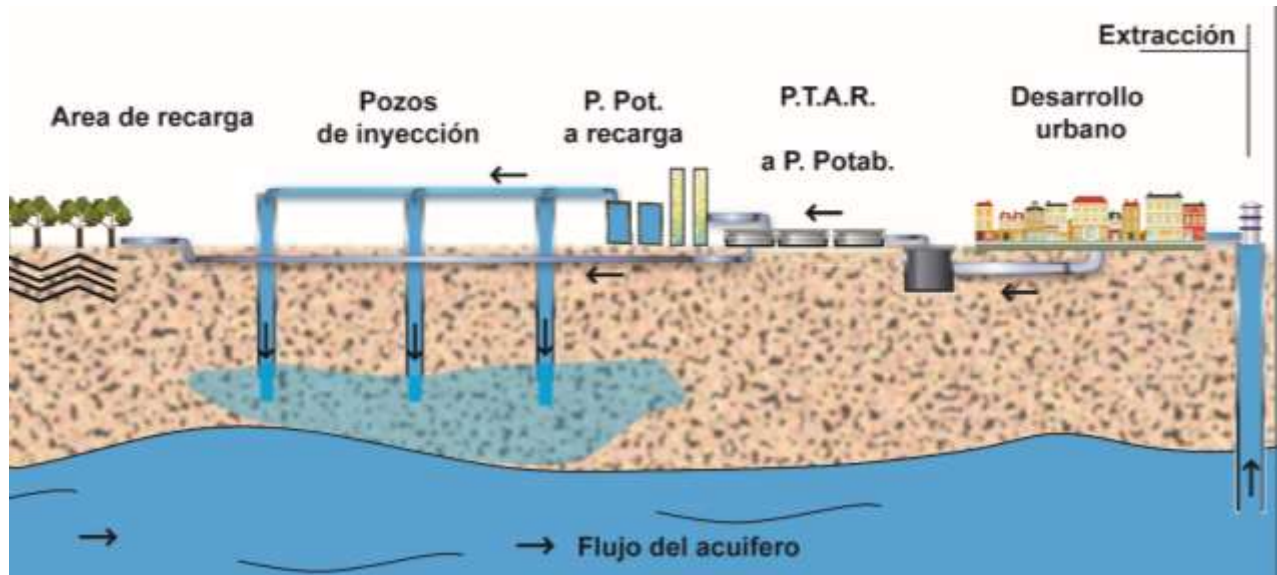
ESTRATEGIA DE RECOLECCION DE AGUAS RESIDUALES



6.3. Creación de la planta de tratamiento de agua residual, y su potabilización para la inyección y recarga artificial del acuífero, mediante pozo profundo, utilizando el desalojo de las descargas de las zonas urbanas

1. Planteamiento de un sitio para una planta de tratamiento de aguas residuales en áreas urbanas, situada en la colonia San Mateo Xoloc, seleccionando primeramente un punto estratégico en función de las condiciones de la red municipal de drenaje, pendientes y trayectoria de líneas primarias de recolección.

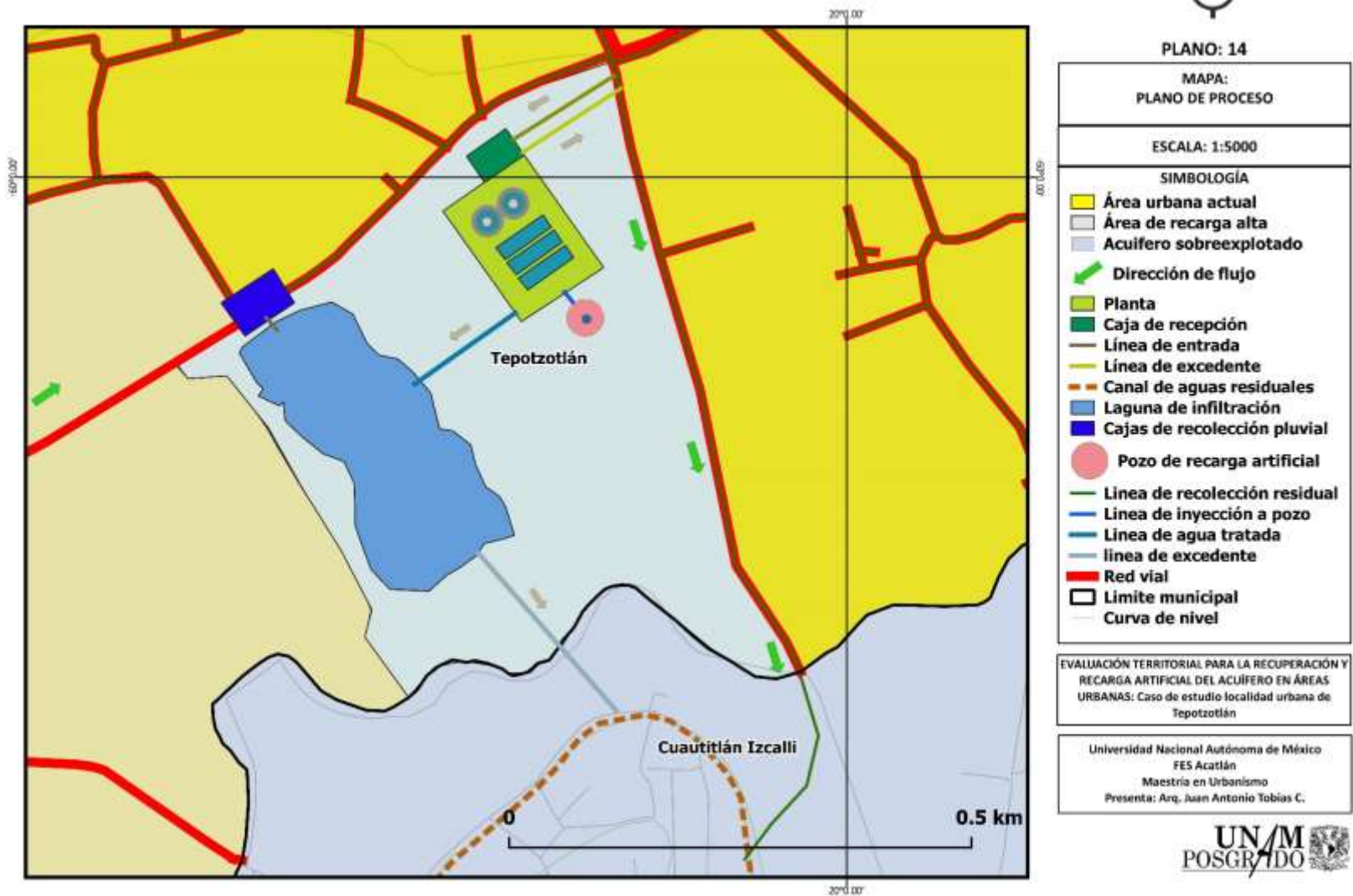
Figura 14. Esquema de funcionamiento de la planta situada en la colonia San Mateo Xoloc.



Fuente: Elaboración propia

2. Convenir con el gobierno estatal y/o federal la construcción y operación de micro plantas tratadoras de agua y su potabilización.
3. Convenir para el tratamiento de agua con sector privado y público.

ESTRATEGIA DE TRATAMIENTO, POTABILIZACIÓN E INYECCIÓN



6.4- Actualización legal de ordenamientos urbanos para nuevas áreas a desarrollar

Los actuales ordenamientos legales, en materia hidráulica y de construcción, prevén el manejo y uso de agua pluvial y residual, en donde estos solamente son interpretados en forma general, sin precisar un apego más específico de soluciones a compromisos internacionales de sustentabilidad y medio ambiente como son las **Metas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible** un su objetivo **número 6** el cual está relacionado con garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todas y todos; partiendo de esto y con relación al desarrollo del proyecto se precisan las siguientes líneas de acción como parte de una obligación regulatoria a la extracción hídrica que se realiza para abastecer las áreas urbanas del municipio de Tepetzotlán, y que puede establecerse como un marco normativo legal y obligatorio para los estados y sus municipios.

1. Impulsar un sistema de planeación, apegado a los objetivos de desarrollo sostenible.

Todos los municipios deberían de tener como mínimo de uno a dos sistemas de recolección de aguas pluviales en áreas urbanas para ser canalizados a lagunas de infiltración, tal y como se ha expresado en esta investigación, con objeto de mantener los niveles hídricos de sus aguas subterráneas mediante un recurso que no tiene costo alguno que es el agua de lluvia, estos sistemas de recolección pluvial deberán ser de bajo costo con el mínimo mantenimiento, aprovechando los escurrimientos naturales guiados por sistemas de canaletas que pueda proveer la misma infraestructura vial de la zona, y en caso de ser áreas urbanas proyectadas a futuro, desde su concepción que sean parte de su proyecto, como parte de todo su diseño, generando la separación de líneas de agua residual y líneas de aguas pluviales, así estableceremos varios y pequeños puntos de inyección hídrica, así también identificar puntos de concentración pluvial para la construcción de lagunas artificiales de infiltración, donde estas deberán ser parte del entorno urbano y cumplan su propósito de inyectar las aguas pluviales.

2. Disminuir el impacto ambiental y climático mediante la aplicación de sistemas sustentables.

Uno de los principales problemas que alude a la humanidad es el consumo del agua dulce; la extracción de esta y su utilización generan un impacto negativo en el medio ambiente una vez que esta ha sido utilizada y sin reaprovecharse, provocando la contaminación no solo del vital líquido, sino del suelo y subsuelo por donde circunda el agua residual, hasta llegar a los mantos freáticos generando contaminación en el agua almacenada profunda. ¿Qué genera esto en términos de costos y de sustentabilidad? En general al no contar con la eficiencia adecuada respecto a la recolección y tratamiento de aguas residuales, se presenta un aprovechamiento negativo al momento de realizar la extracción de agua del subsuelo, esto es debido a que dicha extracción puede presentar contaminantes, implicando la aplicación de sistemas de depuración (potabilización) muchos más elaborados, que implicaran costos más altos para su tratamiento. Por otra parte, su impacto sustentable es totalmente nulo, desde la contaminación del subsuelo hasta el simple hecho de generar un doble gasto de inversión al invertir para su reciclaje y por otra parte la inversión de para su potabilización al ser extraída al no presentar la calidad adecuada por los contaminantes generados por las aguas residuales. Por lo que del 100 % de agua extraída en México, actualmente se procesa cerca del 57 % de su agua residual, y que en relación a otros países conserva un perfil bajo en el reciclamiento de este recurso natural, en donde en otros países puede llegar a procesarse hasta casi un 80 % del agua de uso y consumo.

Derivado de lo anterior se genera la iniciativa de implementar la construcción de una planta de tratamiento y potabilización capaz de dotar de agua residual tratada y una parte sea potabilizada para la inyección de la recarga artificial del acuífero, la cual deberá formar parte de las áreas urbanas, con objeto aprovechar y tratar las aguas residuales generadas por en los sitios urbanos. Uno de los principales pilares de esta propuesta, es que no sean plantas de gran magnitud, que traten de abarcar grandes áreas de manchas urbanas, si no por el contrario que sean procesadoras pequeñas de aguas residuales y potabilización, para que generen una mayor eficiencia, tanto por su tamaño, sus costos de inversión y de mantenimiento, de igual forma estas deben ser sembradas cerca de la

laguna de recarga de aguas pluviales, para su aprovechamiento de las aguas residuales tratadas en las épocas de estiaje.

3. Definir con carácter legal y sustentable las disposiciones relacionadas con la separación de líneas de conducción.

Las actuales áreas urbanas, difícilmente son susceptibles de modificar en cuanto a la separación de líneas de conducción de aguas pluviales y de aguas residuales, e inclusive también para la implementación de todo un sistema de red para recolectar las aguas de lluvia, esto es, primeramente, por la saturación de los espacios para la selección de áreas de infiltración por medios naturales, solamente con la ayuda de elementos auxiliares podría conseguirse esta infiltración como lo son pozos de absorción, o lagunas de infiltración, que para el caso de las segunda no es tan sencilla la selección de los puntos donde se puedan construir, debido a sus condiciones geológica y tamaño de los espacios. Las extensiones urbanas que hoy conocemos crecieron con el desconocimiento de una cultura de rescate o reciclaje del recurso hídrico, sin concebir una infraestructura separación en sus instalaciones de cada edificación, por lo que simplemente se han adaptado en un porcentaje de participación muy bajo conforme a las nuevas condiciones de las políticas de sustentabilidad y sostenibilidad.

Esta iniciativa proyectada en las líneas de acción busca la propuesta de regulación en los estatutos legales, cuyo objeto es preparar a los futuros espacios urbanos para crear conciencia de la separación de los recursos hídricos usados, y ser devueltos a su orden ecológico natural, minimizando por una parte el alto impacto ecológico derivado de la extracción de agua del subsuelo para la subsistencia de la población, por otro lado la utilización de agua de lluvia para la recargar los acuíferos, la cual se aprovecharía para ayudar a mantener los niveles de agua del subsuelo en mejores condiciones de volumen de agua; teniendo en cuenta que si cada área urbana nueva, se equipara adecuadamente mediante la utilización de sistemas de recolección, los beneficios urbanos y ecológicos podrían ser redituables a mediano y largo plazo.

4. Convenir para el tratamiento de agua con sector privado y público.

Una de las bondades que se puede encontrar dentro de la legislación en materia de agua es la parte relacionada a concesionar el aprovechamiento sustentable del agua y de los ecosistemas acuáticos, como lo marca la **LEY GENERAL DE EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y PROTECCIÓN AL AMBIENTE** en su artículo 89 párrafo II romano, así como **LEY DEL AGUA PARA EL ESTADO DE MÉXICO Y MUNICIPIOS**, en su artículo 84, la cual es la base principal en materia hidráulica para los municipios pertenecientes al Estado de México, y que a la letra dice lo siguiente: “La Comisión, el municipio o el organismo operador, según corresponda, en los términos de las disposiciones legales aplicables, podrán convocar a los sectores social y privado, para la construcción y operación de plantas de tratamiento de aguas residuales, bajo la modalidad de concesión en los términos de la presente Ley y otras disposiciones aplicables. De igual forma, podrán concesionar o vender aguas residuales para su tratamiento y aprovechamiento. Las aguas tratadas se destinarán preferentemente a la inyección y a usos no consuntivos.”(pág. 35).

Cuando pensamos en el tratamiento de las aguas residuales, intuimos en grandes infraestructuras de procesamiento para su depuración, en donde pocos pueden participar por los altos costos de inversión para su manejo, dejando a manos de las grandes empresas la operación y producción del agua residual tratada y por consiguiente acotando la oportunidad de participar para las medianas empresas, partiendo de las líneas de acción generadas en la investigación, se busca la creación de sistemas de captación, tratamiento e inyección tanto natural como artificial, de orden compactos; es decir, estos se basan en extensiones urbanas medianas y pequeñas, hasta donde permita el volumen de captación de agua pluvial y residual a tratar, así bien se deben ser asociadas con sus condiciones de infraestructura, ya sea que cuenten con ella o en etapa de planeación futura, que tengan la capacidad de recolectar las aguas pluviales y residuales donde estas segundas puedan ser tratadas en un porcentaje, para su posterior infiltración natural y artificial. Estas podrán ser operadas y por la iniciativa privada mediante la figura de carácter concesionado, y donde sus obligaciones sean el manejo y

mantenimiento de la infraestructura hidráulica, con el objeto de mantener el sistema de aguas subterráneas en constante recuperación de sus niveles perdidos por la extracción urbana, así bien tendrán la capacidad de producir agua residual tratada para su venta como parte de sus prestaciones, del cual un porcentaje de venta deberá ir a las arcas gubernamentales, de manera tal que la administración del manejo de agua concesionada pueda ser redituable tanto para las empresas encargadas y gobierno.

Conclusiones y Recomendaciones

Bibliografía

7.- Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

En la actualidad el marco normativo en materia hidráulica desde sus niveles federales hasta los municipales y planes de desarrollo, así como la legislación de medio ambiente, no contempla un enfoque urbano de recuperación, depuración, potabilización e inyección artificial, basado en el uso y consumo de agua potable extraída del subsuelo, que como resultante se genera el agua residual, aunado también con la captación del agua pluvial, donde estas dos formas de recolección puedan ser reciclados y reincorporados a su ciclo hidrológico e inyectarlo al subsuelo, creando un punto de sustentabilidad adaptados a una sociedad urbana de consumo de recursos naturales, mediante la filosofía de la conciencia y reciclamiento de los recursos utilizados.

En este sentido, dentro del municipio de Tepotzotlán en el Estado de México, debido a sus condiciones urbanas y de conurbación que se están desarrollando actualmente, así como por sus características geológicas, hidrológicas, se planteó en la localidad de San Mateo Xoloc, este proyecto de recuperación de agua en área urbana, y que en búsqueda de los compromisos internacionales como lo es la agenda 2030, en particular en su objetivo número 6, plantea dicha recuperación con un enfoque sustentable hacia este recurso, y que puede ser replicado en otras áreas urbanas aledañas a la localidad o al municipio, asegurándose la longevidad del agua extraída en los mantos del subsuelo.

Una de las premisas que se buscó en este trabajo de investigación, es, por un lado, la forma de captar el agua tanto residual como pluvial en áreas urbanas, por otra parte, mediante captación y recolección de las aguas residuales y pluviales, la necesidad de mejorar los niveles de agua del subsuelo por medio de su inyección artificial hacia el subsuelo, de tal forma que la constante extracción no genere un déficit de esta agua y puedan permanecer lo más óptimo posibles. Así también el enfoque de esta investigación y que es el más importante, es plantear la creación de

pequeños sistemas recolectores y depuradores, colocados en zonas urbanas que no dependan de las grandes y costosas instalaciones de tratamiento, que si bien pueden ser eficientes por su gran capacidad de producción, no lo son para mantener los niveles freáticos de las aguas subterráneas en puntos de locación urbana, por lo que partiendo de este principio podemos generar pequeños sistemas de procesamiento de inyección artificial para alimentar aguas del subsuelo, ya que este tipo de sistema, por sus características permiten una eficiencia de filtración mucho más rápido que otros métodos más usuales.

Recomendaciones

Derivado del proyecto de investigación emergen estrategias y líneas de acción de forma precisa, por lo que, en este apartado se mencionan algunas recomendaciones para futuros planteamientos de proyectos orientados a la realización de un sistema de recuperación del agua residual, y su inyección artificial. Debe considerarse que la aplicación de este tipo de proyectos está en función de sus condiciones del medio físico natural, demográficas y de vivienda.

- Realizar estudios urbanos de población, con la intención de conocer la cantidad de habitantes por sector que se dese seleccionar, por lo que esto nos puede precisar el tamaño del caudal que se tiene en aguas residuales.
- El análisis topográfico de área o sector urbano escogido es importante para determinar la pendiente natural y verificar si tenemos áreas libres donde se pueda ubicar las instalaciones de tratamiento.
- Considerar los estudios de aforo en el punto de intersección del drenaje y el lugar de las instalaciones de tratamiento.
- Estudio de las líneas de recolección pluvial y revisar cuales se tienen separadas de las líneas de alcantarillado.
- Debido a que el tipo de infiltración que se pretende es por medios mecánicos, es decir que será inyectada, es preponderante tener conocimientos del subsuelo, más que de los tipos de suelo. Por lo que es necesario realizar un estudio de mecánica del subsuelo para determinar la profundidad de la inyección, así como las características del mismo, con objeto de saber si es viable la porosidad para una filtración rápida.
- Par la operación de las plantas es primordial la participación conjunta del área de gobierno y la iniciativa privada.

8.- Bibliografía

1. Adler, L. (2008). *Manual de captación de aguas de lluvia para centros urbanos*. México: PNUMA.
2. Bazant, J. (2013). *Manual de criterios de diseño urbano*. México: Trillas.
3. Brundtland. (1987). *Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo*. New York.
4. Cardona, M. C. (2005). *Prospectiva de la teoría en arquitectura y el urbanismo*. Estado de México: UNAM.
5. CONAGUA. (2007). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
6. CONAGUA. (2020). *Sistema Nacional de Información de Agua*. Recuperado el 7 de 4 de 2020, de <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=plantasTratamiento&ver=reporte&o=0&n=nacional>
7. CONAGUA. (24-03-2016). *Ley de Aguas Nacionales*. Ciudad de México.
8. Custodio Emilio, M. L. (s.f.). <http://www.rac.es>. Recuperado el 13 de 4 de 2020, de <http://www.rac.es/ficheros/doc/00997.pdf>
9. Dietsch, M. S. (Noviembre de 2006). Herramientas para el Análisis Territorial Integral.
10. Espinoza, C. C. (2010). Formaciones geológicas y sus aspectos hidrogeológicos. Chile, Chile: Universidad de Chile.
11. González Fernando, M. A. (8 de 6 de 17). Recarga Artificial del Acuífero del Valle de México. Ciudad de México, México: Instituto de Ingeniería UNAM.
12. Hernández–Balbuena, D. (4 de Agosto de 2006). *Método para la medición de frecuencia usando aproximaciones racionales*. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0035-001X2006000400010
13. IGCEM. (2017). *Información socioeconómica básica regional del estado de México*. México: Gobierno del Estado de México.
14. INEGI. (2005). *Guía para la interpretación de cartografía geológica*. México: Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.
15. INEGI. (2016). *Panorama Sociodemográfico de Estado de México 2015*. México: INEGI.
16. Izcalli, C. (2020). *Plan de desarrollo municipal 2019-2021*. Cuautitlán Izcalli.
17. Klaus Lanz, L. M. (2006). *¿De quien es el agua?* Barcelona: Gustavo Gili.
18. Korenfeld David, H. O. (2011). Proyecto de planta piloto de tratamiento avanzado para la recarga artificial del acuífero. *Revista Digital Universitaria*, 15.
19. México, G. d. (2013). *Ley de Aguas para el Estado de México y Municipios*. Toluca de Lerdo: Gobierno del Estado de México.

20. México, G. d. (2017). *Producto interno bruto municipal 2016*. Toluca Estado de México.
21. Murillo Díaz, D. I. (13 de 4 de 2020). *La recarga artificial como técnica de recuperación de acuíferos contaminados*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.
22. MX., E. D. (19 de 06 de 2013). *Sustentabilidad*. Sitio: *Definición MX*. Obtenido de <https://definicion.mx/sustentabilidad/>.
23. ONU. (s.f.). *Asamblea General de las Naciones Unidas*. Obtenido de <https://www.un.org/es/ga/president/65/issues/sustdev.shtml>
24. Orozco Santoyo, Q. G. (1977). *Manual para aplicación de las cartas edafológicas de cetenal para fines de ingeniería civil*. México: Cetenal.
25. Palenzuela, D. S. (2012). *Libro verde*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
26. Rafael, P. A. (4 de 12 de 2017). *Un camino de logros para alcanzar las metas ambientales*. México: Nuestro Ambiente.
27. Rojas, I. R. (2002). *Gestión integral de tratamiento de aguas residuales*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
28. Sampieri, R. H. (2014). *Metodología de la investigación*. Ciudad de México: Mc Graw Hill.
29. Sandoval, C. E. (2014). *Métodos y aplicaciones de la planificación regional y local en América Latina*. Santiago de Chile: CEPAL.
30. SEMARNAT. (2018). *Estadística del agua en México*. México: Gobierno de la República.
31. SEMARNAT. (Edición 2016). *Estadísticas del agua en México*. México: Gobierno de la República.
32. Sobrino, J. (2011). *La urbanización en el México contemporáneo*. Santiago de Chile: CEPAL.
33. Stiftung, F. E. (2017). *El agua en México. Actores, sectores y paradigmas para una transformación social-ecológica*. Ciudad de México.
34. Tepetzotlán, G. M. (2019). *Plan municipal de desarrollo urbano de Tepetzotlán*. Tepetzotlán: Gaceta del gobierno municipal de Tepetzotlán.
35. Thomas, A. F. (1993). *Teoría General de Sistemas*.
36. Unidas, O. d. (2015). *Metas de los objetivos de desarrollo sostenible*. ONU México.
37. Unikel, L. (1968). *El Proceso de Urbanización en México*. México.
38. Unión, C. d. (2020). *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*. México.
39. Virginia, L. R. (2010). *Infraestructura sustentable: Las plantas de tratamiento de aguas residuales*. Estado de México: Quivera.